

Wissenschaftskommunikation in Zeiten von Pandemie und Krisen

Innovative Experimentalsettings
zu MINT-Zukunftsthemen

Dissertation zur Erlangung des
Doktorgrades der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat)
des Fachbereiches Biologie/Chemie (FB 5)
der Universität Osnabrück

Vorgelegt von
Lars Otte

August 2023, Osnabrück

Erster Gutachter: Prof. Dr. Marco Beeken (Universität Osnabrück)
Zweiter Gutachter: Prof. Dr. Arnim Lühken (Goethe-Universität Frankfurt am Main)
Tag der mündlichen Prüfung:
Dekanin: Prof.in Dr. Sabine Zachgo (Universität Osnabrück)

„Das ganze Leben ist ein Experiment. Je mehr Du experimentierst, desto mehr lebst Du.“

Ralph W. Emerson, US-amerikanischer Philosoph und Schriftsteller

Danksagung

Nach über vier Jahren einer intensiven, lehrreichen, spannenden und zum Teil „krisenbehafteten“ Zeit möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich auf meinem Weg mit Rat und Tat, Lob und Kritik und ihrer Hilfe unterstützt und begleitet haben.

Ganz besonders danke ich...

... meinem Doktorvater und Erstgutachter Prof. Dr. Marco Beeken, der mir bereits in meinem Studium die Möglichkeit gegeben hat, spannende und wertvolle Eindrücke in die Arbeit der Chemiedidaktik zu gewinnen und mir in meiner Zeit der Promotion stets mit guten Ratschlägen, klugen Hinweisen und der Möglichkeit, vieles ausprobieren zu dürfen, zur Seite gestanden hat. Du bist mir in den letzten Jahren zu einem wertvollen Freund geworden, der mich beruflich wie privat jederzeit unterstützt.

... dem Zweitgutachter dieser Arbeit, Prof. Dr. Arnim Lühken, der als Chemiedidaktiker an der Goethe-Universität Frankfurt a.M. tätig ist. Herzlich möchte ich mich für die Übernahme des Korrektorats bedanken.

... den weiteren Gutachtern meines Promotionsvorhabens, namentlich Dr. Dominique Remy (Ökologie, Universität Osnabrück) und Prof. Dr. Diemo Daum (Pflanzenernährung, Hochschule Osnabrück).

... allen aktuellen und ehemaligen Mitgliedern der Arbeitsgruppe Chemiedidaktik der Universität Osnabrück, die mich jederzeit unterstützt haben. Herzlich möchte ich mich bei Euch für die tolle Zusammenarbeit und die schöne Zeit bedanken. Vielen Dank, liebe(r) Anja, Barbara, Claudia, Nils, Frauke, Michael, Johann, Janet, Henning, Tatjana, Mattis, Friedrich und Christian.

... allen Schüler:innen und Lehrkräften, die mich bei der Erhebung der Daten unterstützt haben und an den verschiedenen Formaten mitgewirkt haben.

... meinen Freunden, die mir immer zugehört haben – auch wenn es für sie möglicherweise mal nicht so spannend war – und mir jederzeit das Gefühl geben, bei ihnen mit all meinen Anliegen an der richtigen Stelle zu sein. Vielen Dank für die Zeit, die Ihr mit mir teilt.

... meinem verstorbenen Freund Alex. Gerne hätte ich mit Dir persönlich noch viele Momente geteilt und bin dennoch dankbar für die gemeinsame Zeit.

... meinem Partner und meiner besseren Hälfte Niklas. Ich bin Dir dankbar dafür, dass ich mich jederzeit auf Dich verlassen kann und du während der Promotion immer an meiner Seite warst, wenn es mir gut ging, und mir den Rücken freihieltst, wenn es auch mal etwas stressiger war. Dein immer offenes Ohr und deine Ratschläge haben mir schon oft weitergeholfen und mich das eine oder andere Mal auch wieder auf den richtigen Weg gebracht.

... meinen Eltern. Liebe Mama, lieber Papa, ich danke Euch von ganzem Herzen für eure immer fortwährende Unterstützung und all die Möglichkeiten, die Ihr mir gegeben habt. Eure Ratschläge, Euer offenes Ohr und Eure Weitsicht haben mir stets weitergeholfen. Danke, dass ich mich immer auf Euch verlassen kann!

Danke

Abstract

Science communication plays an important role in conveying information between science, research, and the general public. Topics currently under discussion in society, most recently various crises such as the COVID-19 pandemic, are therefore accompanied by numerous science communication formats that are intended to compensate for an assumed knowledge deficit in the population. However, modern science communication formats also increasingly focus on the participation of citizens in social discourse and thus expand the concept of science communication as an instrument of information transfer. In the context of this work, various science communication formats were therefore designed and evaluated, which deal with current crises and are intended to enable people to actively participate in social discourse. The focus of the developed formats is on experiments, which are not only meant to serve as a scientific method, but also as an instrument of science communication. The developed and evaluated formats were designed for the target groups of students and citizens. The work is divided into three parts, which present the conception and evaluation of the corresponding science communication formats. In the first part, a student laboratory setting is presented in its function as a science communication format, followed by the evaluation of this setting in the second part. The third part of the paper deals with science communication formats for students and citizens on the COVID-19 pandemic.

For some years now, student laboratories have been one of the most significant extracurricular learning venues for science education. They are supposed to represent an authentic learning environment for scientific research and to convey joy, motivation, and interest in the natural sciences. At the same time, they are often based on the competences of the curricula and thus also serve the acquisition of competencies by students. Although the focus of student labs is on experimentation as a subject method, some labs also teach skills that deal with the communication and evaluation of topics currently being debated in society. Student labs can then be described as a science communication format for students, as they both impart knowledge about current issues and reflect the essence of science in an exploratory way. Such a student lab setting was developed in the context of this work on the topic of "sustainable and healthy nutrition". The setting was developed for students of the upper secondary level (age 16 to 19), based on the core curriculum for the upper secondary level of the state of Lower Saxony and embedded in the student laboratory "GreenLab_OS" of the University of Osnabrück. It is an adaptation of the student lab setting "Es geht um die Wurst" (It's all about the sausage) for students of the lower secondary level by Walf and Budke. During the lab day, the students examine a conventional, a vegetarian and a vegan meat or meat substitute product in order to be able to differentiate between them with the help of chemical-analytical methods. In the experimental phase of the lab day, the students perform calorimetry to determine the calorific value of the sausage products, conductometry to determine the salt content, qualitative detection of ascorbic acid (vitamin C), anthocyanins (plant pigments) and nitrites (pickling salt), semi-quantitative detection of diphosphates and the determination of the iodine value to evaluate the content of unsaturated fatty acids. In addition, the students assess the sustainability of various foodstuffs on the basis of different characteristic footprints in an evaluation game. The experimental concept and description of the student laboratory setting is presented in chapter 3 of the thesis.

In order to evaluate the influence of the student lab day on the students' interest, ability self-concept, emotional attitudes, acceptance for the location of the laboratory and environmental awareness, the student lab day was accompanied by a quantitative questionnaire study in a pre-, post-, follow-up design ($N = 73$). The sample was divided into the intervention groups school and university to collect the influence of the location of the student lab. In the follow-up study, no effect was found on dispositional subject interest in chemistry or on dispositional factual interest in science. However, there were clear effects on the emotional constructs, as the visit to the student laboratory led to a significant momentarily increase in joy and interest among the students, as well as a significant reduction in frustration and boredom. Likewise, the intervention increases short-term confidence in one's own abilities in the subject of chemistry (self-concept). While general environmental awareness is hardly influenced by the intervention, short-term changes in attitudes can be observed in environmental awareness around nutrition. Regarding some constructs, gender differences can be measured. Differences in relation to the location of the student laboratory cannot be measured significantly. Likewise, the students do not indicate a location preference.

A comparison with Budke's study on the student laboratory setting "Es geht um die Wurst" in lower secondary school (age 12 to 15) shows differences especially with regard to location preference.

Fundamental changes in emotions and attitudes of interest as a result of the student lab day, on the other hand, are comparable. The questionnaire study and comparison are presented in Chapter 4 of the thesis.

The final main section of the thesis describes science communication formats developed in the context of the COVID-19 pandemic. To dispel myths and misinformation, a book, as well as five other formats, were designed under the name "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft" (Corona between Myth and Science). The focus is on 13 experiments to help students and citizens use household materials to identify and clarify myths and misinformation about the pandemic. The formats developed show that scientific experiments can also be used outside the classroom to impart knowledge and contribute to scientific literacy. In this context, the experiment itself takes on the role of a science communication instrument. The conception of the formats is presented in chapter 5.

The work has therefore shed light on the use of experiments both within and outside of science lessons and contributed to the creation of innovative experimental settings in times of pandemics and crises.

Zusammenfassung

Wissenschaftskommunikation nimmt einen wichtigen Stellenwert in der Informationsvermittlung zwischen Wissenschaft, Forschung und der Bevölkerung ein. Besonders aktuell in der Gesellschaft diskutierte Themen, zuletzt vor allem verschiedene Krisen wie die COVID-19-Pandemie, werden daher durch zahlreiche Wissenschaftskommunikationsformate begleitet, die ein angenommenes Wissensdefizit der Bevölkerung ausgleichen sollen. Moderne Formate der Wissenschaftskommunikation stellen aber auch zunehmend die Partizipation von Bürger:innen am gesellschaftlich Diskurs in den Vordergrund und erweitern damit den Begriff der Wissenschaftskommunikation als Instrument der Informationsvermittlung.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden daher verschiedene Wissenschaftskommunikationsformate konzipiert und evaluiert, die sich mit aktuellen Krisen auseinandersetzen und dazu befähigen sollen, aktiv am gesellschaftlichen Diskurs teilzuhaben. Im Fokus der entwickelten Formate stehen Experimente, die nicht lediglich als wissenschaftliche Methode, sondern als Instrument der Wissenschaftskommunikation dienen sollen. Die entwickelten und evaluierten Formate wurden adressatengerecht für die Zielgruppen Schüler:innen und Bürger:innen konzipiert. Die Arbeit ist in drei übergeordnete Teile gegliedert, die die Konzeption und Evaluation der entsprechenden Wissenschaftskommunikationsformate darlegen. Im ersten Teil wird ein Schülerlaborsetting in seiner Funktion als Wissenschaftskommunikationsformat vorgestellt, im zweiten Teil folgt die Evaluation dieses Settings. Der dritte Teil der Arbeit thematisiert Wissenschaftskommunikationsformate für Schüler:innen und Bürger:innen zur COVID-19-Pandemie.

Schülerlabore sind seit einigen Jahren einer der bedeutsamsten außerschulischen Lernorte für den naturwissenschaftlichen Unterricht. Sie sollen eine authentische Lernumgebung für naturwissenschaftliches Forschen und Arbeiten abbilden und Freude, Motivation und Interesse an den Naturwissenschaften vermitteln. Gleichzeitig sind sie oft an die curricularen Vorgaben der Lehrpläne angelehnt und dienen somit auch dem Kompetenzerwerb von Schüler:innen. Wenngleich das Experiment als Fachmethode bei Schülerlaboren im Fokus steht, vermitteln einige Labore auch Kompetenzen, die sich mit der Kommunikation und Bewertung aktuell in der Gesellschaft debattierter Themen auseinandersetzen. Schülerlabore können dann als Wissenschaftskommunikationsformat für Schüler:innen bezeichnet werden, da sie sowohl Wissen zu aktuellen Inhalten vermitteln als auch das Wesen der Naturwissenschaft forschend wiedergeben. Ein solches Schülerlaborsetting wurde im Rahmen dieser Arbeit zum Thema „Nachhaltige und gesunde Ernährung“ entwickelt. Das Setting ist für Schüler:innen der Sekundarstufe II entwickelt, an das Kerncurriculum für die gymnasiale Oberstufe des Landes Niedersachsen angelehnt und in das Schülerlabor „GreenLab_OS“ der Universität Osnabrück eingebettet. Es stellt eine Adaption des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ für Schüler:innen der Sekundarstufe I von Wolf und Budke dar. Während des Schülerlabortages untersuchen die Schüler:innen ein konventionelles, ein vegetarisches und ein veganes Fleisch- bzw. Fleischersatzprodukt, um diese mithilfe chemisch-analytischer Verfahren differenzieren zu können. In der Experimentalphase des Labortages führen die Schüler:innen eine Kalorimetrie zur Bestimmung des Brennwertgehaltes der Wurstprodukte, eine Konduktometrie zur Bestimmung des Salzgehaltes, qualitative Nachweise von Ascorbinsäure (Vitamin C), Anthocyanen (Pflanzenfarbstoffen) und Nitriten (Pökelsalz), einen halbquantitativen Nachweis von Diphosphaten und eine Iodzahlbestimmung zur Ermittlung des Gehaltes an ungesättigten Fettsäuren durch. Darüber hinaus bewerten die Schüler:innen die Nachhaltigkeit verschiedener Nahrungsmittel anhand verschiedener charakteristischer Parameter in einem Bewertungsspiel. Die Experimentalkonzeption und Beschreibung des Schülerlaborsettings ist in Kapitel 3 der Arbeit dargestellt.

Um den Einfluss des Schülerlabortages auf das Interesse, das Fähigkeitsselfkonzept, emotionale Haltungen, die Standortakzeptanz und das Umweltbewusstsein der Schüler:innen zu evaluieren, wurde der Schülerlabortag durch eine quantitative Fragebogenstudie im Pre-, Post-, Follow-Up-Design begleitet ($N = 73$). Die Stichprobe wurde in die Interventionsgruppen Schule und Universität unterteilt, um den Einfluss des Standortes des Schülerlabores zu erheben. In der Begleitstudie konnte kein Einfluss auf das dispositionale Fachinteresse am Fach Chemie und auf das dispositionale Sachinteresse für Naturwissenschaften festgestellt werden. Deutliche Effekte zeigen sich allerdings hinsichtlich der emotionalen Konstrukte, da der Besuch des Schülerlabores bei den Schüler:innen zu einer signifikant erhöhten Freude und Interessiertheit, sowie einer signifikant reduzierten Frustration und Langeweile führt. Ebenso steigert die Intervention kurzfristig das Zutrauen in die eigenen Fähigkeiten im Fach Chemie

(Fähigkeitsselbstkonzept). Während das Allgemeine Umweltbewusstsein durch die Intervention kaum beeinflusst wird, lassen sich im Umweltbewusstsein im Bereich Ernährung kurzzeitige Änderungen der Einstellungen feststellen. Hinsichtlich einiger Konstrukte lassen sich Geschlechterunterschiede messen. Unterschiede in Bezug auf den Standort des Schülerlabores lassen sich nicht signifikant messen. Ebenso geben die Schüler:innen keine Standortpräferenz an.

Ein Vergleich mit der Studie von Budke zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe I zeigt Unterschiede vor allem hinsichtlich der Standortpräferenz. Grundsätzliche Änderungen der Emotionen und Interessenshaltungen durch den Schülerlabortag sind hingegen vergleichbar. Die Fragebogenstudie und der Vergleich sind in Kapitel 4 der Arbeit dargestellt.

Der letzte Hauptteil der Arbeit beschreibt Wissenschaftskommunikationsformate, die im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie entwickelt worden sind. Zur Aufklärung von Mythen und Fehlinformationen wurden ein Buch sowie fünf weitere Formate unter dem Namen „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ konzipiert. Im Fokus stehen 13 Experimente, mithilfe derer Schüler:innen und Bürger:innen mit Haushaltsmaterialien Mythen und Fehlinformationen zur Pandemie identifizieren und aufklären sollen. Die entwickelten Formate konnten zeigen, dass der Einsatz von naturwissenschaftlichen Experimenten auch außerhalb des Schulunterrichtes möglich ist, um Wissen zu vermitteln und einen Beitrag zur naturwissenschaftlichen Grundbildung (Scientific Literacy) zu leisten. Dabei nimmt das Experiment selbst die Rolle eines Wissenschaftskommunikationsinstrument ein. Die Konzeption der Formate ist in Kapitel 5 dargestellt.

Durch die Arbeit konnte daher der Einsatz von Experimenten sowohl innerhalb als auch außerhalb des naturwissenschaftlichen Unterrichtes vertieft beleuchtet werden und ein Beitrag zur Erstellung innovativer Experimentalsettings in Zeiten von Pandemie und Krisen geleistet werden.

Inhaltsverzeichnis

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	I
TABELLENVERZEICHNIS.....	X
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	XVI
1. EINLEITUNG.....	1
2. FORSCHUNGSBEDARFE INNERHALB UND AUßERHALB DES NATURWISSENSCHAFTLICHEN UNTERRICHTS.....	5
2.1 GENESE UND STRUKTUR DER ARBEIT.....	5
2.2 STAND DER FORSCHUNG.....	8
2.2.1 Schülerlabore	8
2.2.2 Wissenschaftskommunikation in Zeiten der COVID-19-Pandemie.....	9
2.3 IDENTIFIZIERTE FORSCHUNGLÜCKEN	12
3. DAS „GREENLAB_OS“ – EXPERIMENTALSETTING ZU GESUNDER UND NACHHALTIGER ERNÄHRUNG FÜR DIE SEKUNDARSTUFE II	13
3.1 DAS GREENLAB_OS	13
3.2 ERNÄHRUNG IM KONTEXT VON GESUNDHEIT UND NACHHALTIGKEIT.....	15
3.2.1 Ernährung und Physiologie	15
3.2.2 Lebensmittelzusatzstoffe.....	24
3.2.3 Vegetarismus und Veganismus	25
3.2.4 Gesundheitliche und ernährungsphysiologische Aspekte konventioneller, vegetarischer und veganer Ernährung	28
3.2.5 Nachhaltigkeit in Bezug auf konventionelle, vegetarische und vegane Ernährung	42
3.2.6 Vegetarische und vegane Fleischersatzprodukte	58
3.3 KONZEPTION DES SCHÜLERLABORSETTINGS „ES GEHT UM DIE WURST“ FÜR DIE SEKUNDARSTUFE II.....	61
3.3.1 Grundlagen und Ablauf des Schülerlaborsettings.....	61
3.3.2 Experiment 1: Bestimmung des Brennwertes (Kalorimetrie).....	63
3.3.3 Experiment 2: Bestimmung des Kochsalzgehaltes (Konduktometrie).....	71
3.3.4 Experiment 3: Qualitativer Nachweis von Ascorbinsäure (Vitamin C)	79
3.3.5 Experiment 4: Qualitativer Nachweis von Anthocyanen (Natürliche Farbstoffe)	83
3.3.6 Experiment 5: Halbquantitativer Nachweis von Phosphaten und Diphosphaten (Stabilisatoren)	87
3.3.7 Experiment 6: Qualitativer Nachweis von Nitritpökelsalz (Konservierungsstoffe).....	90
3.3.8 Experiment 7: Bestimmung des Gehalts an ungesättigten Fettsäuren (Iodzahlbestimmung)	95
3.3.9 Bewertungsspiel: Bestimmung der Nachhaltigkeitsbilanzen von Lebensmitteln	102
4 EMPIRISCHE BEFUNDE ZUM SCHÜLERLABORSETTING „ES GEHT UM DIE WURST“ FÜR DIE SEKUNDARSTUFE II.....	111
4.1 FORSCHUNGSFRAGEN UND ZIEL DER EVALUATION	111
4.2 HYPOTHESENBILDUNG.....	112
4.2.1 Motivation und Interesse	112
4.2.2 Das Fähigkeitsselbstkonzept / Selbstwirksamkeit	116
4.2.3 Emotionale Konstrukte	118

4.2.4	Standortwahl und Exkursionsbereitschaft	120
4.2.5	Umweltbewusstsein	121
4.2.6	Einstellungen zur Ernährung	123
4.3	STUDIENDESIGN	124
4.3.1	Ablauf der Erhebung: Pre-Post-Follow-Up-Design	124
4.3.2	Erhebungsinstrumente	125
4.3.3	Statistische Methoden	132
4.3.4	Beschreibung der Stichprobe	133
4.4	ERGEBNISSE DER BEGLEITSTUDIE	136
4.4.1	Korrelationen zwischen einzelnen Konstrukten	136
4.4.2	Überprüfung der Hypothesen	137
4.5	ABSCHLIEßENDE DISKUSSION DER BEGLEITSTUDIE	179
4.5.1	Allgemeine Befunde zur GLO2-Studie	179
4.5.2	Vergleich der GLO2-Studie mit der GLO1-Studie	182
4.5.3	Optimierung, Schlussfolgerungen und Ausblick	184
4.6	EVALUATION DES BNE-SPIELS „BURGER.I.DOO“	186
4.6.1	Ziel und Design der Evaluation	186
4.6.2	Ergebnisse	186
4.6.3	Diskussion der Ergebnisse	188
5	CORONA ZWISCHEN MYTHOS UND WISSENSCHAFT	189
5.1	THEORETISCHE HINTERGRÜNDE ZU SARS-CoV-2- UND DER COVID-19-PANDEMIE	189
5.1.1	SARS-CoV-2	189
5.1.2	COVID-19 und die COVID-19-Pandemie	191
5.1.3	Maßnahmen zur Eindämmung der COVID-19-Pandemie	194
5.1.4	Mythen und Fehlinformationen zur COVID-19-Pandemie	204
5.2	WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATIONSFORMATE ZUR COVID-19-PANDEMIE	207
5.2.1	Problemstellung und übergeordnete Zielsetzung	207
5.2.2	Übersicht der Experimente und Formate	208
5.2.3	Format 1 – Das Buch als Wissenschaftskommunikationsmedium	217
5.2.4	Format 2 – Digitale Wissenschaftskommunikation mit YouTube	226
5.2.5	Format 3 – Lernen auf Distanz im Online-Projektunterricht	228
5.2.6	Format 4 – Das Schülerlaborsetting „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“	230
5.2.7	Format 5 – Fortbildungen für Lehrkräfte	231
5.2.8	Format 6 – Klassische Wissenschaftskommunikation durch (Online-)Vorträge	231
5.3	DISKUSSION DER ENTWICKELTEN WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATIONSFORMATE	233
6	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND FORDERUNGEN FÜR DIE WISSENSCHAFTSKOMMUNIKATION	235
6.1	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND FORDERUNGEN	235
6.1.1	„Es geht um die Wurst“ – Experimentalsetting zu nachhaltiger und gesunder Ernährung	235
6.1.2	Wissenschaftskommunikationsformate zur COVID-19-Pandemie	236
6.1.3	Forderungen	237
6.2	FAZIT UND AUSBLICK	239

7	PUBLIKATIONEN UND KONFERENZBEITRÄGE	241
8	LITERATURVERZEICHNIS	243
9	ANHANG	272

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Antizipierter Verlaufsplan der Promotion.	5
Abbildung 2: AEIOU-Analogie der Wissenschaftskommunikation nach (Burns et al., 2003).	6
Abbildung 3: Rolle der Wissenschaftskommunikation im Modell der Scientific Literacy. Abbildung nach (Burns et al., 2003).	7
Abbildung 4: Verlaufsplan der Konzeption und Anwendung der Wissenschaftskommunikationsformate unter dem Titel "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".	7
Abbildung 5: Übersicht einiger Schülerlaborsettings des außerschulischen Lernortes GreenLab_OS. Dargestellt sind die Schulstufen, für die das jeweilige Setting geeignet ist, sowie Weiterbildungen, die für Lehrkräfte und Studierende angeboten werden.	14
Abbildung 6: Hydrolyse von ATP zu ADP und einem Phosphat-Anion (P_i). Durch die exergone Reaktion ($\Delta G^\circ = -30,5 \text{ kJ mol}^{-1}$) können energetisch ungünstige Reaktionen im Organismus ermöglicht werden.	15
Abbildung 7: Lobry-de-Bruyn-Alberda-van-Ekenstein-Umlagerung zwischen D-Glucose, D-Fructose und D-Mannose. In wäss-riger Umgebung liegt ein Gleichgewicht zwischen isomeren Aldosen und Ketosen vor.	16
Abbildung 8: Glucose, Ribose und Desoxyribose in offenkettiger Form (Fischer-Projektion, oben) und Ringform (Haworth-Projektion, unten). Die Hexose Glucose ist als Pyranose, die Pentosen Ribose und Desoxyribose sind als Furanosen dargestellt.	16
Abbildung 9: Disaccharide. Maltose liegt als Homodisaccharid aus zwei α -glycosidisch verknüpften Glucose-Einheiten vor. Saccharose liegt als Heterodisaccharid aus einer α -glykosidisch verknüpften Glucose-Einheit und einer β -glykosidisch verknüpften Fructose-Einheit vor. Lactose liegt als Heterodisaccharid aus einer β -1,4-glykosidischen Bindung zwischen einer Galaktose-Einheit und einer Glucose-Einheit vor.	17
Abbildung 10: Allgemeiner Aufbau von Glykogen und Stärke. Die Glucose-Einheiten sind über α -1,4-glykosidische Bindungen verknüpft. Alle 10 Einheiten (Glykogen) oder alle 30 Einheiten (Stärke) sind die Ketten über eine α -1,6-glykosidische Bindung verzweigt.	17
Abbildung 11: Allgemeine Struktur eines Triglycerids. Mittig im Molekül ist der Glycerol-Rest dargestellt, der mit drei Fettsäuren verestert ist. In blau ist ein gesättigter Fettsäurerest, in grün ein einfach ungesättigter Fettsäurerest und in rot ein mehrfach ungesättigter Fettsäurerest dargestellt. ...	18
Abbildung 12: Triglycerid mit zwei Palmitat-Resten (gesättigt) und einem Palmitoleat-Rest (ungesättigt). Durch die cis-Doppelbindung entsteht ein Knick im Oleat-Rest, der in einem höheren Raumbedarf des Triglycerids resultiert.	18
Abbildung 13: Phosphoglycerid mit Phosphatidylcholin als polarer Kopfgruppe (rot) und zwei Palmitat-Resten als unpolare Fettsäure-Resten (blau).	19
Abbildung 14: Schematischer und vereinfachter Querschnitt der Lipiddoppelschicht (Zellmembran). Die hydrophoben Fettsäure-Reste orientieren sich nach innen, die hydrophilen Kopfgruppen orientieren sich nach außen in Richtung des umgebenden wässrigen Mediums.	19
Abbildung 15: Aminosäuren und Peptide. A Allgemeine Struktur einer L-Aminosäure, B Bildung eines Peptides aus zwei Aminosäuren. Die resultierende Peptidbindung (blau) ist mesomeriestabilisiert. ...	20
Abbildung 16: Strukturebenen von Proteinen.	21
Abbildung 17: Strukturformeln von Vertretern der fettlöslichen Vitamine A, D, E und K.	23
Abbildung 18: Strukturformeln von Vertretern der wasserlöslichen Vitamine B und C.	24

- Abbildung 19:** Anzahl der Vegetarier:innen und Veganer:innen in Deutschland im Zeitraum von 2016 bis 2022 nach (*Allensbacher Markt- und Werbeträgeranalyse 2022, 2022*). 26
- Abbildung 20:** Anteil der Vegetarier:innen nach Geschlecht und Alter, erhoben in der DEGS1-Studie des RKI ($N = 8152$). Nach (Mensink et al., 2016). 27
- Abbildung 21:** **A** Höchster Bildungsabschluss von Veganer:innen im Vergleich zur Gesamtbevölkerung ($N = 42$) in Prozent [%]. **B** Durchschnittliches Haushaltsnettoeinkommen von Veganer:innen im Vergleich zur Gesamtbevölkerung ($N = 42$) in Prozent [%]. Daten nach (Hopp et al., 2017). 27
- Abbildung 22:** Iodzufuhr von Mischköstler:innen, Pescetarier:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen. Ab einer Iodzufuhr von $< 100 \mu\text{g}/\text{d}$ wird von einem leichten Iodmangel, ab $< 50 \mu\text{g}/\text{d}$ von einem moderaten Iodmangel gesprochen. Eine Iodzufuhr von $100\text{-}199 \mu\text{g}/\text{d}$ gilt als adäquat. Eigene Darstellung nach (WHO, 2013) und (Sobiecki et al., 2016). 33
- Abbildung 23:** Zinkzufuhr von Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganern. Für Veganerinnen liegen keine Daten vor. Die dunkle gestrichelte Linie markiert den von der DGE empfohlenen Richtwert für Männer mit einer moderaten Phytatzufuhr, die helle gestrichelte Linie markiert den von der DGE empfohlenen Richtwert für Frauen mit einer moderaten Phytatzufuhr. Eigene Darstellung nach (Ball & Ackland, 2000) und (DGE et al., 2019). 35
- Abbildung 24:** Vitamin-D-Zufuhr von Mischköstler:innen und Veganer:innen. Die gestrichelte Linie markiert den von der DGE empfohlenen Richtwert für die Vitamin-D-Zufuhr. Eigene Darstellung nach (Weikert et al., 2020) und (DGE et al., 2019). 37
- Abbildung 25:** Zufuhr (**A**) und Plasmakonzentration (**B**) von EPA und DHA bei Pescetarier:innen, Mischköstler:innen, die auf Fleisch verzichten, Vegetarier:innen und Veganer:innen der EPIC-Norfolk-Studie. Eigene Darstellung nach (Welch et al., 2010). 39
- Abbildung 26:** Planetare Belastbarkeitsgrenzen. Abbildung des Azote for Stockholm Resilience Center, nach (Steffen, Richardson, et al., 2015), (Persson et al., 2022) und (Wang-Erlandsson et al., 2022). Die menschliche Ernährung hat einen Einfluss auf nahezu alle planetaren Grenzen. 42
- Abbildung 27:** Konzept der fünf Dimensionen einer nachhaltigen Ernährung. Eigene Darstellung nach (von Koerber, 2014). 44
- Abbildung 28:** 17 Nachhaltigkeitsziele (SDGs) der Vereinten Nationen. Nachhaltige Ernährung wird explizit in den Zielen 2 und 12, implizit in den Zielen 3, 6, 13, 14 und 15 angesprochen. 45
- Abbildung 29:** Anthropogene Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf. Die roten Markierungen zeigen die durch anthropogenen Einfluss verursachten Problemstellen auf. *A Versauerung von Böden, *B Eutrophierung durch übermäßigen Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen, *C Entstehung toxischer Stickoxide durch Abgase aus Verkehr und Industrie, *D hohe Nitrate in Grundwasserkörpern, Fließ- und Standgewässern. Abbildung nach (Brockhage, 2021). 46
- Abbildung 30:** **A** Regionalisierte Nitratkonzentrationen (Flach verfilterte Grundwassermessstellen) in Niedersachsen in [mg/L]. Abbildung nach (Wriedt et al., 2019). **B** Viehbesatz in Großvieheinheiten je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche in den kreisfreien Städten und Gemeinden in Niedersachsen. Abbildung nach (Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, 2021). 47
- Abbildung 31:** Beitrag der Treibhausgase zum Treibhauseffekt. Eigene Darstellung nach (NOAA, 2022). 48
- Abbildung 32:** Anteil tierischer und pflanzlicher Lebensmittelgruppen am durchschnittlichen CO_2 -Ernährungs-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland. Berücksichtigt sind alle Treibhausgasemissionen berechnet als $\text{CO}_2\text{-e}$ nach Tabelle 19. Eigene Darstellung nach (Leitzmann & Keller, 2020). 49
- Abbildung 33:** $\text{CO}_2\text{-e}$ -Fußabdruck verschiedener Lebensmittel im globalen Mittel. In blau sind tierische Lebensmittel, in hellbraun pflanzliche Lebensmittel dargestellt. Eigene Darstellung nach (FAOSTAT, 2020). Die Daten wurden aus FAOSTAT als globales Mittel für die im Diagramm angegebenen Lebensmittel ausgewählt. Erhebungszeitpunkt ist nach FAOSTAT das Jahr 2020. 50
- Abbildung 34:** $\text{CO}_2\text{-e}$ -Fußabdruck ausgewählter Lebensmittel unter Berücksichtigung von Vorbereitung, Bereitstellung, Produktion, Transport, Lagerung, Konsum und Entsorgung. In

dunkelbraun sind Fleisch und Fisch, in hellbraun tierische Produkte (o. Fleisch und Fisch) dargestellt. In dunkelblau sind pflanzliche Produkte außer Obst und Gemüse, in hellblau Obst und Gemüse dargestellt. Eigene Darstellung nach (Reinhardt et al., 2020).	51
Abbildung 35: Virtueller Wasserverbrauch verschiedener tierischer und pflanzlicher Produkte (zusammengefasst) pro Kilogramm des jeweiligen Lebensmittels., unterteilt in Grünes, Blaues und Graues Wasser. Eigene Darstellung nach (Mekonnen & Hoekstra, 2010).	52
Abbildung 36: Scarcity-weighted Water Footprint ausgewählter Lebensmittel. Dargestellt ist der durchschnittliche Verbrauch als Gesamtwasser. In dunkelbraun sind Fleisch und Fisch, in hellbraun tierische Produkte (ohne Fleisch und Fisch) dargestellt. In dunkelblau sind pflanzliche Produkte außer Obst und Gemüse, in hellblau Obst und Gemüse dargestellt. Eigene Darstellung nach (Poore & Nemecek, 2018).	53
Abbildung 37: Flächenverteilung auf der Erde. Abbildung verändert nach (Ritchie & Roser, 2019)....	54
Abbildung 38: Durchschnittlicher Flächenbedarf ausgewählter Lebensmittel. In dunkelbraun sind Fleisch und Fisch, in hellbraun tierische Produkte (o. Fleisch und Fisch) dargestellt. In dunkelblau sind pflanzliche Produkte außer Obst und Gemüse, in hellblau Obst und Gemüse dargestellt. Eigene Darstellung nach (Poore & Nemecek, 2018).	55
Abbildung 39: Gesamtumweltbilanz ausgewählter Lebensmittel. Die einzelnen Parameter sind normiert auf den Maximalwert innerhalb der dargestellten Lebensmittel. Eigene Darstellung nach (Poore & Nemecek, 2018).	56
Abbildung 40: Prognostizierter Umsatz mit Fleisch, Fleischersatz und kultiviertem Fleisch bis 2040 (global). Eigene Darstellung nach (Heinrich Böll Stiftung et al., 2021).	59
Abbildung 41: Zunächst im Schülerlabor verwendete Wurstprodukte. A Schinken Spicker Mortadella der Firma Rügenwalder Mühle, B Vegetarischer Schinken Spicker Mortadella der Firma Rügenwalder Mühle, C Veganer Aufschnitt nach Art Lyoner der Firma EDEKA.	61
Abbildung 42: Nährwertangaben und Inhaltsstoffe (vereinfacht) der drei im Schülerlabor untersuchten Fleisch bzw. Fleischersatzprodukte	62
Abbildung 43: Übersicht der im Schülerlaborsetting "Es geht um die Wurst" für die Sekundarstufe II durchgeführte Experimental- und Bewertungsstationen.....	63
Abbildung 44: Beispielhaftes Temperatur-Zeit-Diagramm einer Kalorimetrie mit Extrapolation der Abkühlkurve.	65
Abbildung 45: Skizze des Kalorimeters nach Theimann zur Brennwertbestimmung von Lebensmitteln.	66
Abbildung 46: Druckgasflasche für medizinischen Sauerstoff der Firma Linde mit Leichtbaugestell der Feinmechanischen Werkstatt der Universität Osnabrück.....	67
Abbildung 47: Qualitative Brennwertbestimmung dem Dosenkalorimeter nach (Walf, 2016).....	69
Abbildung 48: Allgemeines Volumen-Leitfähigkeits-Diagramm einer potentiometrischen Fällungstitration mit Natriumchlorid gegen Silbernitrat.	73
Abbildung 49: Visualisierung der potentiometrischen Titration von Natriumchlorid gegen Silbernitrat auf Teilchenebene.	74
Abbildung 50. Potentiometrische Fällungstitration zur Bestimmung des Kochsalzgehaltes mithilfe des digitalen Messwerterfassungssystems Phywe® Cobra SMARTsense.	76
Abbildung 51: Volumen-Leitfähigkeits-Diagramm der potentiometrischen Fällungstitration von konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst (Einwaage je 5,0 g).....	77
Abbildung 52: Redoxreaktion zwischen Hexacyanidoferrat(III) und Ascorbinsäure. Vereinfachte Darstellung ohne Berücksichtigung der Reduktion nicht komplexierter Eisen(III)-Ionen und ohne Darstellung des Komplexes <i>Berliner Blau</i>	79

Abbildung 53: Schema zur Versuchsdurchführung des Ascorbinsäurenachweises in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst.....	81
Abbildung 54: Ascorbinsäure-Nachweis in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst nach Tauber.	82
Abbildung 55: Farbänderungen des Cyanidin in saurem, neutralem und basischem Milieu. Vereinfachte Darstellung der Mesomerien und Isomeren.....	84
Abbildung 56: Schema zur Versuchsdurchführung des Anthocyannachweises in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst.....	85
Abbildung 57: Anthocyannachweis in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst. Der Nachweis ist ausschließlich bei der veganen Wurst positiv.....	86
Abbildung 58: Phosphatnachweis in vegetarischer (A), konventioneller (B) und veganer (C) Wurst..	89
Abbildung 59: Strukturen, Namen und Farben verschiedener Myoglobin-Derivate nach (Millar et al., 1996) und (Killday et al., 2002).	91
Abbildung 60: Komproportionierung von Sulfanilamid und Nitrit zum Diazonium-Ion des Sulfanilamids.	92
Abbildung 61: Azokopplung der Griess-Reaktion. Aus dem Diazonium-Ion des Sulfanilamids und N-(1-Naphtyl)ethyldiamin bildet sich ein roter Azofarbstoff.....	92
Abbildung 62: Schema zur Versuchsdurchführung des Nitrit-Nachweises in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst.....	93
Abbildung 63: Nitrit-Nachweis in vegetarischer (A), konventioneller (B) und veganer (C) Mortadella.	93
Abbildung 64: Elektrophile Addition des Iodchlorids an eine Doppelbindung im Fettsäurerest eines Fett-Moleküls.	95
Abbildung 65: Redoxreaktion zwischen Iodchlorid und Kaliumiodid-Lösung.....	95
Abbildung 66: Redoxreaktion zwischen Iod und Natriumthiosulfat-Lösung.....	96
Abbildung 67: Betaisodona®-Lösung mit Povidon-Iod als Wirkstoff. Verändert nach (Mundipharma, 2023).....	97
Abbildung 68: Schema zur Befüllung der Erlenmeyerkolben für die Iodzahlbestimmung.....	99
Abbildung 69: Vorrangmodell der Nachhaltigkeit. Abbildung verändert nach (Müller, o.J.).....	103
Abbildung 70: Aufbau des Spiels <i>Burger.i.doo</i>	104
Abbildung 71: Aufbau des Informations-Spielbrettes des Spiels <i>Burger.i.doo</i>	104
Abbildung 72: "Burgerstation" des Spiels <i>Burger.i.doo</i>	104
Abbildung 73: Burgerkarte im Spiel <i>Burger.i.doo</i> . Auf der Vorderseite (links) sind der Name und eine Zeichnung des Burgers abgebildet, auf der Rückseite (rechts) die Anweisungen zum Erstellen des Burgers. Im Falle des Hamburgers sind das Patty und die Sauce vorgegeben.....	105
Abbildung 74: Zutatenkarten im Spiel <i>Burger.i.doo</i>	106
Abbildung 75: "Burgerstation" mit Burgerkarten, Zutatenkarten und Spielsteinen. Beispielhaft wurde ein Chili-Cheeseburger mit einem Pflanzenpatty erstellt. A Spiel mit Vorderseite der Zutatenkarten. B Spiel mit Rückseite der Zutatenkarten.	107
Abbildung 76: Bewertungsskala der Burgerstation mit den korrespondierenden Werten des Beispiels. In blau sind die Punktzahlen des Hamburgers, in orange die Punktzahlen des Vegan Burgers dargestellt.	107
Abbildung 77: Übersicht der Konstrukte, die durch die quantitative Fragebogenstudie zum Schülerlaborsetting "Es geht um die Wurst" in der Sekundarstufe II erhoben werden sollen.	111

Abbildung 78: Zweck- und tätigkeitsspezifische Anreize im handlungstheoretischen erweiterten kognitiven Motivationsmodell. Eigene Darstellung nach (Rheinberg, 2002).....	112
Abbildung 79: Das Interessenkonstrukt aus dispositionalem und situationalem Interesse. Eigene Darstellung nach (Krapp, 1992).....	114
Abbildung 80: Positive Einflussfaktoren auf das aktuelle Interesse in Schülerlaboren. Eigene Darstellung nach (Scharfenberg & Bogner, 2015).....	115
Abbildung 81: Multidimensionales und hierarchisches Selbstkonzept. Abbildung verändert und übersetzt nach (Shavelson et al., 1976) und (Möller & Trautwein, 2009).....	116
Abbildung 82: Versuchsdesign der Begleitstudie zum Schülerlabor "Es geht um die Wurst" für die Sekundarstufe II.....	124
Abbildung 83: Stichprobengröße von GLO2 in Abhängigkeit des Standortes.	133
Abbildung 84: Geschlechterverhältnis in GLO2 in Abhängigkeit des Standortes.....	134
Abbildung 85: Altersverteilung in GLO2 in Abhängigkeit des Standortes.	134
Abbildung 86: Kurswahlverhalten in GLO2 in Abhängigkeit des Standortes.....	135
Abbildung 87: Ernährungsverhalten der Schüler:innen in GLO2.....	135
Abbildung 88: Fachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	138
Abbildung 89: Fachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	139
Abbildung 90: Fachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Kurswahlverhalten und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	139
Abbildung 91: Sachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	141
Abbildung 92: Sachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	141
Abbildung 93: Sachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Kurswahlverhalten und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	142
Abbildung 94: Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	144
Abbildung 95: Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	145
Abbildung 96: Freude der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	147
Abbildung 97: Freude der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	147
Abbildung 98: Frustration der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	149
Abbildung 99: Frustration der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	150
Abbildung 100: Langeweile der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	152
Abbildung 101: Langeweile der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	153
Abbildung 102: Interessiertheit der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	155

Abbildung 103: Interessiertheit der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	155
Abbildung 104: Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte in der Schule der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	158
Abbildung 105: Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte außerhalb der Schule der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	159
Abbildung 106: Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernangebote in der Schule und außerhalb der Schule aufgeteilt in die Interventionsgruppen Schule (links) und Universität (rechts).	159
Abbildung 107: Motivationssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	160
Abbildung 108: Zustimmung zur erneuten Teilnahme der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	161
Abbildung 109: Interessenssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	162
Abbildung 110: Interessenssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	162
Abbildung 111: Umweltaffekt der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	165
Abbildung 112: Umweltaffekt der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	166
Abbildung 113: Umweltkognition der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	168
Abbildung 114: Umweltkognition der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	169
Abbildung 115: Allgemeines Umweltverhalten der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	171
Abbildung 116: Allgemeines Umweltverhalten der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	172
Abbildung 117: Themenspezifisches Umweltverhalten der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	173
Abbildung 118: Themenspezifisches Umweltverhalten der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen..	174
Abbildung 119: Kognitive Einstellungen zur Ernährung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	176
Abbildung 120: Kognitive Einstellungen zur Ernährung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	176
Abbildung 121: Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	177

Abbildung 122: Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.....	178
Abbildung 123: Graphische Darstellung des Feedbacks von Gruppe 1 (N = 61). Dargestellt sind die absoluten Zahlen der Antworten in den jeweiligen Balken sowie der relative Anteil der Häufigkeiten in Bezug auf die gesamte Umfrage.	187
Abbildung 124: Graphische Darstellung des Feedbacks von Gruppe 2 (N = 19). Dargestellt sind die absoluten Zahlen der Antworten in den jeweiligen Balken sowie der relative Anteil der Häufigkeiten in Bezug auf die gesamte Umfrage.	187
Abbildung 125: A Schematischer Querschnitt durch ein SARS-CoV-2 Virion (Heinz & Stiasny, 2020). B Atomgenaue Darstellung eines SARS-CoV-2 Virions (Solodovnikov & Arkhipova, 2021). C Struktureller Aufbau der Lipiddoppelschicht des Coronavirus (Virushülle). D Schematische Struktur eines Phospholipids in der Lipiddoppelschicht von SARS-CoV-2.	189
Abbildung 126: Genomorganisation von SARS-CoV-2. Veränderte Abbildung der Wikimedia Commons nach (Wu et al., 2020).....	190
Abbildung 127: A Vereinfachter schematischer Replikationszyklus von SARS-CoV-2 (COVID19-Pandemie.org, 2020). B Vollständiger schematischer Replikationszyklus von SARS-CoV-2 (V'kovski et al., 2021).	191
Abbildung 128: A Entwicklung der Neuinfektionen mit COVID-19 pro Tag (unten) und kumuliert (oben) weltweit. B Entwicklung der Todesfallzahlen an COVID-19 pro Tag (unten) und kumuliert (oben) weltweit. Fallzahlen nach (WHO, 2023b).	193
Abbildung 129: A Entwicklung der Neuinfektionen mit COVID-19 pro Tag (unten) und kumuliert (oben) in Deutschland. B Entwicklung der Todesfallzahlen an COVID-19 pro Tag (unten) und kumuliert (oben) in Deutschland. Fallzahlen nach (WHO, 2023b).....	194
Abbildung 130: Schema der Reversen Transkription von viraler RNA zu DNA.	197
Abbildung 131: Schematischer Ablauf der PCR (Otte & Beeken, 2021).	198
Abbildung 132: Schematischer Aufbau eines Lateral-Flow-Immunoassays zum Antigen-Schnelltest auf SARS-CoV-2 (Moritz, 2021).	198
Abbildung 133: A Schematische Darstellung der mRNA von Tozinameran. B Schematische Darstellung der mRNA in Lipidnanopartikeln. Abbildung verändert nach (Heinz & Stiasny, 2021).	200
Abbildung 134: Schematische Darstellung der zellulären Mechanismen und Immunantwort durch die Impfung mit einem mRNA-basierten Impfstoff gegen COVID-19 (Trougakos et al., 2022).	201
Abbildung 135: A Schematische Darstellung des Genoms des in den Vektorimpfstoffen gegen COVID-19 eingesetzten Adenoviren. B Schematische Darstellung der zellulären Mechanismen durch die Impfung mit einem Vektorimpfstoff gegen COVID-19. Abbildung verändert nach (Heinz & Stiasny, 2021).	201
Abbildung 136: Einfluss verschiedener staatlicher Maßnahmen auf den R-Wert von COVID-19. Abbildung verändert nach (Sharma et al., 2021).	203
Abbildung 137: Einfluss verschiedener Maßnahmen auf den R-Wert von COVID-19 weltweit. Abbildung verändert nach (Haug et al., 2020).	204
Abbildung 138: Durchschnittliche Bewertung einer Falschaussage als „wahr“ in Abhängigkeit von Alter und Vorwissen über das entsprechende Themenfeld. An der Studie nahmen 163 Personen im Alter von 18–83 Jahren teil (davon 81 älter als 65 Jahre). Den Proband:innen wurden aus 424 Aussagen 100 zufällig ausgewählte vorgestellt, die sie als „wahr“ oder „falsch“ bewerten mussten. Die Aussagen selbst basieren auf einem Fragenkatalog zum Allgemeinwissen und wurden zum Teil zu Falschaussagen konvertiert, indem einzelne Bestandteile der Aussage verfälscht wurden. Abbildung verändert nach (Brashier et al., 2017).	205

- Abbildung 139:** Simulation des Tröpfchen- und Aerosolausstoßes mithilfe einer Sprühflasche mit Tonic Water. Darstellung unter Beleuchtung mit UV-Licht. **A** Einstellung des Zerstäubers auf den Ausstoß kleiner Tröpfchen, Verhalten der Tröpfchen in der Luft. **B** Einstellung des Zerstäubers auf den Ausstoß kleiner Tröpfchen, Tröpfchenmuster am Boden. **C** Einstellung des Zerstäubers auf den Ausstoß großer Tröpfchen, Verhalten der Tröpfchen in der Luft. **D** Einstellung des Zerstäubers auf den Ausstoß großer Tröpfchen, Tröpfchenmuster am Boden. 210
- Abbildung 140:** Im Experiment verwendete Gesichtsmasken. **A** FFP3-Maske, **B** FFP2-Maske, **C** Medizinischer Mund-Nase-Schutz, **D** Mehrlagige Baumwollmaske, **E** Nylonschal, **F** Face-Shield, **G** Einlagige Baumwollmaske und **H** T-Shirt. Zusätzlich wurden ein Papiertaschentuch und die Ellenbeuge vor die Sprühflasche gehalten. 213
- Abbildung 141:** Ergebnisse des Experimentes "Masken in grünem Licht". **1** Darstellung von Sprühflasche und Taschenlampe. Die Taschenlampe zeigt zu der Sprühflasche in einem Abstand von ungefähr 2 Metern. **2** Darstellung des Settings mit vorgehaltener Maske. **0** Keine Maske (Kontrolle), **A–D** FFP3-Maske, FFP2-Maske, Medizinischer Mund-Nase-Schutz, Mehrlagige Baumwollmaske, **E** Nylonschal, **F** Face-Shield, **G** Einlagige Baumwollmaske, **H** T-Shirt, **I** Ellenbeuge, **J** Papiertaschentuch. 214
- Abbildung 142:** Beobachtungen des Experimentes „Wirkungsweise von Seife und Desinfektionsmitteln gegen SARS-CoV-2“ nach Ausgießen der Marmeladengläser. Kürbiskernöl und **A** Wasser, **B** Spiritus, **C** Desinfektionsmittel, **D** Seifenlauge. 216
- Abbildung 143:** Schematische Darstellung der Inklusion von Triglyceriden in Natriumlaurylsulfat-Mizellen. In wässrigem Milieu bilden anionische Tenside sphärische Mizellen aus. Gelangen Lipide in die Nähe von Mizellen, werden sie in diese eingeschlossen und somit im wässrigen Medium emulgiert. 216
- Abbildung 144:** **A** Schematische Darstellung eines natürlichen Triglycerids. Das Molekül enthält drei unpolare Fettsäure-Reste (Alkyl-/ Alkenylketten), die mit der polaren Kopfgruppe (Glyceryl-Rest) verbunden sind. **B** Schematische Struktur eines Phospholipids. Das Molekül enthält zwei unpolare Fettsäure-Reste (Alkyl-/ Alkenylketten) und eine zwitterionische Kopfgruppe, die an einen Glyceryl-Rest gebunden sind. **C** Schematische Struktur einer Doppellipidschicht aus Phospholipiden. In wässrigem Milieu ordnen sich die Phospholipid-Moleküle zu einer Doppelschicht zusammen, in welcher die hydrophoben Molekülschwänze zueinander zeigen. 217
- Abbildung 145:** Cover des Buches "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft - Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen" 218
- Abbildung 146:** Darstellung von Mythen im Buch "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft - Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen". **A** Überschrift in Form einer Fragestellung. **B** Überschrift in Form eines Mythos. **C** Mythos als Zitat einer bekannten Person. 219
- Abbildung 147:** Infobox im Buch "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“. Die Infoboxen sind in den Fließtext eingebettet, aber durch ein Symbol sowie die farbliche Markierung deutlich sichtbar von diesem abgetrennt. Eine Überschrift informiert über den Inhalt der Infobox. 220
- Abbildung 148:** Quellenverzeichnis aus dem Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“. Die Angabe der Quellen im Quellenverzeichnis erfolgt im APA-Stil. 221
- Abbildung 149:** Abbildungstypen im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“. **A** Abbildungstyp 1: Die Bilder stellen zumeist Zeichnungen der Autor:innen des jeweiligen Kapitels dar und weisen keine Bildbeschriftung auf. **B** Abbildungstyp 2: Die Zeichnungen unterstützen den Text und verdeutlichen Inhalte. Sie sind mit Beschriftungen versehen. **C** Abbildungstyp 3: Die Abbildungen sind Fotos, zumeist von den im Buch enthaltenen Experimenten. 222
- Abbildung 150:** Kapitel 2 aus dem Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen. 222

Abbildung 151: Gefahrenhinweis zum Umgang mit UV-Strahlung.	223
Abbildung 152: Einleitung und Materialliste für Experimente im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“	224
Abbildung 153: Durchführung und Beobachtungen für Experimente im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“ ..	225
Abbildung 154: Erklärung für Experimente im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“	225
Abbildung 155: Screenshot aus dem Video "Verbreitung von Viren durch Schmierinfektion". Moderationsszenarie in einem Einzelhandelsmarkt.	227
Abbildung 156: Screenshots aus dem Video „Wie funktioniert Desinfektionsmittel?“. Nahe Kameraeinstellung und Großaufnahme beim Experiment.	227
Abbildung 157: Screenshot aus dem Video „Wie funktioniert Desinfektionsmittel?“. Schlussmaske des Videos.....	228
Abbildung 158: Weg der Erkenntnisgewinnung in den Wissenschaftskommunikationsformaten "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft" (links) im Vergleich zum Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung nach (Häusler, 1976).	234

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kurzdarstellung von Arbeiten über Schülerlabore mit den jeweiligen Forschungsschwerpunkten und Zielgruppen nach (Budke, 2019).	9
Tabelle 2: Übersicht ausgewählter Wissenschaftskommunikationsformate bis 2021 nach (Pasternack & Beer, 2022).	10
Tabelle 3: Übersicht von Proteinfunktionen. Verändert nach (Urry et al., 2019).	20
Tabelle 4: Physiologischer Brennwert von Makronährstoffen.....	22
Tabelle 5: Liste der Funktionsklassen zugelassener Lebensmittelzusatzstoffe nach (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2008).	25
Tabelle 6: Formen vegetarischer Ernährung nach (Leitzmann & Keller, 2020).	25
Tabelle 7: Richtwerte der DGE für die durchschnittliche Energiezufuhr bei Personen unterschiedlichen Alters und Geschlechts in Abhängigkeit der körperlichen Aktivität (PAL-Wert). Verändert nach (DGE et al., 2019).	29
Tabelle 8: Durchschnittliche Nahrungsenergiezufuhr in ausgewählten Ländern bei Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen.	29
Tabelle 9: Durchschnittliche Relation der Hauptnährstoffe in ausgewählten Ländern bei Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen im Vergleich zum Richtwert der DGE.	29
Tabelle 10: Durchschnittlicher BMI von Mischköstler:innen, Pescetarier:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen in der Adventist Health Study 2 (AHS-2) und der EPIC-Oxford-Study (Davey et al., 2003; Orlich et al., 2013).	30
Tabelle 11: Anteil Adipöser bei Mischköstler:innen, Pescetarier:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen in der Adventist Health Study 2 (AHS-2) und der EPIC-Oxford-Study (Davey et al., 2003; Rizzo et al., 2013).	30
Tabelle 12: Potentiell kanzerogene Substanzen in rotem Fleisch und Fleischwaren nach (Cascella et al., 2018; Hahn et al., 2016; Kasper & Walter, 2020; Samraj et al., 2014). Verändert aus (Leitzmann & Keller, 2020).	32
Tabelle 13: Eisengehalte ausgewählter Lebensmittel nach (Elmadfa et al., 2017). Ein Eisengehalt > 10 mg/100 g gilt als hoch, ein Eisengehalt < 1 mg/100 g gilt als niedrig.....	32
Tabelle 14: Durchschnittliche Calciumzufuhr bei Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen im Vergleich.	34
Tabelle 15: Vitamin-B ₁₂ -Status bei Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen nach (Herrmann et al., 2003).	36
Tabelle 16: Übersicht wichtiger ungesättigter Fettsäuren nach (Leitzmann & Keller, 2020).	38
Tabelle 17: Durchschnittliche HEI-2010-Scores für vegane, vegetarische, semi-vegetarische, pescetarische und omnivore Ernährungsweise nach (Guenther et al., 2013) und (Clarys et al., 2014). [+] bezeichnet im Sinne des HEI positiv bewertete, [-] negativ bewertete Komponenten. Die HEI-2010-Scores wurden für [-]-Komponenten invertiert, sodass eine Summenbildung möglich ist.	41
Tabelle 18: Übersicht verschiedener physiologischer Faktoren zur gesundheitlichen Bewertung der Ernährung von Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen.	41
Tabelle 19: GWP (berechnet als CO ₂ -e) ausgewählter Treibhausgase. Konventionsgemäß sind die Werte auf das Treibhauspotential von Kohlenstoffdioxid normiert. Daten nach (Myhre et al., 2014) und (FCCC & UN, 2014).	48
Tabelle 20: Futteraufnahme und Energieeffizienz der Kalorienumwandlung bei der Tierproduktion. Daten nach (Shepon et al., 2016).	50

Tabelle 21: Referenzwerte der Planetary Health Diet nach (Willett et al., 2019). Berechnet für eine Kalorienzufuhr von 2500 kcal/d.....	58
Tabelle 22: Schematischer Ablauf des Schülerlaborsettings "Es geht um die Wurst" für die Sekundarstufe II. Die Dauer der jeweiligen Phasen beinhaltet Pausenzeiten für die Schüler:innen.....	62
Tabelle 23: Physiologischer Brennwert ausgewählter Lebensmittelkomponenten nach (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2011).....	63
Tabelle 24: Zusammensetzung des physiologischen Brennwertes und Nährstoffrelation von konventioneller, vegetarischer und veganer Mortadella. w = Massenanteil, $H_{s,p}$ = physiologischer Brennwert pro 100 g Lebensmittel, $H_{s,p}$ (anteilig) = Anteil der Nährstoffes am physiologischen Gesamtbrennwert des Lebensmittels.	64
Tabelle 25: Experimentell durch Kalorimetrie bestimmte Temperaturdifferenzen beim Einsatz von 5,0 g konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst und einem Kalorimetervolumen von $V = 450$ mL.	68
Tabelle 26: Experimentell bestimmte physikalische Brennwerte und physiologische Brennwerte nach Herstellerangaben der konventionellen, vegetarischen und veganen Wurst im Vergleich.....	68
Tabelle 27: Experimentell ermittelte Temperaturdifferenzen mit dem Dosenkalorimeter nach (Walf, 2016).....	70
Tabelle 28: Äquivalentleitfähigkeiten der am Versuch beteiligten Ionen bei 25 °C in destilliertem Wasser nach (Bader, 2017).....	73
Tabelle 29: Übersicht der Ergebnisse der potentiometrischen Fällungtitration zur Bestimmung des Kochsalzgehaltes in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst.....	77
Tabelle 30: Fettzusammensetzung der konventionellen, vegetarischen und veganen Mortadella.	95
Tabelle 31: Durchschnittliche Ergebnisse der Redoxtitration zur Bestimmung der Iodzahl.	99
Tabelle 32: Beispielhafte Berechnung der Nachhaltigkeitsbilanz eines Hamburgers und eines Vegan Burgers im Spiel <i>Burger.i.doo</i>	108
Tabelle 33: Statistische Kennwerte für Umweltaffekt, Umweltkognition und Umweltverhalten der Umweltbewusstseinsstudie in Deutschland 2018 des UBA (Umweltbundesamt, 2019). Die Werte sind auf ein Maximum von 10,0 standardisiert.	122
Tabelle 34: Untersuchte Konstrukte der Begleitstudie mit Dimensionen sowie der Anzahl der Items für Pre-, Post- und Follow-Up-Test.....	125
Tabelle 35: Items zur Erhebung des Konstruktes Fachinteresse.....	126
Tabelle 36: Items zur Erhebung des Konstruktes Sachinteresse.....	126
Tabelle 37: Items zur Erhebung des Konstruktes Fähigkeitsselbstkonzept.....	127
Tabelle 38: Items zur Erhebung des Konstruktes Freude (Pretest und Follow-Up-Test).	127
Tabelle 39: Items zur Erhebung des Konstruktes Freude (Posttest).	127
Tabelle 40: Items zur Erhebung des Konstruktes Frustration (Pre- und Follow-Up-Test).....	128
Tabelle 41: Items zur Erhebung des Konstruktes Frustration (Posttest).	128
Tabelle 42: Items zur Erhebung des Konstruktes Langeweile (Pre- und Follow-Up-Test).	128
Tabelle 43: Items zur Erhebung des Konstruktes Langeweile (Posttest).	128
Tabelle 44: Items zur Erhebung des Konstruktes Interessiertheit (Pre- und Follow-Up-Test).	129
Tabelle 45: Items zur Erhebung des Konstruktes Interessiertheit (Posttest).	129
Tabelle 46: Items zur Erhebung der Standortakzeptanz.....	129
Tabelle 47: Items zur Erhebung des Konstruktes Umweltaffekt.....	130

Tabelle 48: Items zur Erhebung des Konstruktes Umweltkognition.....	130
Tabelle 49: Items zur Erhebung des Konstruktes Allgemeines Umweltverhalten.....	131
Tabelle 50: Items zur Erhebung des Konstruktes Themenspezifisches Umweltverhalten (Ernährung).	131
Tabelle 51: Items zu Einstellungen zur Ernährung in Post- und Follow-Up-Test.....	131
Tabelle 52: Skalenreliabilitäten, gemessen als Cronbachs α für die drei Testzeitpunkte.....	133
Tabelle 53: Korrelationen der Skalen zur Motivation und zur Emotion (Pretest), Angabe als Korrelationskoeffizient r nach Pearson. Signifikanzniveau ** entspricht $p < 0,01$	136
Tabelle 54: Korrelationen der Skalen zum Umweltbewusstsein (Pretest), Angabe als Korrelationskoeffizient r nach Pearson. Signifikanzniveau ** entspricht $p < 0,01$	136
Tabelle 55: Korrelationen zwischen Skalen zu Emotion und Motivation sowie den Skalen zum Umweltbewusstsein, Angabe als Korrelationskoeffizient r nach Pearson. Signifikanzniveau * entspricht $p < 0,05$; Signifikanzniveau ** entspricht $p < 0,01$	137
Tabelle 56: Reliabilitätsanalyse für die Skala Fachinteresse nach Cronbachs α	137
Tabelle 57: Items zur Erhebung des Fachinteresses in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.....	137
Tabelle 58: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	138
Tabelle 59: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.....	138
Tabelle 60: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Kurswahlverhaltens.....	139
Tabelle 61: Reliabilitätsanalyse für die Skala Sachinteresse nach Cronbachs α	140
Tabelle 62: Items zur Erhebung des Sachinteresses in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.....	140
Tabelle 63: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Sachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	140
Tabelle 64: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Sachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.....	141
Tabelle 65: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Sachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Kurswahlverhaltens.....	142
Tabelle 66: Reliabilitätsanalyse für die Skala Fähigkeitsselbstkonzept nach Cronbachs α	143
Tabelle 67: Items zur Erhebung des Fähigkeitsselbstkonzeptes in Pre-, Post- und Follow-Up-Test..	143
Tabelle 68: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	144
Tabelle 69: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.....	145
Tabelle 70: Reliabilitätsanalyse für die Skala Freude nach Cronbachs α	146
Tabelle 71: Items zur Erhebung der Freude in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.....	146
Tabelle 72: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Freude der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	147
Tabelle 73: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Freude der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.....	147
Tabelle 74: Reliabilitätsanalyse für die Skala Frustration nach Cronbachs α	148

Tabelle 75: Items zur Erhebung der Frustration in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.....	148
Tabelle 76: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Frustration der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	149
Tabelle 77: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Frustration der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.	150
Tabelle 78: Reliabilitätsanalyse für die Skala Langeweile nach Cronbachs α	151
Tabelle 79: Items zur Erhebung des Konstruktes Langeweile in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.	151
Tabelle 80: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Langeweile der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	152
Tabelle 81: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Langeweile der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.	152
Tabelle 82: Reliabilitätsanalyse für die Skala Interessiertheit nach Cronbachs α	154
Tabelle 83: Items zur Erhebung des Konstruktes Interessiertheit in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.	154
Tabelle 84: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Interessiertheit der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	154
Tabelle 85: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Interessiertheit der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.	155
Tabelle 86: Items zur Erhebung der Standortakzeptanz in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.	157
Tabelle 87: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte in der Schule der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	157
Tabelle 88: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte außerhalb der Schule der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	158
Tabelle 89: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Motivationssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.	160
Tabelle 90: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur erneuten Teilnahme der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.	161
Tabelle 91: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Interessenssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.	162
Tabelle 92: Mittelwerte (M) und Standardabweichung (SD) zum Spaß am Labortag der Schüler:innen im Follow-Up-Test in Abhängigkeit des Interventionsortes.	162
Tabelle 93: Vergleich der Standortakzeptanzbewertung der Schüler:innen für außerschulische Lernorte innerhalb und außerhalb der eigenen Schule in der GLO1- (Budke, 2019) und GLO2-Studie. Dargestellt sind die jeweiligen Skalenmittelwerte M und Standardabweichungen (SD) in Klammern.	163
Tabelle 94: Reliabilitätsanalyse für die Skala Umwelteffekt nach Cronbachs α	164
Tabelle 95: Items zur Erhebung des Umwelteffektes in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.	165
Tabelle 96: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Umwelteffekt der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	165
Tabelle 97: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Umwelteffekt der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.	166
Tabelle 98: Reliabilitätsanalyse für die Skala Umweltkognition nach Cronbachs α	167

Tabelle 99: Items zur Erhebung der Umweltkognition in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.....	168
Tabelle 100: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Umweltaffekt der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	168
Tabelle 101: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Umweltkognition der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.	169
Tabelle 102: Reliabilitätsanalyse für die Skala Allgemeines Umweltverhalten nach Cronbachs α	170
Tabelle 103: Items zur Erhebung des Allgemeinen Umweltverhaltens in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.....	170
Tabelle 104: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Allgemeines Umweltverhalten der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	171
Tabelle 105: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Allgemeines Umweltverhalten der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.	172
Tabelle 106: Reliabilitätsanalyse für die Skala Themenspezifisches Umweltverhalten nach Cronbachs α	172
Tabelle 107: Items zur Erhebung des Themenspezifischen Umweltverhaltens in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.....	172
Tabelle 108: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Themenspezifisches Umweltverhalten der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	173
Tabelle 109: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Themenspezifisches Umweltverhalten der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.	174
Tabelle 110: Item zur Erhebung der kognitiven Einstellungen zur Ernährung.	175
Tabelle 111: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Änderung der kognitiven Einstellungen zur Ernährung der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	175
Tabelle 112: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Änderung der kognitiven Einstellungen zur Ernährung der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.	176
Tabelle 113: Item zur Erhebung der Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen in Post- und Follow-Up-Test.....	176
Tabelle 114: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.....	177
Tabelle 115: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.	177
Tabelle 116: Items der Evaluation zum BNE-Spiel "Burger.i.doo".....	186
Tabelle 117: SARS-CoV-2 Varianten nach Definition der WHO (WHO, 2023a). Kursive Varianten sind nicht mehr als VOI oder als VOC eingestuft.	191
Tabelle 118: Infektionszahlen und Todesfallzahlen durch COVID-19 nach Ländern. Fallzahlen nach (WHO, 2023b).....	193
Tabelle 119: Mögliche Ergebnisse und Fehler eines Tests mit Angabe des Testfehlers.....	199
Tabelle 120: In Deutschland zugelassene Impfstoffe gegen SARS-CoV-2. Daten nach (Paul-Ehrlich-Institut, 2023).....	200

Tabelle 121: Experimente der Wissenschaftskommunikationsformate "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".	208
Tabelle 122: Wissenschaftskommunikationsformate zum Titel "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".	209
Tabelle 123: Kapitelübersicht des Buches "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft - Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen" unter Angabe der Autor:innen und Verantwortlichen der jeweiligen Kapitel.	218
Tabelle 124: Liste der Videos auf dem YouTube-Kanal der Chemiedidaktik Universität Osnabrück unter dem Titel "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".	227
Tabelle 125: Ablaufplan der Online-Workshops „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“.....	229
Tabelle 126: Ablauf des Schülerlaborsettings "Mit der AHA-Formel gegen die Verbreitung des Coronavirus" nach (Jansen, 2021).	230
Tabelle 127: Auswahl von Feedback-Aussagen im Freitextfeld zur Lehrkräftefortbildung "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".	231

Abkürzungsverzeichnis

η^2 Partielles Eta-Quadrat	H _s Physikalischer Brennwert
ΔG Freie Enthalpie (Gibbs Enthalpie)	H _{s,p} Physiologischer Brennwert
ADI Acceptable Daily Intake	IgG Immunglobulin G
ADP Adenosindiphosphat	IZ Iodzahl
ALA α -Linolensäure	kcal Kilokalorien
ÄQP Äquivalenzpunkt	kDa Kilodalton
ATP Adenosintriphosphat	kJ Kilojoule
BfR Bundesinstitut für Risikobewertung	KMK Kultusministerkonferenz
BMEL Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft	MINT Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik
BMI Body-Mass-Index	mRNA Messenger-Ribonukleinsäure
BNE Bildung für Nachhaltige Entwicklung bzw. beziehungsweise	MUFA einfach ungesättigte Fettsäuren / monounsaturated fatty acids
CO ₂ -e Kohlenstoffdioxid-Äquivalente d Tag	NOEL No Observed Effect Level
d.h. das heißt	p p-Wert / Signifikanz
DGE Deutsche Gesellschaft für Ernährung	PAL Physical Activity Level
DGUV Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung	PCR Polymerasekettenreaktion / Polymerase Chain Reaction
DHA Docosahexaensäure	P _i Phosphat-Anion / freies Phosphat
DNA Desoxyribonukleinsäure	PUFA mehrfach ungesättigte Fettsäuren / polyunsaturated fatty acids
dt. Deutsch / deutsch	RiSU Richtlinie zur Sicherheit im Unterricht
EPA Eicosapentaensäure	RKI Robert Koch-Institut
EU Europäische Union	RNA Ribonukleinsäure
FAD Flavinadenindinucleotid	R-Wert Reproduktionszahl / Reproduktionswert
FAO Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen / Food and Agriculture Organization of the United Nations	SARS-CoV-2 Schweres-akutes- Atemwegssyndrom-Coronavirus Typ 2 / severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2
FMN Flavinmononucleotid	SDGs Sustainable Development Goals
GLO1 Erhebung zum Schülerlabor "Es geht um die Wurst" in der Sekundarstufe I	UBA Umweltbundesamt
GLO2 Erhebung zum Schülerlabor "Es geht um die Wurst" für die Sekundarstufe II	USA Vereinigte Staaten von Amerika
GWP Treibhauspotential / Greenhouse Warming Potential	usw. und so weiter
HEI Healthy Eating Index	v.a. vor allem
	vgl. vergleiche
	WHO Weltgesundheitsorganisation
	z.B. zum Beispiel

1. Einleitung

*„Die Menschheit lebt, als hätte sie 1,7 Erden zur Verfügung. Das ist eine ausgemachte Krise!“
(Christoph Bals, Politischer Geschäftsführer von Germanwatch, 02. August 2023)*

Das Wort *Krise* definiert die Zwanziger Jahre des 21. Jahrhunderts wie kaum ein anderes. „Corona-Krise“, „Wirtschaftskrise“, „Energiekrise“, „Klimakrise“ und nicht zuletzt „Bildungskrise“ sind nur einige Beispiele der in der deutschen Medienlandschaft am meisten genannten Begriffe des Jahres 2023. Der intensive Gebrauch dieses Wortes ist wenig verwunderlich, standen die 2010er Jahre doch für einen immensen wirtschaftlichen Aufschwung, ein steigendes Realeinkommen, sinkende Arbeitslosenquoten und damit auch einen wachsenden Komfort besonders in der westlichen Welt. Mit Beginn der COVID-19-Pandemie im Jahr 2020 wurde dieser Aufschwung nahezu schlagartig gestoppt. Die Viruserkrankung sorgte für einen Einbruch der Weltwirtschaft, damit auch steigende Arbeitslosigkeiten und vor allem eine massive Einschränkung des sozialen Miteinanders. Besonders von den Einschnitten durch die Pandemie ist auch der Bildungssektor betroffen. Sowohl schulische als auch universitäre Bildung mussten durch die Pandemie eingeschränkt, zum Teil gänzlich eingestellt werden. Eine Anpassung der Bildung war schnellstmöglich gefordert. Neben der COVID-19-Pandemie zeigt sich in Deutschland und in ganz Europa eine wachsende Drift der politischen Vorstellungen und Ideale. Während viele, besonders junge, Menschen Sorgen um ihre Zukunft haben und den Klimawandel daher auch als „Klimakrise“ bezeichnen, lehnen einige Teile der Bevölkerung den Einfluss der Menschheit auf den Klimawandel gänzlich ab. Dieses von Fehlinformationen geprägte Bild der Wissenschaft lässt sich wiederum auf die COVID-19-Pandemie übertragen, die seit ihrem Ausbruch mit der Verbreitung von Falschinformationen einhergeht. Neben den oben genannten Krisen lässt sich daher seit dem Jahr 2020 ebenfalls eine „Informationskrise“ festmachen, die besonders durch die sozialen Medien beschleunigt wird. Diese zahlreichen Krisen, verbunden mit im Umlauf befindlichen Fehlinformationen, stellen eine Herausforderung für die gesamte Bevölkerung dar. Es bedarf daher geeigneter Instrumente, diesen Herausforderungen zu begegnen und Lösungen für die aktuellen Probleme der heutigen Zeit zu entwickeln. Im schulischen Kontext bedarf es Bildungsinstrumenten, mithilfe derer Schüler:innen Krisen begegnen, Fehlinformationen identifizieren und Probleme lösen können.

Das Lösen von Problemen im übertragenen Sinn ist Grundgedanke aller Naturwissenschaften. Mithilfe des systematischen Weges, mit dem in den Naturwissenschaften Fragen gestellt, Lösungsstrategien überlegt und überprüft und Gesetzmäßigkeiten entdeckt werden, bieten die Naturwissenschaften einen Ansatz, aktuelle Krisen und Herausforderungen zu bewältigen. Im Chemieunterricht gelingt das Lösen von Problemen zumeist über das Durchführen von Experimenten. Experimente sind seit Jahren eines der elementaren Kernelemente des Chemieunterrichtes. Ihre Durchführung ist für Schüler:innen unverzichtbar und gleichzeitig motivierend und steht dabei repräsentativ für das Fach Chemie wie kaum eine Methode in einem anderen Schulfach. Experimente sind dementsprechend auch fest in die Lehrpläne der Bundesländer eingebunden und gelten als eine der bedeutsamsten Methoden zum Erreichen von *Scientific Literacy* (KMK, 2005; OECD, 2017). Dieser am besten mit „naturwissenschaftlicher Grundbildung“ bzw. „naturwissenschaftliche Kompetenz“ zu übersetzende Erhebungsbereich der PISA-Studien gilt als eines der wichtigsten Ziele naturwissenschaftlichen Unterrichts. Die Schüler:innen sollen Wissen erlangen (epistemologische Kompetenz), um sachgerecht zu handeln (kommunikative Kompetenz, soziale Kompetenz, prozedurale Kompetenz) und Sachverhalte zu bewerten (ethisch-moralische Kompetenz, ästhetische Kompetenz) (Gräber, 2002). Auf diese Weise sollen Schüler:innen zu mündigen Bürger:innen erzogen werden, die an gesellschaftlichen Prozessen partizipieren können. In mittelbarer Funktion steht das Experiment im naturwissenschaftlichen Unterricht daher im Zusammenhang mit den aktuellen gesellschaftlichen Krisen und Herausforderungen.

Die vorliegende Arbeit dient dazu, die Rolle des Experimentes als Hilfestellung in der Bewerkstelligung von Krisen und Herausforderungen zu evaluieren. Dazu werden verschiedene experimentell ausgerichtete Settings und Formate entwickelt und erprobt.

Dem Fach Chemie selbst wird in der Gesellschaft ein eher negatives Image zugeschrieben, da die Chemie als „Wissenschaft des Bösen“ stigmatisiert wird und der Begriff Chemie eng an Umweltkatastrophen sowie Toxizität und Gefahr geknüpft ist (vgl. Aussagen wie: „Dieser Reiniger enthält keine Chemie“ oder „Eine biobasierte Ernährung kommt ohne Chemie aus“) (Hartings & Fahy, 2011). Dieses

negative gesellschaftliche Bild überträgt sich auch auf Schüler:innen, die ebenfalls mit dem Wort „Chemie“ eine stark negative Prägung der Fachdisziplin verbinden, wie Barke und Hilbing in einer Studie aus dem Jahr 1998 zeigten (Barke & Hilbing, 2000). Eine Folgestudie von Pietsch und Barke aus dem Jahr 2014 ergibt allerdings ein besseres, wenngleich nicht positives Image der Chemie aus Sicht der Schüler:innen (Pietsch & Barke, 2014). Das negative Image kann ein Grund dafür sein, dass das Schulfach Chemie neben dem Fach Physik auf einem der letzten Plätze der Fächerbeliebtheit in Deutschland, aber auch im internationalen Raum steht (Merzyn, 2008). Das Interesse an den naturwissenschaftlichen Fächern sei in der Schule vor allem daher recht gering, dass die Inhalte abstrakt, der Unterricht fern von naturwissenschaftlicher Forschung (Reiss et al., 2016) und die Umsetzung eigener Ideen, Kreativität oder selbstgesteuerten Lernens teilweise gänzlich fehlen würden. Der naturwissenschaftliche Unterricht sei daher für viele Schüler:innen demotivierend und uninteressant (Prenzel, 2005). Um das Interesse an und die Motivation für die Auseinandersetzung mit den Naturwissenschaften bei Schüler:innen zu fördern, bieten Universitäten aber auch andere Institution seit einigen Jahren MINT-Schülerlabore als außerschulische Lernorte an. In diesen sollen der Charakter der Naturwissenschaften im Sinne einer kreativen und problemlösenden Auseinandersetzung mit Inhalten und Themenfeldern des naturwissenschaftlichen Unterrichtes durch praktisches Arbeiten sowie Nähe zur Forschung und Wissenschaft vermittelt werden. Gleichzeitig soll die Durchführung von Schülerlaboren den Schüler:innen Freude bereiten und positive Affektionen hervorrufen (Braund & Reiss, 2006). Verschiedene Studien zeigen, dass diese Anforderung, die an Schülerlabore gestellt wird, oftmals gelingt. So werden die Freude, das Interesse und die Motivation, aber auch das Selbstkonzept und das Wissenschaftsverständnis durch Schülerlabore zumindest kurzfristig gesteigert (Budke, 2019; Damerau, 2012; Engeln, 2004; Glowinski, 2007; Guderian, 2007; Pawek, 2009; Plasa, 2013; Rodenhauser, 2016). Da das Ziel vieler Schülerlabore das Näherbringen von aktueller Forschung und Wissenschaft sowie das Vermitteln spezifischer naturwissenschaftlicher Arbeitstechniken und -methoden ist, eignen sie sich darüber hinaus besonders gut, *Scientific Literacy* zu vermitteln (Haupt et al., 2013; Schmidt et al., 2011; Weißnigk, 2013). Im Umkehrschluss kann vermutet werden, dass Schülerlabore einen (erwartungsgemäß kleinen) Beitrag dazu leisten können, Schüler:innen auf die Bewältigung aktueller Probleme und Herausforderungen vorzubereiten.

Eine der bedeutsamsten Krisen, mit denen sich die Gesellschaft konfrontiert sieht, werden durch den Klimawandel und die generellen Belastungen der globalen Umwelt verursacht. Die wachsende Weltbevölkerung und der ressourcenverbrauchende Charakter vieler Menschen auf dem gesamten Planeten belasten die ökologischen Grenzen der Erde stark. Bereits jetzt wurden durch anthropogene Einflüsse sechs der neun planetaren Belastbarkeitsgrenzen überschritten (Steffen, Richardson, et al., 2015), was zu erheblichen Veränderungen der globalen Umwelt führt (Steffen, Broadgate, et al., 2015). Ein bedeutender Einflussfaktor auf diese globalen Veränderungen hat die Ernährung der Menschen (Campbell et al., 2017). Besonders die entsprechend der planetaren Belastbarkeitsgrenzen stark überschrittenen biogeochemischen Flüsse und die Artenvielfalt, aber auch der Klimawandel und der Landnutzungswandel werden durch die aktuelle Produktion und Verarbeitung von Lebensmitteln massiv beeinflusst (Campbell et al., 2017). Die Ernährung des Menschen beeinflusst allerdings nicht nur die ökologischen Grenzen der Erde, sondern ist einer der wichtigsten Einflussfaktoren auf die Gesundheit. So sind mit einer falschen Ernährung zahlreiche Erkrankungen des Herz-Kreislaufsystems sowie Stoffwechselstörungen verbunden (Elmadfa & Leitzmann, 2019; Hahn et al., 2016; Kasper & Walter, 2020). Bereits im Jahr 2016 wurde im Rahmen des Schülerlabores GreenLab_OS ein Schülerlaborsetting für Schüler:innen der Sekundarstufe I entwickelt, in welchem ein konventionelles und ein vegetarisches Wurstprodukt miteinander experimentell verglichen und analysiert werden. Der Fokus dieses Settings liegt auf der Anwendung von Stofftrennverfahren zur Identifikation der beiden Produkte (Walf, 2016). Zusätzlich wurde im Setting die Bewertungskompetenz der Schüler:innen gestärkt, indem diese verschiedene Produkte hinsichtlich ihrer Nachhaltigkeitsbilanz bewerten sollten. Das Schülerlaborsetting leistet somit auch einen Beitrag zur Bildung für Nachhaltige Entwicklung (BNE). Das sowohl mobil an Schulen als auch stationär an der Universität angebotene Laborsetting wurde von Budke hinsichtlich der motivationalen und affektiven Einstellungen der Schüler:innen in einer Studie im Pre-, Post-, Follow-Up-Design untersucht. Dabei stand der Einfluss des Standortes auf die genannten Konstrukte bei den Schüler:innen im Fokus (Budke, 2019).

Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Schülerlaborsetting konzipiert, das das konventionelle und vegetarische Wurstprodukt um eine vegane Alternative ergänzt. Gleichzeitig sollen neue Experimente entwickelt werden, die einen Transfer des Settings in die Sekundarstufe II ermöglichen. Die Experimente

sollen an das Kerncurriculum des Landes Niedersachsen für die Gymnasiale Oberstufe angelehnt sein. Aufgrund der im Kerncurriculum geforderten Vermittlung von BNE-Kompetenzen, sollen die Bausteine „gesunde Ernährung“ sowie „Ernährung und Nachhaltigkeit“ im Schülerlaborsetting verstärkt thematisiert werden. Das konzipierte Schülerlaborsetting soll vergleichend zur Begleitstudie von Budke hinsichtlich motivationaler und affektiver Einstellungen der Schüler:innen in Abhängigkeit des Standortes und des Interventionsortes evaluiert werden. Dazu wird die von Budke entwickelte Studie auf das Schülerlaborsetting für die Sekundarstufe II angewandt und die erhaltenen Ergebnisse mit den Studienergebnissen der Erhebung für die Sekundarstufe I verglichen. Es ergeben sich folgende Fragestellungen, die durch die Erhebung und den Vergleich beider Studien beantwortet werden sollen:

Forschungsfrage 1: Welchen Einfluss hat der Besuch des Schülerlabortages auf die motivationalen und affektiven Einstellungen der Schüler:innen zum Chemieunterricht?

Forschungsfrage 2: Können das Interesse am und die Motivation für den Chemieunterricht durch den Schülerlabortag gesteigert werden?

Forschungsfrage 3: Treten Unterschiede in den Ergebnissen im Vergleich beider Standorte und der Geschlechter auf?

Forschungsfrage 4: Welche Unterschiede zeigen sich hinsichtlich der Ergebnisse der Studie für die Sekundarstufe II im Vergleich zu den Ergebnissen der Studie für die Sekundarstufe I?

Neben den motivationalen und affektiven Einstellungen der Schüler:innen, die für das Interesse am Chemieunterricht von hoher Bedeutung sind, wurde bereits der Einfluss der Ernährung auf die globale Umwelt erwähnt. Die Schüler:innen sollen im Schülerlabor daher auch für eine umweltbewusste Ernährung sensibilisiert werden und befähigt werden, ihr eigenes Ernährungsverhalten kritisch zu reflektieren. Um den Einfluss des Schülerlabortages auf das Umweltbewusstsein zu erheben, wird der Fragebogen um entsprechende Skalen ergänzt. Für die Arbeit ergibt sich folgende Fragestellung:

Forschungsfrage 5: Kann der Schülerlabortag das Umweltbewusstsein der Schüler:innen beeinflussen?

Die zuvor erwähnte Konzeption und Evaluation des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ richtet sich ausschließlich an Schüler:innen der Sekundarstufe II. Allerdings betreffen die eingangs erwähnten Krisen nicht nur Schüler:innen, sondern die gesamte Bevölkerung. Die im Jahr 2020 ausgebrochene COVID-19-Pandemie mit allen daraus resultierenden gesundheitlichen, sozialen und wirtschaftlichen Einschnitten wird medial zumeist als „Coronakrise“ bezeichnet. Die Coronakrise bildet den Ausgangspunkt für den zweiten Teil der vorliegenden Arbeit. Die zeitgleich mit der Pandemie entstandenen Fehlinformationen und Mythen, die mitunter auch als „Fake News“ bezeichnet werden, beeinflussen die Gesundheit und das Wohlergehen der Menschen und sorgen für politische Spannungen (Allcott & Gentzkow, 2017; Brashier & Schacter, 2020; Marco-Franco et al., 2021; Rapoza, 2017; van der Linden et al., 2020). Um die Bevölkerung für Fehlinformationen und Mythen zur Pandemie zu sensibilisieren und Werkzeuge an die Hand zu geben, mit denen diese identifiziert werden können, sollen im Rahmen dieser Arbeit verschiedene Wissenschaftskommunikationsformate entwickelt werden. Diese Wissenschaftskommunikationsformate sollen sich dabei zum einen an die allgemeine Bevölkerung, zum anderen konkret an Schüler:innen richten, die aufgrund ihres jüngeren Alters und der höher frequentierten Nutzung sozialer Medien besonders gefährdet sind, Fake News fälschlicherweise Glauben zu schenken (Brashier et al., 2017). Um möglichst verschiedene Zielgruppen adressatengerecht anzusprechen, sollen verschiedene Wissenschaftskommunikationsformate und -medien entwickelt werden. Alle entwickelten Formate sollen dabei das naturwissenschaftliche Experiment als Kernelement aufweisen. Ziel ist es, mithilfe der Experimente ein größeres Verständnis für naturwissenschaftliche Arbeitsweisen, vor allem zu Aspekten der COVID-19-Pandemie zu schaffen. Durch das Experimentieren können diese Aspekte erleb- und erfahrbar gemacht werden, die Nutzer:innen der Wissenschaftskommunikationsformate können ihre Erkenntnisse gleichzeitig aber unabhängig und eigenständig machen, indem sie Beobachtungen aufstellen und Ergebnisse ableiten. Sowohl die Schüler:innen als auch die Bürger:innen sollen durch das Experimentieren daher Wissen erlangen und begründet Entscheidungen treffen sowie

Sachverhalte bewerten können. Auch hier soll das Experiment daher einen Beitrag zur *Scientific Literacy* der Nutzer:innen der Formate leisten. Es stellen sich daher folgende Fragen:

Forschungsfrage 6: Kann die Fachmethode Experiment auch außerhalb der Schule einen Beitrag zur *Scientific Literacy* in der Bevölkerung leisten?

Forschungsfrage 7: Kann die Fachmethode Experiment Hilfestellungen geben, Mythen und Falschinformationen zur COVID-19-Pandemie aufzuklären?

Sowohl innerhalb des Schülerlabores als auch innerhalb der zu entwickelnden Wissenschaftskommunikationsformate nimmt das Experiment die zentrale Rolle ein und soll dem Wissenserwerb, aber auch der Steigerung der Bewertungskompetenz der Nutzer:innen dienen. Die Fachmethode Experiment soll daher auch außerhalb des schulischen Kontextes eingesetzt werden und als Instrument der Wissenschaftskommunikation dienen. Anhand der beiden vorgestellten Teile der Arbeit lässt sich die folgende übergeordnete Fragestellung der Arbeit ableiten:

Übergeordnete Forschungsfrage: Kann die Fachmethode Experiment sowohl innerhalb als auch außerhalb des naturwissenschaftlichen Regelunterrichtes sowohl Schüler:innen als auch Bürger:innen als Instrument der Wissenschaftskommunikation dienen, um Wissen zu mehrern, Problemstellungen zu identifizieren und einen Beitrag zur Bewerkstelligung von Krisen zu leisten?

2. Forschungsbedarfe innerhalb und außerhalb des naturwissenschaftlichen Unterrichts

2.1 Genese und Struktur der Arbeit

Die vorliegende Arbeit ist in zwei übergeordnete Teile gegliedert. In den Kapiteln 3 und 4 werden zunächst die Konzeption des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II und die Begleitstudie zu diesem Setting vorgestellt. Die beiden Kapitel bilden das Kernelement dieser Dissertation. Zu Beginn des Promotionsvorhabens im Frühjahr 2019 wurde als Promotionsziel die Konzeption eines Schülerlaborsettings zum Thema „nachhaltige Ernährung“ für die Sekundarstufe II sowie eine damit verbundene empirische Erhebung zu diesem Schülerlabor formuliert. Die Ergebnisse der Studie sollten im Anschluss mit der Fragebogenstudie von Michael Budke zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I verglichen werden (Budke, 2019). Der vermutete Verlaufsplan der Promotion ist in Abbildung 1 dargestellt.

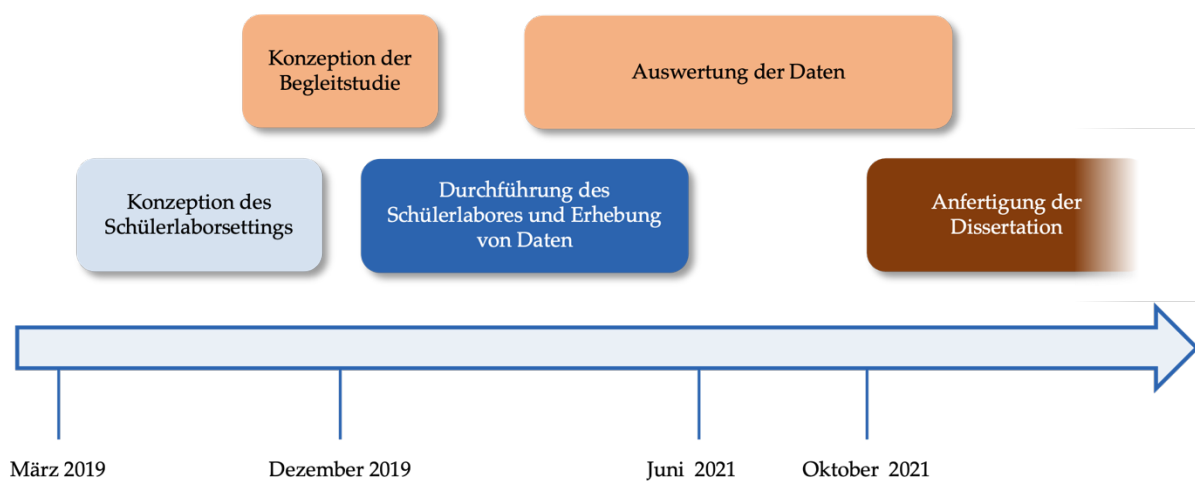


Abbildung 1: Antizipierter Verlaufsplan der Promotion.

Entsprechend des Verlaufsplanes sollte die Durchführung des Schülerlabores und die damit verbundene Datenerhebung zu Beginn des Jahres 2020 stattfinden. Ein erster Termin zur Durchführung des Labortages wurde unter Berücksichtigung des Halbjahreswechsels im Februar 2020 festgelegt. Die ab Mitte Februar in Deutschland langsam einsetzende COVID-19-Pandemie führte aufgrund der zu diesem Zeitpunkt gestiegenen Vorsichtsmaßnahmen zu einer Verschiebung des Termins auf Mai 2020. Weitere Termine für eine Durchführung des Schülerlabores wurden ab März desselben Jahres mit Schulen festgelegt. Die COVID-19-Pandemie, die ab März 2020 zu massiven Einschränkungen des öffentlichen Lebens weltweit führte, machte die Durchführung von Schülerlaboren bis auf weiteres unmöglich. Die Durchführung von Schülerlaboren wird nach Definition des Niedersächsischen Schulgesetzes unabhängig vom Standort (innerhalb oder außerhalb von Schulen) als außerschulischer Lernort definiert. Diese wurden im Rahmen der COVID-19-Pandemie bildungspolitisch nicht priorisiert, sodass die Durchführung der Schülerlabortage überwiegend auch in Zeiten untersagt war, in denen der reguläre Schulbetrieb vor Ort stattfand. Weiterhin wurde die Durchführung des Schülerlabores beeinträchtigt, da durch das hohe Ausmaß an verllorener Unterrichtszeit durch Schulschließung auch zu Zeiten der Pandemie, in denen eine Durchführung des Schülerlabores grundsätzlich möglich gewesen wäre, Schulen die Versorgung des Regelunterrichtes priorisierten. Eine Durchführung der Schülerlabore konnte daher erst ab September 2021 ermöglicht werden, sodass ein Zeitverzug des Promotionsvorhabens um 1,5 Jahre eingetreten ist.

Während der 1,5 Jahre andauernden COVID-19-bedingten Phase, in denen keine Schülerlabor stattfinden konnten, wurde das Promotionsvorhaben um ein weiteres Projekt ergänzt. Aufgrund der zur COVID-19-Pandemie schnell wachsenden Zahl an Fehlinformationen, Mythen und Fake News wurden Wissenschaftskommunikationsformate entwickelt, die sich mit ebendiesen Misinformationen auseinandersetzen. Dazu wurde zunächst ein Buch entwickelt, welches den Titel „Corona zwischen Mythos und

Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“ trägt. Ebenso wie beim Schülerlabor, dessen Fokus das experimentelle Arbeiten durch die Schüler:innen ist, sollte ein Kernelement des Buches das experimentelle Überprüfen von Mythen und Fehlinformationen zur COVID-19-Pandemie sein. Im Anschluss an die Fertigstellung des Buches wurden weitere Wissenschaftskommunikationsformate entwickelt, die als zentrales Element das Experimentieren aufweisen. Im Vergleich zum ersten Forschungsschwerpunkt stellen diese Angebote allerdings nicht nur ein Format für Schüler:innen, sondern auch für die allgemeine Bevölkerung dar. Die entwickelten Formate sollten demnach einen Beitrag zur Wissenschaftskommunikation leisten und wurden nach den Grundkonzepten erfolgreicher Wissenschaftskommunikation entwickelt. Das erste für die Konzeption der Formate entwickelte Modell nach Burns et al. wird auch als AEIOU-Analogie bzw. Vokalanalogie der Wissenschaftskommunikation bezeichnet. Burns et al. definieren ein Wissenschaftskommunikationsformat als erfolgreich, wenn es bei der angesprochenen Zielgruppe mindestens eines der in Abbildung 2 dargestellten persönlichen Reaktionen hervorruft (Burns et al., 2003).

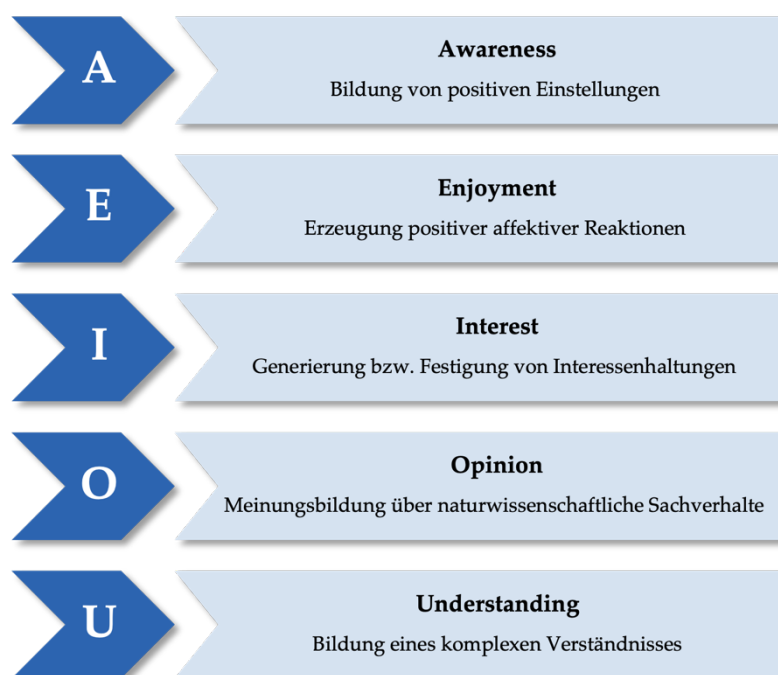


Abbildung 2: AEIOU-Analogie der Wissenschaftskommunikation nach (Burns et al., 2003).

Da die in den Formaten thematisierten Mythen und Fehlinformationen das Handeln der Personen beeinflussen können, soll durch das Wissenschaftskommunikationsformat vor allem die Meinungsbildung über naturwissenschaftliche Sachverhalte beeinflusst werden (Opinion). Dies soll zum einen zu einem erhöhten Vertrauen in die Naturwissenschaften und zum anderen zu einem reflektierten Handeln im Rahmen der COVID-19-Pandemie führen. Das zweite für die Konzeption der Formate berücksichtigte Modell nach Koballa et al. orientiert sich an der durch Wissenschaftskommunikation beeinflussten *Scientific Literacy*. Das Modell geht davon aus, dass jedes Individuum eine eigene „Berglandschaft“ verschiedener (naturwissenschaftlicher) Domänen (z.B. Chemie, Biologie, Physik) aufweist. Jeder Berg entspricht dabei einer Domäne. Je höher die einzelnen Berge sind, desto höher ist die Literacy des Individuums in Bezug auf diese Domäne. Wissenschaftskommunikation hilft dem Individuum, diese Berge zu erklimmen. Innerhalb des Modelles sind Wissenschaftskommunikationsformate Leitern, die beim Erklimmen des Berges helfen (Koballa et al., 1997) (Abbildung 3). Die Literacy in den jeweiligen Domänen kann dabei als latent verstanden werden, sodass die Leitern der Wissenschaftskommunikation das latente Wissen erreichbar und aktivierbar machen. Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Formate sollen das Wissen und das Interesse zum Thema Corona bzw. COVID-19 greifbar und nachvollziehbar machen und den Anwender:innen der Formate somit helfen, verschiedene Aspekte der Pandemie nachvollziehen zu können.

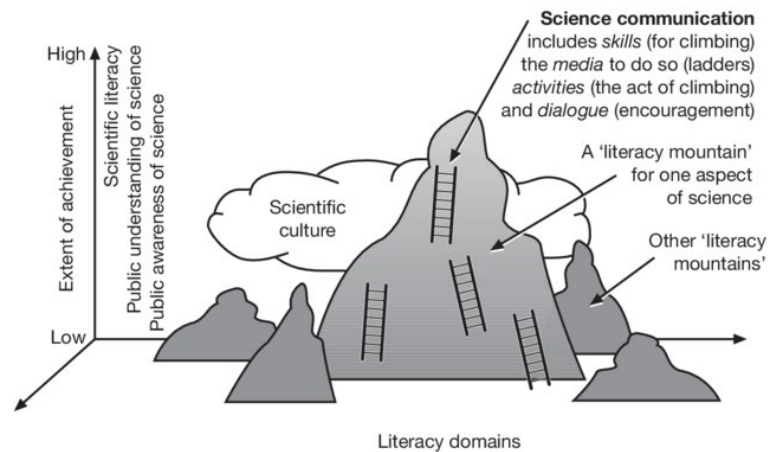


Abbildung 3: Rolle der Wissenschaftskommunikation im Modell der Scientific Literacy. Abbildung nach (Burns et al., 2003).

Die zeitliche Strukturierung der Konzeption und Anwendung der Wissenschaftskommunikationsformate zur COVID-19-Pandemie ist in Abbildung 4 dargestellt.

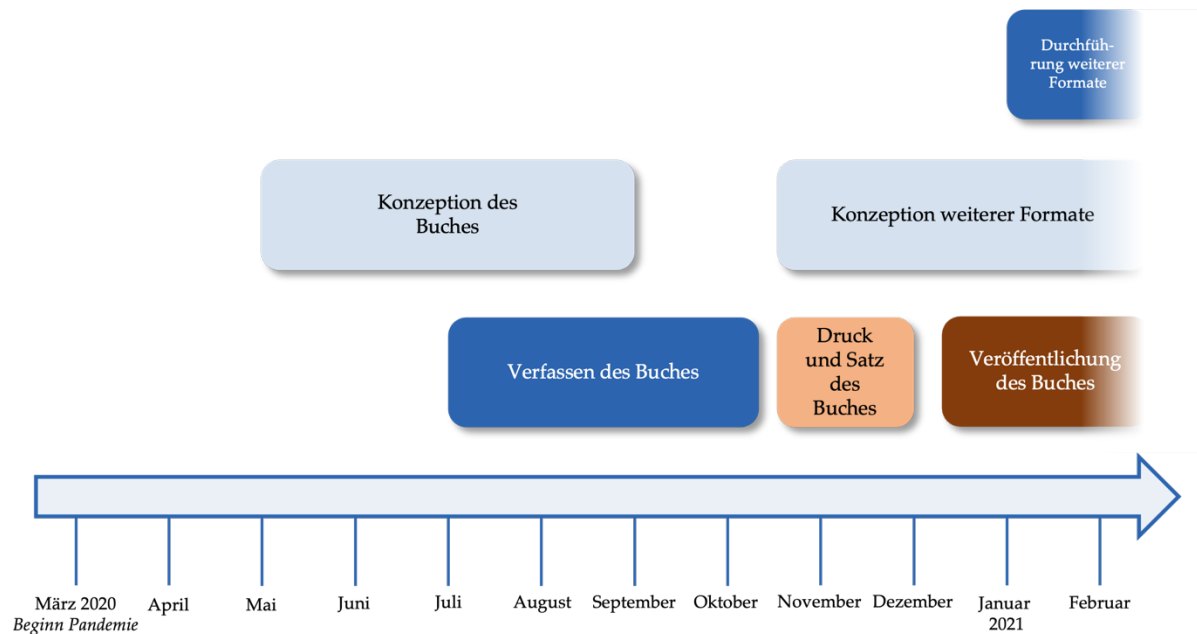


Abbildung 4: Verlaufsplan der Konzeption und Anwendung der Wissenschaftskommunikationsformate unter dem Titel "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".

Für die Arbeit ergeben sich insgesamt drei Schwerpunkte, die in den folgenden Kapiteln beschrieben werden:

- Kapitel 3: Konzeption des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II
- Kapitel 4: Konzeption und Auswertung der Begleitstudie zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II
- Kapitel 5: Konzeption verschiedener Wissenschaftskommunikationsformate unter dem Titel „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“

2.2 Stand der Forschung

2.2.1 Schülerlabore

Schülerlabore nehmen in Deutschland einen großen Teil der naturwissenschaftlichen außerschulischen Lernorte ein. Insgesamt gibt es im deutschsprachigen Raum nach aktuellem Stand 481 Schülerlabore und Schülerforschungszentren (LernortLabor, 2023). Ziele von Schülerlaboren im MINT-Bereich sind die Förderung wissenschaftlichen Nachwuchses durch die Begeisterung für naturwissenschaftliche Themen, Arbeitsfelder und charakteristische Methoden. Sie sollen die Motivation und das Interesse für die Naturwissenschaften und das naturwissenschaftliche Arbeiten fördern und Spaß an den entsprechenden Fächern vermitteln. Im Fokus sollen das eigenständige Arbeiten an selbst generierten Fragestellungen stehen; das Experimentieren soll einen wesentlichen Bestandteil der Arbeit im Schülerlabor ausmachen (Haupt et al., 2013). Unterschieden werden nach Haupt und Hempelmann grundsätzlich sechs verschiedene Arten von Schülerlaboren:

1. Klassische Schülerlabore
2. Lehr-Lern-Labore
3. Schülerforschungszentren
4. Schülerlabore zur Wissenschaftskommunikation
5. Schülerlabore mit Bezug zu Unternehmen
6. Schülerlabore mit Berufsorientierung

Klassische Schülerlabore werden in der Regel für komplette Schulklassen angeboten und dauern für gewöhnlich einen gesamten Schultag an. Die Themeninhalte der klassischen Schülerlabore sind zumeist an das jeweilige Kerncurriculum angelehnt, nicht aber identisch zum Lehrplan. Lehr-Lern-Labore sind grundsätzlich ähnlich aufgebaut wie klassische Schülerlabore. Allerdings dienen sie neben der Laborfunktion für Schüler:innen auch als Ausbildungsorte für Lehramtsstudierende, die im Rahmen der Schülerlabortage Aufgaben wie das Betreuen der Schüler:innen, aber auch das Konzipieren von Inhalten übernehmen. Schülerforschungszentren sind Treffpunkte für Schüler:innen mit besonders hohem Interesse an naturwissenschaftlichen Themen. Die Inhalte sind zumeist nicht so stark didaktisiert wie in klassischen Schülerlaboren und die Schüler:innen nehmen längerfristig an dem Angebot teil. Schülerlabore zur Wissenschaftskommunikation weisen ähnliche Gestaltungsdimensionen wie klassische Labore auf, besitzen aber keine derart enge Bindung an einen Lehrplan. Zentrale Aufgabe dieser Labore ist die Vermittlung neuer wissenschaftlicher Errungenschaften und die Begeisterung für die Naturwissenschaften. Schülerlabore mit Bezug zu Unternehmen verfolgen neben der Mehrung des naturwissenschaftlichen Interesses der Schüler:innen das Ziel, Schüler:innen für bestimmte unternehmensrelevante Techniken und Methoden zu begeistern und die Aufgabe des Unternehmens zu vermitteln. Sie können auch werbende Elemente enthalten. Schülerlabore mit Berufsorientierung sind nicht an Lehrplänen, sondern an bestimmten Berufen oder Berufsfeldern orientiert. Kernziel dieser Labore ist das Schaffen eines Einblickes in wissenschaftliche oder technische Berufe und das Vermitteln einer authentischen Einsicht. (Haupt & Hempelmann, 2013)

Viele der in Deutschland vorhandenen Schülerlaborangebote werden nicht durch empirische Forschung begleitet. Dennoch gibt es – nicht zuletzt durch das große Angebot – eine Vielzahl an Studien, die sich mit der Wirkung von Schülerlaboren auf Schüler:innen auseinandersetzen. Ein Überblick über diese Studien hat bereits Budke im Rahmen der Erhebung des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I gegeben. Diese auch für die vorliegende Arbeit wichtigen Studien sind in Tabelle 1 dargestellt. Neben den dargestellten Arbeiten ist vor allem die von Budke verfasste Erhebung des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe I von zentraler Bedeutung, da die darin erfassten Ergebnisse mit der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Studie zum Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II verglichen werden. Aufgrund des Vergleiches beider Studien wird ein Großteil der Items des Fragebogens von Budke auch für den Fragebogen zur Begleitstudie für das Schülerlabor in der Sekundarstufe II übernommen. Die von Budke verwendeten Items und Skalen entstammen zum Teil den in Tabelle 1 aufgeführten Arbeiten. Die genaue Zusammensetzung der Skalen ist in Kapitel 4.3 dargestellt.

Tabelle 1: Kurzdarstellung von Arbeiten über Schülerlabore mit den jeweiligen Forschungsschwerpunkten und Zielgruppen nach (Budke, 2019).

Autor:innen	Jahr	Thema	Fach	Klassenstufe
(Engeln, 2004)	2004	Interesse an Naturwissenschaften und Faktoren	Ph/Ch	9/10
(Brandt, 2005)	2005	Motivation, Interesse, Fähigkeitsselbstkonzept	Ch	7/8
(Scharfenberg, 2005)	2005	Akzeptanz, Wissenserwerb, Interesse	Bi	12 (eA)
(Glowinski, 2007)	2007	Interesse, Wissenserwerb, Vor-/Nachbereitung	Bi	12 (eA/ gA)
(Guderian, 2007)	2007	Interesse bei wiederholten Besuchen	Ph	5/8
(Wegner, 2008)	2008	Förderung von begabten Schüler:innen	Bi	5/6
(Pawek, 2009)	2009	Interesse, Naturverständnis	Ph	9–13
(Zehren, 2009)	2009	Motivation, Interesse	Ch	8
(Damerau, 2012)	2012	Wissenserwerb, Fähigkeitsselbstkonzept	Bi	11–13
(Plasa, 2013)	2013	Wahrnehmung der Experimentierumgebung	MINT	15–18 Jahre
(Weßnigk, 2013)	2013	Fähigkeitsselbstkonzept, Berufsorientierung	Ph/Ch	10/11
(Itzek-Greulich et al., 2015)	2015	Motivation, Wissenserwerb, Lernort	Ch	9
(Huwer, 2015)	2015	Motivation, Interesse, Freude, Langeweile	MINT	5/10
(Streller, 2015)	2015	Einfluss von Vor-/Nachbereitung	Ph	10–13
(Rodenhauser, 2016)	2016	Kognitive und affektive Wirksamkeit (bilingual)	Bi	10–13

Ein in den letzten Jahren bedeutsamer werdender Fokus von Schülerlaboren betreffen Umweltschutz und Nachhaltigkeit bzw. die durch BNE vorgegebenen Bildungsziele. Aufgrund der Implementation von BNE in die Curricula und Lehrpläne der Naturwissenschaften, werden umwelt- und nachhaltigkeitsbezogene Fragestellungen und Themen immer öfter Bestandteil von Schülerlaboren. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Schülerlaborsetting ist Bestandteil des Schülerlabores GreenLab_OS, das Themen der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes fokussiert (Chemiedidaktik Universität Osnabrück, 2023). Neben dem GreenLab_OS befassen sich auch weitere Schülerlabore zentral mit Fragen der Nachhaltigkeit. Vorrangig sei hier das Projekt „Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor“ der Universität des Saarlandes unter Prof. Rolf Hempelmann und der Universität Bremen unter Prof. Ingo Eilks sowie der Universität Konstanz unter Prof. Johannes Huwer genannt, die die jeweiligen Schülerlabore „NanoBioLab“, „FreiEx“ und „Schülerlabor Chemie“ auch auf das Themenfeld BNE ausgerichtet haben (Seel et al., 2014; Universität Bremen, 2023). Von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt wird ein Netzwerk aus knapp 50 Schülerlaboren gefördert, die die MINT-Nachhaltigkeitsbildung in den Fokus stellen (MINT-Nachhaltigkeitsbildung, 2023). Allerdings finden sich bislang keine Untersuchungen, die den Einfluss von Schülerlaboren auf das Umweltbewusstsein von Schüler:innen messen, was im weiteren Verlauf der Arbeit als eminente Forschungslücke definiert wird.

2.2.2 Wissenschaftskommunikation in Zeiten der COVID-19-Pandemie

Die COVID-19-Pandemie ist neben dem Angriffskrieg Russlands auf die Ukraine das wohl weltweit einschneidendste Ereignis seit 2020, möglicherweise des bisherigen 21. Jahrhunderts. Aufgrund der Omnipräsenz des Themas in gesellschaftlichen wie politischen Debatten, in allen Medien und im persönlichen Umfeld, erscheint es wenig verwunderlich, dass auch parallel zur COVID-19-Pandemie zahlreiche Formate entstanden sind, die über die COVID-19-Pandemie in wissenschaftlicher und wissenschaftskommunikativer Weise berichten oder berichtet haben. Dies ist auch auf das verhältnismäßig hohe Maß an Komplexität und die für Bürger:innen ohne große naturwissenschaftliche Vorkenntnisse hohe Abstraktheit der biochemischen Prozesse zurückzuführen, die im Zusammenhang mit der Virus-erkrankung stehen. Sowohl die Struktur des Virus und seine Replikation als auch die gegen die Verbreitung des Virus getroffenen Maßnahmen, insbesondere die Impfung, sind ohne adäquate Kommunikationsmodelle für viele Bürger:innen nicht nachzuvollziehen. Dies zeigen auch verschiedene Studien, die das (Vor-)Wissen zu Inhalten der COVID-19-Pandemie untersucht haben (Betsch et al., 2020; Shafiq et al., 2021). Das mangelnde (Vor-)Wissen führte unter anderem in Kombination mit einem geringen Vertrauen in politische Entscheidungen zur Entstehung verschiedener Fehlinformationen bzw. Fake News. Differenziert werden muss hier zwischen drei Typen der fälschlichen Informationen. Der Begriff *Desinformation* bezeichnet falsche und zielgerichtet erzeugte Informationen, die mit der Absicht erstellt worden sind, Schaden anzurichten oder einen eigenen Vorteil zu erzielen. *Fehlinformationen* hingegen sind inhaltlich falsche Informationen, deren Verbreitung jedoch keine schädliche Absicht zuzuordnen ist. Als dritter Typ lassen sich *Malinformationen* ausmachen, die auf Tatsachen und wahren

Informationen beruhen, allerdings genutzt werden, um anderen Personen zu schaden. (Wardle & Derakshan, 2017)

Diese Fehl- und Desinformationen, die in Kapitel 5.1.4 genauer beschrieben werden, weisen eine große Gefahr für die Eindämmung der Pandemie auf, da durch die Verbreitung dieser Informationen beispielsweise die Compliance zur Einhaltung der Eindämmungsmaßnahmen negativ beeinflusst wird (Betsch et al., 2020). Die im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie erstellten Wissenschaftskommunikationsformate dienen daher teilweise der Begegnung und Aufklärung von Des- und Fehlinformationen. Andere Formate hingegen dienen der reinen Informationsweitergabe an die Bevölkerung, ohne bestimmte Falschinformationen zu referenzieren. Es ist wenig verwunderlich, dass die Zahl dieser Formate aufgrund der Omnipräsenz der COVID-19-Pandemie enorm hoch ist. Dies führte dazu, dass neben informeller Wissenschaftskommunikation durch unabhängige Einzelpersonen auch öffentlich-rechtliche Medien und die Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland selbst Wissenschaftskommunikationskampagnen zur COVID-19-Pandemie durchgeführt haben. Eine Liste ausgewählter Wissenschaftskommunikationsformate ist in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 2: Übersicht ausgewählter Wissenschaftskommunikationsformate bis 2021 nach (Pasternack & Beer, 2022).

Urheber:innen	Jahr	Organisation	Name	Inhalt	Richtung	Medium
Johns-Hopkins-Universität	2020-2023	Staatlich (USA)	COVID-19-Dashboard	Übersicht zu weltweiten (Neu-)Infektionszahlen	U ²	Website
RKI	2020-2023	Staatlich	Epidemiologisches Bulletin	Übersicht zu relevanten Informationen zur Pandemie	U	Website
NDR Info	2020-2023	ÖRR ¹	Coronavirus-Update	Podcast über verschiedene Aspekte der Pandemie	U	Podcast, Radio
RKI	2020-2023	Staatlich	COVID-19-Dashboard	Übersicht zu Infektionszahlen und Neuinfektionen (D)	U	Website
Gerd Gigerenzer et al.	2020-2021	Privat	Unstatistik des Monats	Kritische Reflexion anderer Formate und Informationen	G ³	Website
Mai Thi Nguyen-Kim	2020-2022	Privat	MaiLab	YouTube-Kanal zu Grundlagen der Pandemie	U+G	YouTube-Kanal
Martin Moder	2020-2023	Privat	MEGA	YouTube-Kanal zu Grundlagen der Pandemie	U+G	YouTube-Kanal
Deutscher Ethikrat	2020	Staatlich	Ad-hoc-Empfehlungen zur Pandemie	Medizinische Empfehlungen zur Pandemie	U	Report
Hendrik Streeck et al.	2020	Privat	Heinsbergprotokoll	Facebookseite zu Zwischenergebnissen der Heinsberg-Studie	G	Facebook-Seite
Bundesverband Hochschulkommunikation	2020	Privat	Rascher Überblick	Übersicht über Aktivitäten, Beantwortung von Bürger:innenfragen	G	Website
BILD, Axel Springer Verlag	2020	Privat	Drosten-Studie über ansteckende Kinder grob falsch ⁴	Zeitungsartikel über Paper von Christian Drosten	G	Zeitungsartikel
Wissenschaft im Dialog	2020	Privat	Wissenschaftsbarometer Corona Spezial	Zufriedenheit mit Wissenschaft und Forschung	G	Report
GWUP	2020	Privat	Goldenes Brett vorm Kopf	Verleihung eines satirischen Preises an Pseudodarzt Sucharit Bhakdi	G	Website
Wissenschaftsrat	2021	Staatlich	Impulse aus der COVID-19-Pandemie für die Weiterentwicklung des Wissenschafts-systems	Empfehlungen zur COVID-19-Pandemie an die Wissenschaft	G	Report
–	2021	Privat	NoCovid-Initiative	Forderungen an die Politik durch selbstorganisierte Gruppe von Wissenschaftler:innen	G	Report
STIKO	2021	Staatlich	–	Informationsberichte zur Impfung und Impfstoffen	G	Report
Thießen et al.	2021	Privat	Auf Abstand. Eine Gesellschaftsgeschichte der Corona-Pandemie	Sachbuch zur Pandemie für ein breites Publikum	U	Report

¹Öffentlich-rechtlicher Rundfunk, ²Ungerichtet (i.S. einer allgemeinen Informationsvermittlung), ³Gerichtet (i.S. einer zielgruppenorientierten Informationsvermittlung oder Informationsvermittlung, die auf anderen Informationen basiert), ⁴Hier handelt es sich um eine Desinformation.

Die aufgelisteten Wissenschaftskommunikationsformate zeigen das breite Spektrum an Zielen, Inhalten und Medien, die zur Vermittlung von Informationen zur COVID-19-Pandemie an die Bevölkerung dienen. Dabei sind einige Formate in staatlicher Hand (so zum Beispiel durch das RKI, aber auch durch Universitäten), andere sind durch Privatpersonen oder private Gruppen organisiert. Nahezu alle Formate haben gemein, dass sie ein breites Publikum ansprechen sollen und zumeist nicht auf bestimmte Zielgruppen ausgerichtet sind. Einige der Formate, besonders private Formate, orientieren sich an bestimmten Informationsquellen zur COVID-19-Pandemie oder richten ihre Formate zu konkreten Teilgebieten der Pandemie aus. Staatliche und öffentliche Formate hingegen sind meist eher ungerichtet und informieren über ein breites Spektrum der Pandemie.

Während die zuvor genannten Formate zumeist die gesamte Bevölkerung und somit überwiegend erwachsene Personen informieren sollen, sind im Rahmen der COVID-19-Pandemie auch einige Wissenschaftskommunikationsformate für Schüler:innen entstanden. Ein Beispiel, das sich intensiv mit Fehlinformationen und Fake News auseinandersetzt und Schüler:innen für Fehlinformationen sensibilisieren soll, ist das Projekt „H₂O – das Wasser mit Leitfähigkeitsextrakt“ von Belova und Krause (Belova & Krause, 2022). Das Projekt, das im Laufe der COVID-19-Pandemie entstanden ist, legt den Fokus auf die Identifikation und Analyse von Fehlinformationen, nicht allerdings in Bezug auf das Coronavirus oder Pandemie selbst. Verschiedene Publikationen untersuchen zudem die Auswirkungen des Lernen auf Distanz auf die Schüler:innen (Fickermann & Edelstein, 2021) oder versuchen, die Inhalte des Chemieunterrichtes auf das Lernen auf Distanz auszurichten (Zellmer et al., 2022).

2.3 Identifizierte Forschungslücken

Der kurze Überblick über den Stand der Forschung zeigt, dass die Arbeit an und in Schülerlaboren seit Jahren einen wesentlichen Bestandteil der Forschung in der chemiedidaktischen Landschaft in Deutschland einnimmt. Allein die über 450 identifizierten Schülerlabore und Schülerforschungszentrum spiegeln den hohen Bedarf an außerschulischen Lernangeboten im MINT-Bereich wider. Die Zahl der empirischen Forschungsarbeiten zu den Effekten von Schülerlaboren hingegen sind deutlich seltener zu finden und beschränken sich meist auf die Untersuchung affektiver Konstrukte oder auf die Vermittlung von Wissen. Eine Unterscheidung zwischen Geschlechtern wird oftmals nicht vorgenommen, eine Untersuchung des Standorteffektes hingegen fehlt zumeist gänzlich, da ein Großteil der Schülerlabore nur an einem Standort angeboten werden. Die Untersuchung des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ von Budke stellt hier eine Ausnahme dar, da das untersuchte Schülerlabor GreenLab_OS sowohl an der Universität als auch an den Schulen der Schüler:innen selbst angeboten wird (vgl. Kapitel 3.1). Budke untersuchte in seiner Studie den Einfluss des Standortes des Schülerlabores auf das Interesse, die Affektion und die Akzeptanz der Schüler:innen in der Sekundarstufe I. Die vorliegende Arbeit soll an diese Studie anknüpfen und das Interesse, die Affektion und die Akzeptanz von Schüler:innen in der Sekundarstufe II untersuchen. Auf diese Weise soll untersucht werden, ob es Unterschiede hinsichtlich der Standortakzeptanz der Schüler:innen in Bezug auf ihr Alter gibt. Darüber hinaus soll auf diese Weise untersucht werden, ob Geschlechterdifferenzen, die im Schülerlabor der Sekundarstufe I aufgetreten sind, ebenfalls in der Sekundarstufe II auftreten. Dieser Vergleich wird als wichtig angesehen, da Budke zeigen konnte, dass sowohl der Standort des Schülerlabores als auch das Geschlecht der Schüler:innen einen großen Einfluss auf den Erfolg der Intervention aufweisen können und besonders jüngere Schüler:innen ihre eigene Schule als Standort für außerschulische Lernangebote präferieren (Budke, 2019). Weiterhin wird spätestens seit der Implementierung von BNE in die Bildungspläne der Länder Nachhaltigkeit ein immer bedeutsamerer Teil des naturwissenschaftlichen Unterrichts und findet demnach auch verstärkt Platz in MINT-Schülerlaboren. Trotz der vielen Schülerlabore, in denen Nachhaltigkeit als Kernaspekt identifiziert wurde, werden das Umweltbewusstsein und weitere Einstellungen zur Nachhaltigkeit im Kontext Schülerlabor kaum untersucht. Zumeist wird eine Steigerung des Umweltbewusstseins durch die Intervention antizipiert, nicht aber evaluiert. Aus diesem Grund soll in der vorliegenden Arbeit untersucht werden, inwiefern sich der Besuch eines Schülerlabors auf das Umweltbewusstsein der Schüler:innen auswirkt. Dazu wird die Umweltbewusstseinsstudie des UBA verwendet, in welcher das Umweltbewusstsein, differenziert in die Bereiche Umweltaffekt, Umweltkognition und Umweltverhalten, für die Gesamtbevölkerung erhoben wurde (Umweltbundesamt, 2019).

Im zweiten Teil der Arbeit werden verschiedene Wissenschaftskommunikationsformate zur COVID-19-Pandemie innerhalb und außerhalb der Schule entwickelt. Es konnte gezeigt werden, dass es viele Formate zur COVID-19-Pandemie gibt, die allerdings zumeist nicht zielgruppenorientiert arbeiten, sondern ein breites Spektrum an Personen ansprechen sollen. Darüber hinaus sind alle identifizierten Formate außerhalb der Schule rein informativ, die angesprochenen Personen nehmen hier eine passive Rolle ein (Leser:innen, Zuhörer:innen bzw. Zuschauer:innen). Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Formate sollen die Anwender:innen in die aktive Rolle von Experimentator:innen versetzen, die anhand von Beobachtungen eigenständig Informationen über das Coronavirus und die COVID-19-Pandemie sammeln. Dieses Alleinstellungsmerkmal der Formate wird als Forschungslücke identifiziert. Weiterhin sollen auch Schüler:innen mit einigen der entwickelten Wissenschaftskommunikationsformate zur COVID-19-Pandemie angesprochen werden. Dazu wurden Settings entwickelt, in denen die Schüler:innen auch unabhängig vom Regelunterricht experimentieren können. Die experimentelle Arbeit im naturwissenschaftlichen Unterricht zu Themen der COVID-19-Pandemie ist eine Forschungslücke, da die bisher vorliegenden Arbeiten sich nicht auf die COVID-19-Pandemie bezogen haben oder aber keine experimentellen Anteile enthielten.

Insgesamt soll diese Arbeit einen Beitrag zur Rolle des Experimentes in verschiedenen Formaten leisten. Es soll untersucht werden, inwiefern Experimente sowohl innerhalb als auch außerhalb des Schulunterrichtes Teil von Wissenschaftskommunikation sein können und ob ein bei Schüler:innen nachgewiesener sinnvoller experimentell-orientierter Unterricht in adaptierter Form auch bei Erwachsenen Erfolg haben kann.

3. Das „GreenLab_OS“ – Experimentalsetting zu gesunder und nachhaltiger Ernährung für die Sekundarstufe II

3.1 Das GreenLab_OS

Das Schülerlabor GreenLab_OS der Universität Osnabrück ist ein primärer außerunterrichtlicher Lernort für Schüler:innen von der Primarstufe bis einschließlich der Sekundarstufe II, der sich überwiegend Themen der Nachhaltigkeit und der Bildung für nachhaltige Entwicklung (BNE) widmet (Beeken et al., 2018). Neben dem Ziel, das Umweltverhalten von Schüler:innen zu steigern, soll das Angebot vor allem den klassischen Schulvormittag aufbrechen und Freude, Motivation und Interesse am experimentellen Arbeiten im naturwissenschaftlichen Unterricht fördern. Im Sinne des „Edutainment“-Gedanken soll das Schülerlabor daher einerseits inhaltliche und prozedurale Kompetenzen ausbilden (Education) und andererseits für Naturwissenschaften begeistern (Entertainment) (Budke, 2019; Okan, 2012; Reinhardt, 2007). Das GreenLab_OS ist dabei ein sowohl stationärer als auch mobiler Lernort. Als stationärer Lernort nehmen die teilnehmenden Gruppen und Schulklassen das Angebot in der Universität wahr, während der mobile Lernort in der Schule angeboten wird. Hier werden die Schüler:innen in ihrer Schule besucht und führen das jeweilige Laborsetting in den schuleigenen Fachräumen durch. Die Kombination aus stationärem und mobilem Angebot ist im Vergleich zu anderen Schülerlaboren in der Bildungslandschaft Deutschland einzigartig (LernortLabor, 2023).

Die teilnehmenden Gruppen können aus verschiedenen Angeboten wählen. Darunter fallen beispielsweise die Schülerlaborsettings

- Plastikmüll & Mikroplastik (Kreienhop & Beeken, 2022; Vortmann et al., 2019)
- „Es geht um die Wurst“ (Beeken et al., 2018; Otte et al., 2023; Walf, 2016)
- Corona zwischen Mythos und Wissenschaft (Jansen, 2021; Otte & Beeken, 2022a, 2022b)
- Nachhaltige Flächennutzung und Landnutzungswandel
- Die Stickstoffproblematik (Nitrate und Stickoxide) (Brockhage et al., 2022; Lüsse et al., 2020)
- Das Nitrat-Problem: Skandal oder Panikmache? (Brockhage et al., 2022; Lüsse et al., 2020)
- Abgasskandal – den Stickoxiden auf der Spur (Schulze, 2018)
- Phosphate in der Umwelt (Rosenbaum, 2022)
- Aluminium – ein Alleskönner? (Linnemann, 2017)
- Elektrochemie mit Blumensteckschaummasse (Beeken et al., 2019).

Die Settings sind teilweise für verschiedene Altersgruppen bzw. Schulstufen geeignet (Abbildung 5). Durch eine Abwandlung des didaktischen Konzeptes, der Versuche und der Arbeitsmaterialien können so auf die jeweilige Lerngruppe angepasste Schülerlabortage durchgeführt werden.

Das Schülerlabor GreenLab_OS soll den Regelunterricht an Schulen ergänzen, diesen allerdings nicht ersetzen. Die in den Schülerlaborsettings erarbeiteten Themen richten sich dementsprechend teilweise nach den curricularen Vorgaben der Bundesländer, sollen Unterrichtsthemen aber nicht vollständig inhaltlich abdecken. Vielmehr stehen neben lernpsychologischen Aspekten wie Freude, Interesse und Motivation übergeordnete Konzepte wie das Generieren und Erweitern einer *Scientific Literacy* der Schüler:innen im Vordergrund. Da im Chemieunterricht oft Zeit für metakognitive Prozesse sowie das Erlernen naturwissenschaftlicher Arbeitstechniken und Methoden fehlt (Reiss et al., 2016), sollen diese im GreenLab_OS vertieft angesprochen werden. Dazu sind alle Settings im GreenLab_OS problemorientiert strukturiert. Neben einer sich durch die Problematisierung der Settings generisch ergebenden übergreifenden Fragestellung und daraus resultierender hypothesenbasierter Arbeitstechnik (OECD, 2017), findet durch den für die Schüler:innen nachzuvollziehenden Weg des naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinns eine hohe kognitive Aktivierung statt (Schmidkunz & Lindemann, 2003). Analog zum forschend-entwickelnden Unterrichtsverfahren nach Heinz Schmidkunz und Helmut Lindemann wird in den Schülerlaborsettings des GreenLab_OS ein Problem gewonnen, analysiert, Hypothesen aufgestellt, diese experimentell überprüft und die Ergebnisse abstrahiert und gesichert (Schmidkunz & Lindemann, 2003). Im Gegensatz zum klassischen forschend-entwickelnden Unterricht muss für Konzeptionen im Rahmen des GreenLab_OS berücksichtigt werden, dass die Planung der Experimente nicht vollständig

frei abläuft. Während für einzelne Experimente eine Vorgabe lediglich hinsichtlich der einzusetzenden Materialien gegeben ist, werden andere Experimente anhand einer konkreten Anleitung durch die Schüler:innen bearbeitet. Wenngleich dies das Nachempfinden des Wegs der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung in bestimmten Bereichen einschränkt, lässt der organisatorische Rahmen (zeitliche, räumliche und durch den Transport bedingte materielle Beschränkungen) kein vollständig freies Experimentieren zu. Die Entwicklung eines tiefergreifenden Verständnisses für naturwissenschaftliche, problemorientierte Fragestellungen und naturwissenschaftliche Arbeitstechniken und Methoden kann dabei auch als Auftrag des GreenLab_OS verstanden werden, die *Scientific Literacy* von Schüler:innen gemäß der Erkenntnisse der PISA-Studien beziehungsweise der Forderungen der KMK zu fördern (KMK, 2005; OECD, 2007).

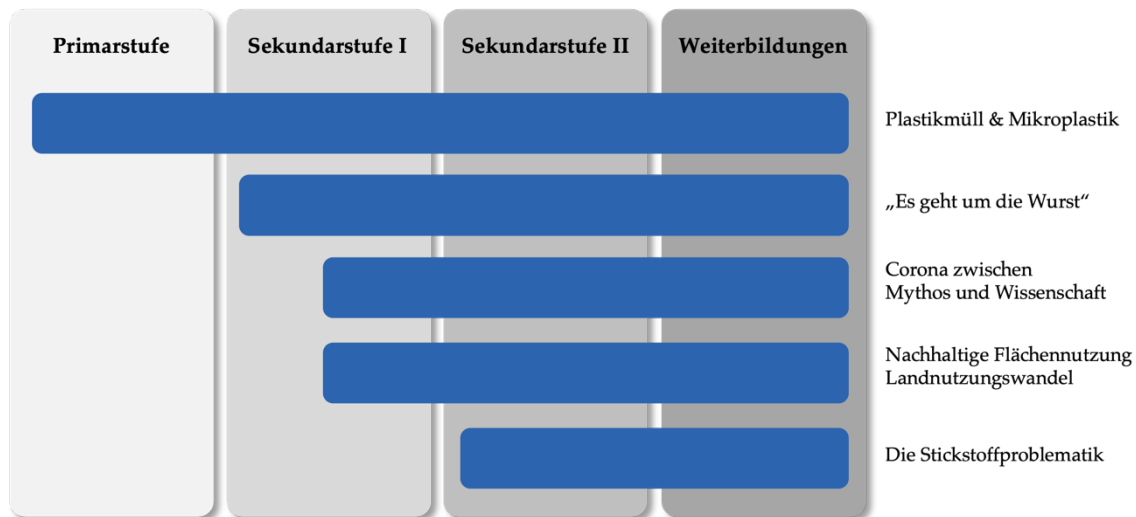


Abbildung 5: Übersicht einiger Schülerlaborsettings des außerschulischen Lernortes GreenLab_OS. Dargestellt sind die Schulstufen, für die das jeweilige Setting geeignet ist, sowie Weiterbildungen, die für Lehrkräfte und Studierende angeboten werden.

Im Sinne der Selbstbestimmungstheorie der Motivation nach Deci und Ryan (Deci & Ryan, 1993) sollen die teilnehmenden Schüler:innen durch das eigenständige Arbeiten an Experimenten zu gesellschaftsrelevanten Themen ein besonderes Maß an Autonomie (de Charms, 1983) und Kompetenz (White, 1959) erleben. Durch die Arbeit in Gruppen wird darüber hinaus die soziale Eingebundenheit in die Peer-Group unterstützt (Harlow, 1958).

Neben seinem Auftrag als Lernlabor versteht sich das GreenLab_OS als Lehrlabor, in welchem Studierende des Faches Chemie für das Lehramt an Gymnasien Erfahrungen in der Betreuung von Schüler:innen erhalten. Die Arbeit von Studierenden im GreenLab_OS ist fest im Modulplan der Lehramtsausbildung für Chemiestudierende an der Universität Osnabrück verankert, sodass die Betreuung der Schüler:innen für die Studierenden obligatorisch ist. Auf diesem Wege sollen erste Lehrerfahrungen sowie das Schärfen einer eigenen Lehrkräftepersönlichkeit ermöglicht werden. Schülerlabore, die sowohl Lernort für Schüler:innen als auch universitärer Ausbildungs- beziehungsweise Lehrort sind, werden folglich als Lehr-Lern-Labore bezeichnet (vgl. Kapitel 2.2.1) (Völker & Trefzger, 2010).

Im Folgenden werden die theoretischen Hintergründe und die Konzeption eines Schülerlaborsettings zum Thema „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II vorgestellt. Das Setting ist in den Betrieb des Schülerlabores GreenLab_OS eingebettet und wurde seit 2021 regulär für Kurse der Sekundarstufe II angeboten. Es adaptiert das Setting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I und erweitert dieses um ein veganes Ersatzprodukt, sodass im Rahmen des Labortages ein konventionelles, ein vegetarisches und ein veganes Ersatzprodukt von den Schüler:innen untersucht werden. Die Experimente des Settings sind zum Großteil neu konzipiert, stellen allerdings in zwei Fällen eine Adaption der Experimente aus der Sekundarstufe I dar. Der Schülerlabortag ist an das Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe des Landes Niedersachsen angepasst.

3.2 Ernährung im Kontext von Gesundheit und Nachhaltigkeit

3.2.1 Ernährung und Physiologie

Die Ernährung ist eine der zentralen Säulen der Lebenserhaltung von Menschen (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Über die Nahrung nehmen alle höheren Lebewesen und somit auch Menschen Makro- und Mikronährstoffe sowie Wasser auf, die verschiedene lebenserhaltende physiologische Aufgaben übernehmen. Die wichtigste Aufgabe der Nahrungsaufnahme ist die Aufrechterhaltung der Zellatmung, bei der aus Makronährstoffen zusammen mit Luftsauerstoff unter Energiefreisetzung Kohlenstoffdioxid und Wasser gebildet werden (Berg et al., 2018). Die freigesetzte Energie nutzt der Körper zur ansonsten endergon ablaufenden Bildung des Energiespeichermoleküls Adenosintriphosphat (ATP) aus Adenosindiphosphat (ADP) und freiem Phosphat (P_i). Durch die exergone Hydrolyse von ATP zu ADP und freien Phosphaten wird der Metabolismus angetrieben, indem das chemische Gleichgewicht gekoppelter Reaktionen verschoben wird (Abbildung 6).

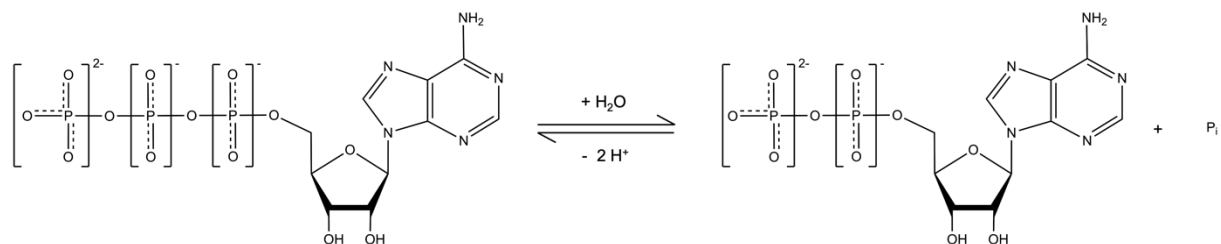


Abbildung 6: Hydrolyse von ATP zu ADP und einem Phosphat-Anion (P_i). Durch die exergone Reaktion ($\Delta G^0 = -30,5 \text{ kJ mol}^{-1}$) können energetisch ungünstige Reaktionen im Organismus ermöglicht werden.

Um die nötige Energie für die Bildung von ATP aufbringen zu können, müssen dem Körper Makronährstoffe zur Verfügung gestellt werden, die in mehrschrittigen Prozessen metabolisiert werden. Zu den Makronährstoffen gehören Kohlenhydrate, Lipide und Proteine und alle weiteren energieliefernden Nahrungsbestandteile wie beispielsweise Ethanol (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Sie werden über verschiedene Stoffwechselwege zu Kohlenstoffdioxid und Wasser, gegebenenfalls zu stickstoff- und schwefelhaltigen Abbauprodukten umgesetzt, wobei Energie freigesetzt wird.

Kohlenhydrate

Kohlenhydrate sind organische Moleküle mit der allgemeinen Summenformel $C_nH_{2n}O_n$ mit $n \geq 3$ (Berg et al., 2018), die in Form von Monomeren, Dimeren, Oligomeren oder Polymeren vorliegen können. Monomere Kohlenhydrate werden als *Monosaccharide* bezeichnet und stellen die einfachste Form von Kohlenhydraten dar. Monosaccharide, vorrangig D-Glucose, dienen als vorrangige Brennstoffmoleküle. Darüber hinaus bilden die Einfachzucker D-Desoxyribose (genauer D-Desoxyribofuranose) und D-Ribose (genauer D-Ribofuranose) das Rückgrat der DNA bzw. RNA. Alle Kohlenhydrate weisen mindestens zwei Hydroxy-Gruppen auf. Je nach Anzahl der Kohlenstoffatome werden Monosaccharide als Triosen, Tetrosen, Pentosen, Hexosen oder Heptosen bezeichnet. Kohlenhydrate zeigen in wässrigen Lösungen eine Vielzahl an Isomeren. So sind beispielsweise Glucose und Fructose konstitutionsisomer zueinander, d.h., sie weisen bei gleicher Summenformel eine unterschiedliche Struktur auf. Aufgrund des chiralen Zentrums in Kohlenhydraten weisen diese neben einer Konstitutionsisomerie zumeist auch Stereoisomerien auf. Von vielen Monosacchariden liegen daher Enantiomere und Diastereoisomere (Epimere und Anomere) vor. In den meisten Lebewesen liegen Kohlenhydrate überwiegend als D-Enantiomere vor. (Berg et al., 2018)

Monosaccharide werden in offenkettiger Form grundsätzlich in Aldosen und Ketosen unterschieden. Aldosen wie z.B. Glucose weisen am C_1 -Atom eine Aldehyd-Gruppe auf, Ketosen wie beispielsweise Fructose besitzen im Molekül eine Keto-Gruppe. Durch die Aldehyd-Gruppe sind Aldosen im Gegensatz zu Ketosen reduzierend. Kohlenhydrate wie Glucose werden daher auch als reduzierende Zucker bezeichnet. In wässriger Umgebung findet allerdings eine Tautomerie statt, durch die sich ein Gleichgewicht zwischen isomeren Aldosen und Ketosen einstellt. Dieser Spezialfall der Keto-Endiol-Tautomerie wird als Lobry-de-Bruyn-Alberda-von-Ekenstein-Umlagerung bezeichnet und ist beispielsweise bei den isomeren Monosacchariden Glucose, Fructose und Mannose zu beachten und führt dazu, dass auch Ketosen wie Fructose in wässriger Umgebung durch die Umlagerung zu Aldosen eine reduzierende Wirkung ausüben können (Abbildung 7).

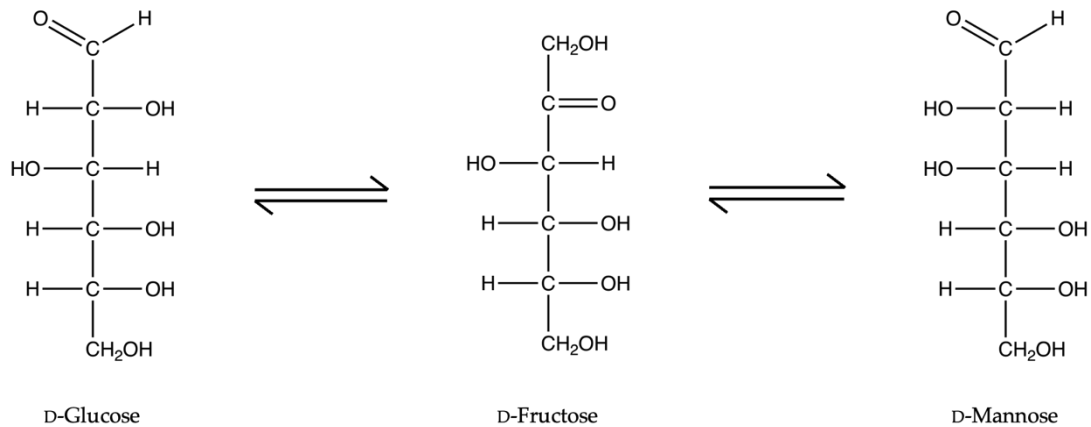


Abbildung 7: Lobry-de-Bruyn-Alberda-van-Ekenstein-Umlagerung zwischen D-Glucose, D-Fructose und D-Mannose. In wässriger Umgebung liegt ein Gleichgewicht zwischen isomeren Aldosen und Ketosen vor.

Viele Kohlenhydrate liegen in wässriger Lösung überwiegend in cyclischer Form vor. Der Ringschluss aus der offenkettigen Form findet durch Bildung intramolekularer Halbacetale aus der Aldehyd-Gruppe und einer Hydroxy-Gruppe von Aldosen statt. Analog bilden offenkettige Ketosen in wässriger Umgebung aus der Keto-Gruppe und einer Hydroxy-Gruppe intramolekulare Halbketale. Der Ringschluss kann bei Hexosen über die C₅-Hydroxygruppe oder die C₆-Hydroxygruppe erfolgen, sodass sich sechsgliedrige Pyranosen bzw. fünfgliedrige Furanosen bilden. Bei Pentosen erfolgt die Halbacetal- bzw. Halbketalbildung über die C₄-Hydroxygruppe (Furanose) oder über die C₅-Hydroxygruppe (Pyranose). Zwischen den jeweiligen anomeren Pyranosen und Furanosen liegt ein chemisches Gleichgewicht vor. (Berg et al., 2018) In Abbildung 8 sind beispielhaft die offenkettigen und ringförmigen Strukturen von D-Glucose, D-Ribose und D-Desoxyribose mithilfe der Fischer-Projektion und Haworth-Projektion dargestellt.

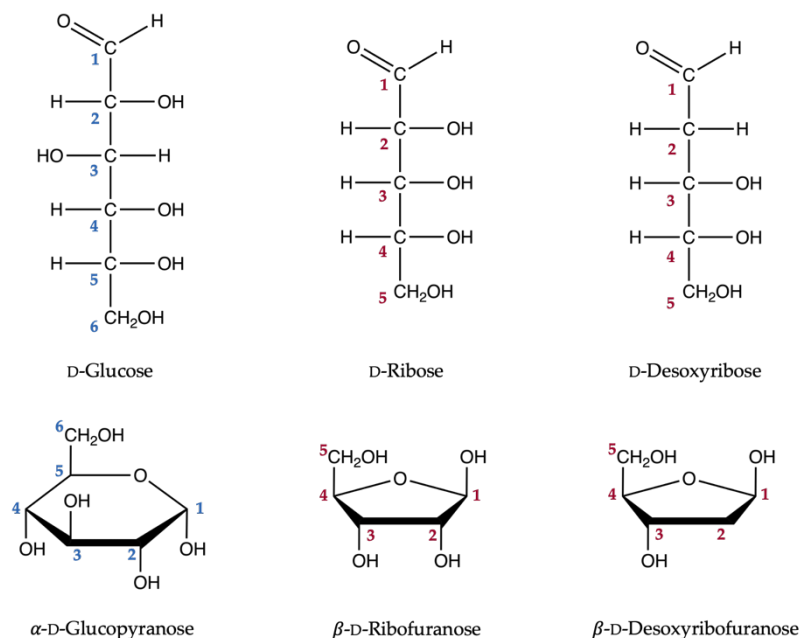


Abbildung 8: Glucose, Ribose und Desoxyribose in offenkettiger Form (Fischer-Projektion, oben) und Ringform (Haworth-Projektion, unten). Die Hexose Glucose ist als Pyranose, die Pentosen Ribose und Desoxyribose sind als Furanosen dargestellt.

Monosaccharide lassen sich zu *Disacchariden* verknüpfen. Disaccharide bestehen aus zwei kondensierten gleich- oder verschiedenartigen Monosacchariden. Zwischen den kondensierten Monosacchariden liegt eine O-glykosidische Bindung vor, die entweder als α- oder als β-glykosidische Bindung konfiguriert ist. Disaccharide wie Saccharose (Rohrzucker), Maltose (Malzzucker) und Lactose (Milchzucker)

sind ein wichtiger Bestandteil der Nahrung. Während Maltose ein Homodisaccharid ist, welches aus zwei α -D-Glucose-Einheiten besteht, sind Saccharose und Lactose Heterodisaccharide, bei denen zwei verschiedene Monosaccharide über eine glykosidische Bindung verknüpft sind (Abbildung 9).

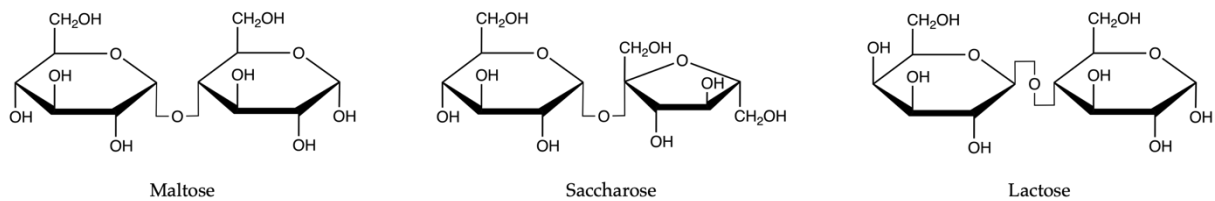


Abbildung 9: Disaccharide. Maltose liegt als Homodisaccharid aus zwei α -glykosidisch verknüpften Glucose-Einheiten vor. Saccharose liegt als Heterodisaccharid aus einer α -glykosidisch verknüpften Glucose-Einheit und einer β -glykosidisch verknüpften Fructose-Einheit vor. Lactose liegt als Heterodisaccharid aus einer β -1,4-glykosidischen Bindung zwischen einer Galaktose-Einheit und einer Glucose-Einheit vor.

In vielen Lebensmitteln spielen Disaccharide eine entscheidende Rolle. Diese werden zumeist enzymatisch vom Körper in Monosaccharide hydrolysiert, resorbiert und anschließend verstoffwechselt (Urry et al., 2019).

Als Energiespeicher- und Strukturmoleküle dienen Pflanzen und Tieren vorrangig *Polysaccharide*, die durch die Verknüpfung zahlreicher Monosaccharide entstehen. Da das Speichern von Glucose-Molekülen das osmotische Gleichgewicht von Zellen stark stören würde, speichern Pflanzen Glucose in Form von Stärke, Tiere in Form von Glykogen. Bei beiden Molekülen handelt es sich um lange Glucose-Kondensate, die unterschiedlich miteinander verknüpft werden. Glykogen besteht aus α -1,4-glykosidisch verknüpften Glucose-Molekülen, das ungefähr alle zehn Einheiten durch eine α -1,6-glykosidische Bindung mit einer weiteren Glucose-Kette verzweigt ist. Diese Struktur ähnelt dem Aufbau von Stärke, bei der ebenfalls Glucose-Moleküle über α -1,4-glykosidische Bindungen verknüpft werden (Amylose). Ungefähr alle 30 Einheiten zweigt eine weitere Glucose-Kette über eine α -1,6-glykosidische verknüpfte Bindung (Amylopektin) von der Amylose-Kette ab (Abbildung 10). (Berg et al., 2018)

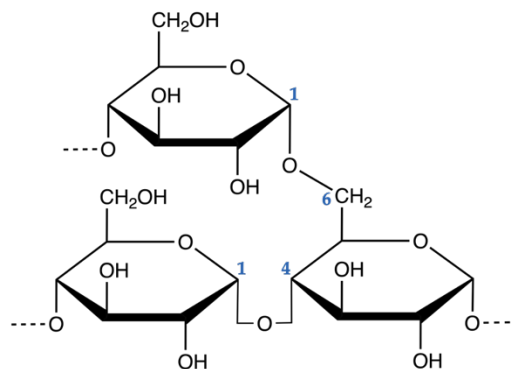


Abbildung 10: Allgemeiner Aufbau von Glykogen und Stärke. Die Glucose-Einheiten sind über α -1,4-glykosidische Bindungen verknüpft. Alle 10 Einheiten (Glykogen) oder alle 30 Einheiten (Stärke) sind die Ketten über eine α -1,6-glykosidische Bindung verzweigt.

Polysaccharide sind, ebenso wie Disaccharide, ein wichtiger Bestandteil der Nahrung. Vor allem stärkehaltige Lebensmittel dienen als primärer Energielieferant in der menschlichen Ernährung. Polysaccharide werden enzymatisch zumeist in Disaccharide hydrolysiert, die anschließend zu Monosacchariden umgesetzt werden. Wird Stärke über die Nahrung aufgenommen, wird sie durch Amylase enzymatisch zunächst zu Maltose hydrolysiert, die Maltose wird anschließend enzymatisch durch Maltase zu Glucose hydrolysiert. Das Monosaccharid Glucose nimmt im Stoffwechsel von fast allen Lebewesen eine zentrale Rolle ein, welches der Ausgangsstoff der Glykolyse ist. Viele andere Monosaccharide wie beispielsweise Fructose werden zunächst phosphoryliert und anschließend entsprechend des Glykolyse-Stoffwechselweges metabolisiert. (Berg et al., 2018; Urry et al., 2019)

Fette

Fette und fette Öle stellen einen wesentlichen Bestandteil der Ernährung von Menschen dar. Sie gehören zur übergeordneten, chemisch-uneinheitlichen Stoffgruppe der Lipide, die sich hinsichtlich ihres hydrophoben Charakters und daraus resultierenden Wasserunlöslichkeit ähneln. Fette und fette Öle bilden eine chemisch-einheitliche Stoffklasse ab, die auch als Triglyceride bezeichnet wird. Triglyceride sind Ester des dreiwertigen Alkohols Glycerin (Glycerol, Propan-1,2,3-triol) und drei meist geradzahlig, unverzweigter gesättigter oder ungesättigter langkettiger Monocarbonsäuren (Fettsäuren). Ein beispielhaftes Triglycerid mit einem gesättigten, einem einfach und einem mehrfach ungesättigten Fettsäurerest ist in Abbildung 11 dargestellt. (Gunstone et al., 1994)

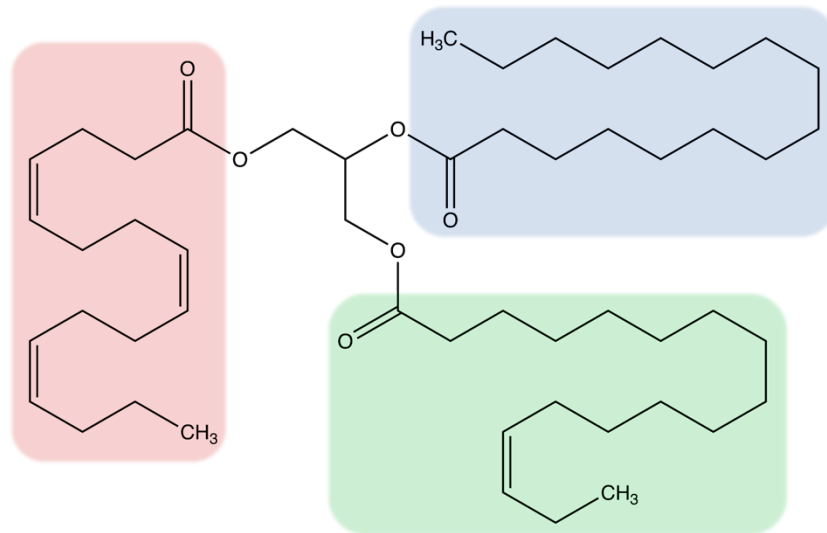


Abbildung 11: Allgemeine Struktur eines Triglycerids. Mittig im Molekül ist der Glycerol-Rest dargestellt, der mit drei Fettsäuren verestert ist. In blau ist ein gesättigter Fettsäurerest, in grün ein einfach ungesättigter Fettsäurerest und in rot ein mehrfach ungesättigter Fettsäurerest dargestellt.

Da in Triglyceriden als Baustein immer der dreiwertige Alkohol Glycerin vorkommt, unterscheiden diese sich lediglich hinsichtlich der Fettsäurereste. Die Sättigung der Fettsäurereste beeinflusst die Eigenschaften des resultierenden Fettes maßgeblich. Der Großteil der in natürlichen Triglyceriden vorkommenden ungesättigten Fettsäuren sind um die Doppelbindungen *cis*-konfiguriert, die Substituenten liegen folglich auf der gleichen Seite der Bindungsachse. Dies resultiert in einem Abknicken des aliphatischen Restes, sodass Triglyceride mit ungesättigten Fettsäuren mehr Raum einnehmen (Abbildung 12).

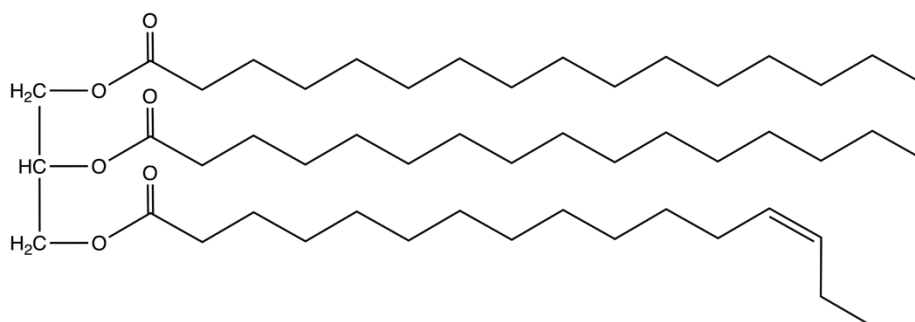


Abbildung 12: Triglycerid mit zwei Palmitat-Resten (gesättigt) und einem Palmitoleat-Rest (ungesättigt). Durch die *cis*-Doppelbindung entsteht ein Knick im Oleat-Rest, der in einem höheren Raumbedarf des Triglycerids resultiert.

Der Knick im Fettsäurerest hat einen erheblichen Einfluss auf intermolekulare Wechselwirkungen, vorrangig auf London-Kräfte, welche durch die geringere Kontaktfläche schwächer werden. Zusätzlich beeinträchtigt der Knick in der aliphatischen Kette die Stapelbarkeit von Triglycerid-Molekülen, sodass ein Kristallisieren der Fette erschwert wird. Fette mit ungesättigten Fettsäureresten haben daher in der Regel geringere Schmelz- und Siedepunkte als Fette mit gesättigten Fettsäureresten. Dabei gilt der

Grundsatz: Je höher die Anzahl an Doppelbindungen, desto geringer ist der Schmelzpunkt. (Berg et al., 2018)

Die in Pflanzen vorkommenden Triglyceride weisen zumeist eine höhere Anzahl an Doppelbindungen auf, der Anteil an einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren ist somit größer. Tierische Fette zeigen hingegen einen höheren Anteil gesättigter Fettsäuren. Tierische Fette sind folglich bei Raumtemperatur zumeist fest, pflanzliche Fette zumeist flüssig. Um eine Differenzierung zu gewährleisten, werden flüssige Fette als Öle bzw. fette Öle bezeichnet. Aufgrund des großen unpolaren Molekülteils von Triglyceriden und der elektrostatischen Abschirmung der Ester-Gruppe sind Fette und Fette Öle unpolar. Sie lösen sich daher nicht in Wasser und anderen polaren Lösungsmitteln, in unpolaren Lösungsmitteln wie beispielsweise *n*-Heptan hingegen schon. (Elmadfa & Leitzmann, 2019)

Fette übernehmen im menschlichen Körper verschiedene Aufgaben. Die wohl wichtigste Funktion ist das Ausbilden der Lipiddoppelschicht, die als Zellmembran alle Zellen umgibt. Die in Membranen eingebauten Moleküle sind Phospholipide und daher in enger Definition keine Fette. Aus chemischer Sicht sind Phospholipide aber eng mit Triglyceriden verwandt. Bei Phospholipiden handelt es sich um Ester des Glycerins mit zwei Fettsäuren und einem phosphorylierten Alkohol (z.B. Phosphatidylcholin). Es ergeben sich somit zwei Fettsäureester-Bindungen und eine Phosphoester-Bindung im Molekül. Im Vergleich zu Triglyceriden ist ein Fettsäure-Rest durch den Phosphoester ausgetauscht (Abbildung 13). Die Synthese von Phospholipiden erfolgt aus durch die Nahrung aufgenommenen Fette bzw. Fettsäuren (Berg et al., 2018).

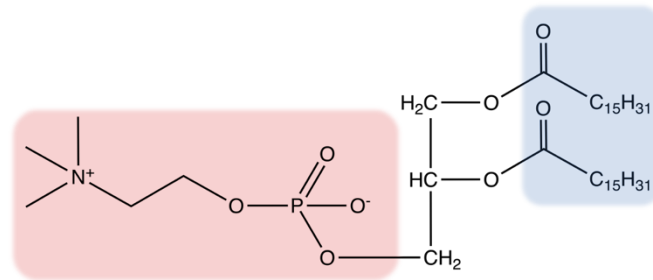


Abbildung 13: Phosphoglycerid mit Phosphatidylcholin als polarer Kopfgruppe (rot) und zwei Palmitat-Resten als unpolaren Fettsäure-Resten (blau).

Aufgrund zwitterionischen Charakters des Phosphatidylcholin-Restes ist die Kopfgruppe von Phosphoglyceriden polar. Durch den polaren, hydrophilen Charakter der Kopfgruppe und den unpolaren, hydrophoben Charakter der Fettsäure-Reste zeigen Phosphoglyceride einen amphiphilen Charakter und ordnen sich in Form einer Lipiddoppelschicht an. Diese Lipiddoppelschicht umgibt alle Zellen und zum Teil Zellorganellen und ermöglicht eine Kompartimentierung von Gewebestrukturen (Abbildung 14) (Urry et al., 2019).

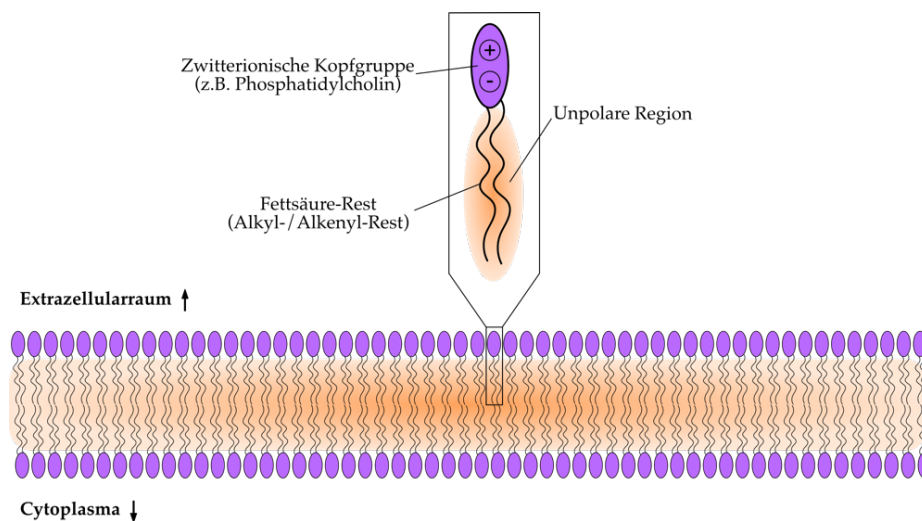


Abbildung 14: Schematischer und vereinfachter Querschnitt der Lipiddoppelschicht (Zellmembran). Die hydrophoben Fettsäure-Reste orientieren sich nach innen, die hydrophilen Kopfgruppen orientieren sich nach außen in Richtung des umgebenden wässrigen Mediums.

Fette dienen darüber hinaus als wichtiges Energiespeichermedium und schützen die Organe. Die meisten tierischen Organe sind von einer Fettschicht umgeben, welche einen Schutz vor Stößen oder anderen Kraftereinwirkungen bietet. Da Fette einen hohen Brennwert besitzen und aufgrund ihrer Wasserunlöslichkeit osmotisch nicht aktiv sind, eignen sie sich gut dazu, als Energiereservoir genutzt zu werden. Der Körper bildet und speichert daher Fette, wenn ein Energieüberschuss durch die Ernährung zugeführt wird. Das Fett wird als Fettgewebe eingelagert. (Herpertz et al., 2022)

Eine weitere wichtige Funktion ist der Transport wasserunlöslicher Substanzen. Vor allem die Vitamine der Gruppen A, D, E und K sind nicht in Wasser, allerdings in Fetten löslich. Sie werden in Fetten im Körper gelöst und zum entsprechenden Zielort transportiert (Martin, 1986).

Proteine

Die dritte große Gruppe der Makronährstoffe stellen die Proteine (auch Eiweiße genannt) dar. Aufgrund der hohen strukturellen Vielfalt übernehmen Proteine in Lebewesen zahlreiche Aufgaben. Beispiele für die vielfältigen Funktionen von Proteinen sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: Übersicht von Proteinfunktionen. Verändert nach (Urry et al., 2019).

Proteingruppe	Funktion	Beispiel
Enzyme	Herabsetzen der Aktivierungsenergie von Reaktionen, Beschleunigung von Reaktionen (Biokatalysatoren)	Maltase (Hydrolyse eines Maltose-Moleküls zu zwei Glucose-Molekülen)
Transportproteine	Transport von Substanzen zu bestimmten Zielorten	Hämoglobin (Transport von Sauerstoff aus der Lunge zu Zellen)
Speicherproteine	Speicherung von Aminosäuren	Casein (Aminosäurequelle für Neugeborene)
Abwehrproteine	Spezifischer Schutz vor Krankheiten	IgG (Koagulation von Viren, z.B. Masern)
Rezeptorproteine	Reaktion auf spezifische Reize	Acetylcholin-Rezeptoren (Detektion und Reizweiterleitung von Acetylcholin-Signalen)
Peptidhormone	Koordination hormongesteuerter Abläufe in Lebewesen	Insulin (Regulation des Blutzuckerspiegels)
Motorproteine	Bewegungsabläufe, Motorik	Aktin und Myosin (Muskelkontraktion)
Homöostase	Aufrechterhaltung eines dynamischen Zustandes	Albumin (Aufrechterhaltung des kolloidosmotischen Druckes von Zellen)
Strukturproteine	Stabilität, Kompartimentierung	Keratin (Hauptbestandteil von Haaren und Nägeln)

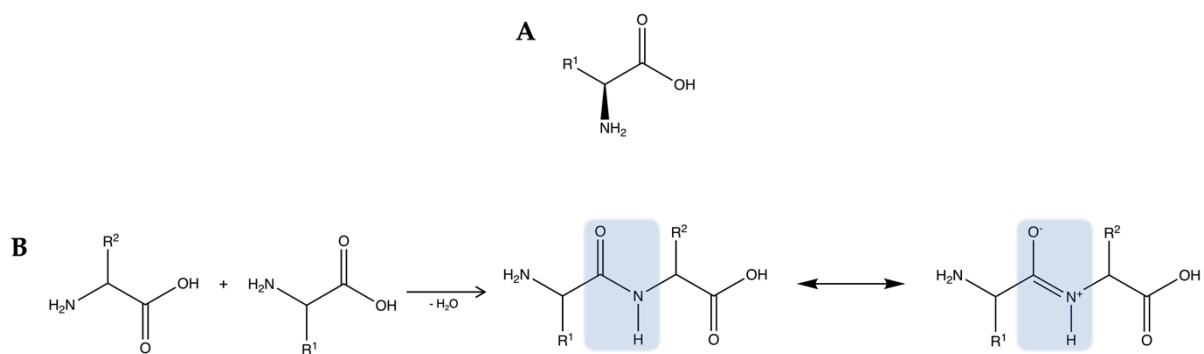


Abbildung 15: Aminosäuren und Peptide. **A** Allgemeine Struktur einer L-Aminosäure, **B** Bildung eines Peptides aus zwei Aminosäuren. Die resultierende Peptidbindung (blau) ist mesomeriestabilisiert.

Die Vielseitigkeit der Stoffklasse der Proteine liegt vor allem in ihrem variablen Aufbau begründet. Proteine sind polymere Makromoleküle mit einer molekularen Masse von zumeist 10 – 1000 kDa, deren Monomere die Aminosäuren sind. Beim Aufbau von Proteinen werden einzelne Aminosäuren unter Bildung einer Peptidbindung zu Polypeptiden unter Wasserabspaltung kondensiert. Ab einer Länge von ca. 100 kondensierten Aminosäuren werden die Peptide als Proteine bezeichnet (Urry et al., 2019). Wenngleich die Stoffklasse der Aminosäuren ein breites Spektrum an Molekülen umfasst, sind am Aufbau von Proteinen lediglich die 21 proteinogenen Aminosäuren beteiligt. Aminosäuren sind Verbindungen, die sowohl eine Aminogruppe ($-\text{NH}_2$) als auch eine Carboxygruppe ($-\text{COOH}$) enthalten. Alle proteinogenen Aminosäuren sind α -Aminosäuren, die Aminogruppe befindet sich folglich am zweiten Kohlenstoffatom (α -Kohlenstoffatom), welches direkt neben dem Kohlenstoffatom der Carboxygruppe

(C₁-Atom) liegt. Das α -Kohlenstoffatom trägt neben der Aminogruppe noch ein Wasserstoffatom und einen für jede Aminosäure spezifischen Rest R, woraus sich mit Ausnahme der Aminosäure Glycin (R = -H) ein stereogenes Zentrum ergibt. Der für alle Aminosäuren spezifische Rest wird auch als Seitenkette bezeichnet. Beim Aufbau von Proteinen werden proteinogene Aminosäuren in einer bestimmten und für jedes Protein einzigartigen Reihenfolge angeordnet, was als Aminosäuresequenz bezeichnet wird. Die Seitenkette macht im Wesentlichen die Eigenschaften der Aminosäure aus, sodass sich die verschiedenen Aminosäuren hinsichtlich ihrer Polarität und ihrer Azidität unterscheiden. Somit bestimmt die Aminosäuresequenz auch die Eigenschaften des gesamten Proteins. Die proteinogenen Aminosäuren liegen ausschließlich als L-Aminosäuren vor (Abbildung 15). (Nelson & Cox, 2021)

Bei der Kondensation zweier Aminosäuren entsteht eine Peptidbindung, die als zentrales Bindungselement von Polypeptiden bzw. Proteinen dient. Das C₁-Atom liegt in allen mesomeren Grenzformeln sp²-hybridisiert vor. Strukturen mit einer Doppelbindung in mindestens einer, aber nicht allen mesomeren Grenzformeln, weisen daher einen partiellen Doppelbindungscharakter auf. Dieser partielle Doppelbindungscharakter hat eine planare Struktur um die Bindungsachse zur Folge und verhindert die freie Drehbarkeit der an der Peptidbindung beteiligten Bindungen. Daraus resultiert eine hohe Stabilität und eindeutige Konformation von Polypeptiden, die für die Funktion von Proteinen unablässig ist. Zwei Aminosäurereste können daher nur in begrenzten Torsionswinkeln zueinanderstehen, aus der sich die Struktur der Proteine ergibt. (Clayden et al., 2013; Voet et al., 2019)

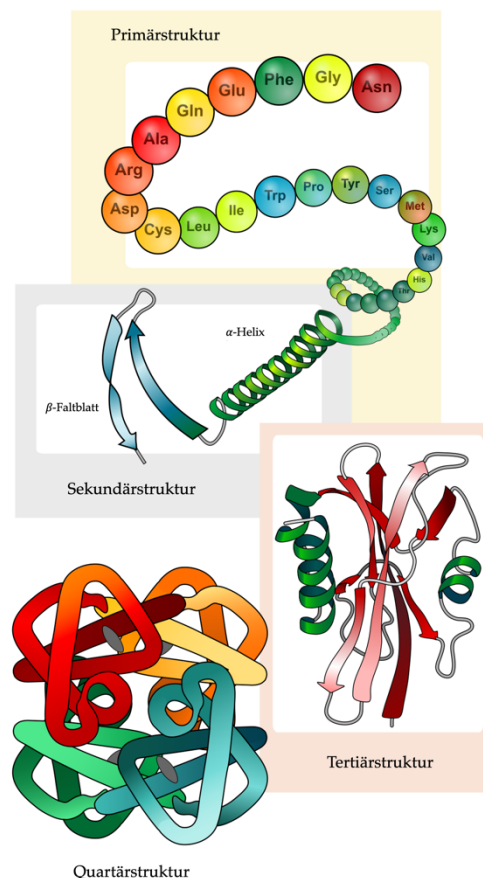


Abbildung 16: Strukturebenen von Proteinen.

Dass Proteine eine Vielzahl von Funktionen in Organismen übernehmen können, ist vorrangig mit ihrer Struktur zu begründen. So weisen Proteine sowohl charakteristische Nah- als auch Fernstrukturen auf, die die Eigenschaften der Proteine beeinflussen. Neben den bereits erwähnten Torsionswinkeln sind vor allem die Molekülstruktur der Aminosäure-Seitenketten und die Wechselwirkungen zwischen Seitenketten verantwortlich für die räumliche Struktur des gesamten Proteins. Insgesamt werden bei Proteinen vier Strukturebenen unterschieden, mithilfe derer die Gesamtstruktur der Proteine beschrieben werden kann. Die *Primärstruktur* gibt die Aminosäuresequenz an und ermöglicht daher nicht direkt die Betrachtung der räumlichen Struktur. Aus der Primärstruktur ergeben sich allerdings die weiteren

Strukturebenen und somit auch die räumliche Struktur der Proteine. Mithilfe der *Sekundärstruktur* werden lokale Strukturelemente von Proteinen beschrieben, darunter die in vielen Proteinen aufzufindenden α -Helices und β -Faltblätter. Die *Tertiärstruktur* beschreibt als nächst höhere Strukturebene den übergeordneten Aufbau von Proteinen und bildet das Molekül in seiner strukturellen Gesamtheit ab. Die Tertiärstruktur entsteht durch die Faltung von Proteinen, die für eine Funktionalität vonnöten ist. Die höchste Strukturebene stellt die *Quartärstruktur* dar. Sie bildet die räumliche Struktur von mehreren Proteinen ab, die durch Wechselwirkungen zusammengehalten werden (Proteinkomplex). Zum Teil bestehen Proteine aus verschiedenen Untereinheiten, die nur im Zusammenspiel ihrer Quartärstruktur eine Funktionalität besitzen (z.B. Hämoglobin). (Urry et al., 2019) Die Strukturebenen von Proteinen sind in Abbildung 16 dargestellt.

Proteine und einzelne Aminosäuren können zur Energiegewinnung verstoffwechselt werden. Die Energiebilanz von Aminosäuren und Proteinen ist nicht so stark positiv ausgeprägt wie von Kohlenhydraten und Fetten, kann aber besonders bei einer Mangelernährung Energiebedarfe mit abdecken. Beim Katabolismus von Aminosäuren und Proteinen entstehen neben Kohlenstoffdioxid und Wasser auch stickstoffhaltige Verbindungen, vorrangig Ammoniak und Harnstoff. (Elmadfa & Leitzmann, 2019)

Der Brennwert – Energiebilanzen von Makronährstoffen

Mithilfe des physiologischen Brennwertes wird die chemische Energie von Lebensmitteln angegeben, die der Körper durch die Zellatmung und andere katabole Stoffwechselwege verfügbar machen kann (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Der physiologische Brennwert ist für Lebensmittel entsprechend der *Lebensmittel-Informationsverordnung* in allen Mitgliedsstaaten der EU verpflichtend vom Lebensmittelhersteller auf der Verpackung in den Einheiten Kilojoule (kJ) und Kilokalorien (kcal) anzugeben (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2011). Der angegebene physiologische Brennwert wird nicht experimentell bestimmt, sondern anhand der jeweiligen Brennwerte der einzelnen Makronährstoffe des Lebensmittels berechnet (Tabelle 4) (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2011). Einem Lebensmittel, das beispielsweise in Massenanteilen zu 20 % aus Kohlenhydraten, zu 20 % aus Fetten und zu 10 % aus Proteinen besteht, wird daher ein physiologischer Brennwert von 1250 kJ/100 g bzw. 300 kcal/100 g zugeordnet.

Tabelle 4: Physiologischer Brennwert von Makronährstoffen.

Lebensmittelkomponente	Brennwert [kJ/g]	Brennwert [kcal/g]
Kohlenhydrate	17	4
Fette	37	9
Proteine	17	4
Ballaststoffe	8	2
Ethanol (Alkohol)	29	7

Der physiologische Brennwert ist ein wichtiger Kennwert für Lebensmittel, da anhand dieses Wertes die durch die Nahrung umgesetzte Energiemenge abgeschätzt werden kann. Zusammen mit der vom Körper umgesetzten Energie im Ruhezustand (*Grundumsatz*) und in körperlicher Aktivität (*Leistungsumsatz*) kann berechnet werden, ob ein Kalorienüberschuss oder ein Kaloriendefizit vorliegt. Über einen längeren Zeitraum vereinfachend betrachtet, kann dies ein Kennwert für eine Über- oder Mangelernährung sein. Darüber hinaus kann der durchschnittliche Energieumsatz einer Nation beispielsweise als Indikator für eine nationale Mangel- oder Überernährung aufgefasst werden: Während die Länder mit dem höchsten Pro-Kopf-Einkommen (1. Quartil) einen durchschnittlichen Kalorienverbrauch von 14359 kJ pro Tag aufweisen, liegen die Länder mit dem geringsten Pro-Kopf-Einkommen (4. Quartil) bei lediglich 9573 kJ pro Tag (FAO, 2022).

Mikronährstoffe

Als Mikronährstoffe werden Verbindungen bezeichnet, die im Körper biofunktionale Aufgaben übernehmen, ohne dabei selbst als Energielieferanten zu fungieren (Vilgis, 2022). Neben den bereits im Zusammenhang mit Proteinen erwähnten proteinogenen Aminosäuren werden zu den Mikronährstoffen vor allem *Mineralstoffe*, *Spurenelemente* und *Vitamine* gezählt. Mikronährstoffe müssen dem Körper über die Nahrung zugeführt werden und können von diesem nicht synthetisiert werden.

Die im Körper vorkommenden Mineralstoffe liegen in Lebensmitteln in ionischer Form vor und werden auch so vom Körper aufgenommen. Zu ihnen gehören überwiegend Natrium-, Kalium-, Calcium- und

Magnesiumkationen, sowie Phosphat-, Iodid-, Chlorid-, Fluorid- und Sulfid-Anionen. Im Körper übernehmen sie verschiedene Aufgaben, die die Zellfunktionen aufrechterhalten sollen und die Erregungsweiterleitung ermöglichen. (Urry et al., 2019)

Spurenelemente treten im Körper in nur sehr geringer Konzentration auf. Oft wirken sie als Cofaktoren von Enzymen und sind somit mittel- oder unmittelbar an lebenswichtigen Zellabläufen beteiligt. In dieser Form liegen sie zumeist komplexiert vor. Zu den Spurenelementen zählen beispielsweise Chrom, Cobalt, Eisen, Kupfer, Mangan, Molybdän, Selen, Zink oder Silicium. (Vilgis, 2022)

Die Gruppe der Vitamine ist chemisch-uneinheitlich, lässt sich allerdings grundsätzlich in die Kategorien fettlösliche Vitamine und wasserlösliche Vitamine unterteilen. Vitamine sind im Gegensatz zu den Mineralstoffen und Spurenelementen organische Verbindungen, die über die Nahrung aufgenommen werden müssen und lebenswichtige Funktionen erfüllen.

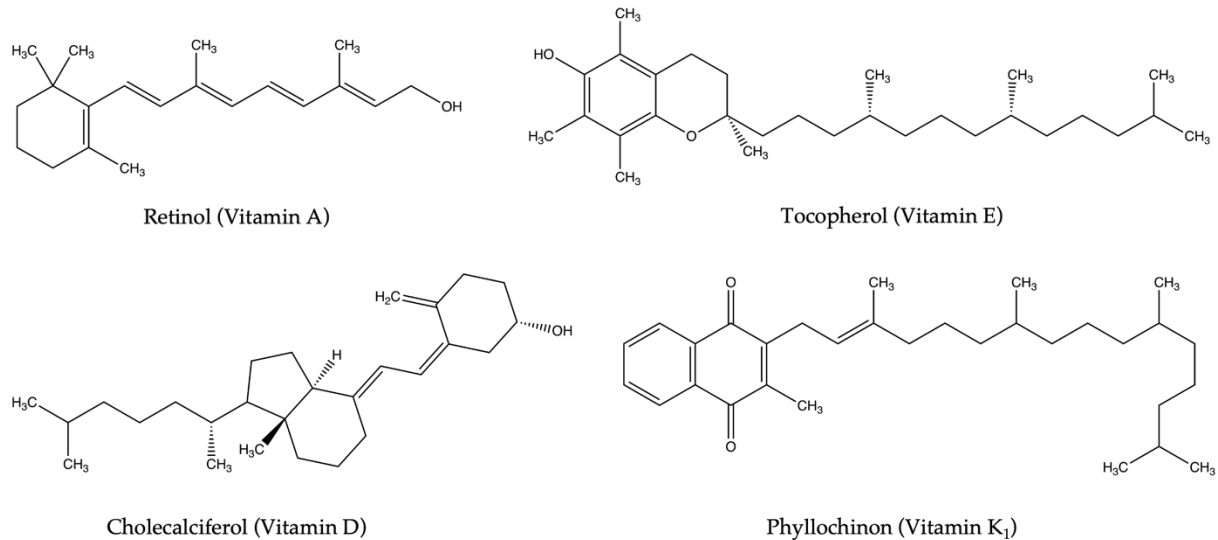


Abbildung 17: Strukturformeln von Vertretern der fettlöslichen Vitamine A, D, E und K.

Zu den fettlöslichen Vitaminen gehören die Vitamingruppen A, D, E und K. *Vitamin A* (Retinol bzw. Axerophthol) ist zusammen mit seinen Derivaten vorrangig an der Erregungsweiterleitung im Sehprozess beteiligt. Es wird aus dem Provitamin A (β -Carotin) gebildet und zu seinen Derivaten (Retinal, Retinsäure, Retinol-Ester) im Körper verarbeitet. *Vitamin D* (Cholecalciferol) ist für den Einbau von Calciumionen in die Knochensubstanz verantwortlich und spielt damit eine erhebliche Rolle für die richtige Funktionsweise des Skeletts. Es wird vom Körper unter Einwirkung von Sonnenlicht (bzw. ultravioletter Strahlung) hergestellt und stellt somit einen Sonderfall innerhalb der Mikronährstoffe dar. *Vitamin E* (Tocopherol) besitzt eine antioxidative Wirkung, da es mehrfach ungesättigte Fettsäuren vor einer Zerstörung durch Oxidation schützt. Es wirkt in diesem Zusammenhang auch als Radikalfänger, da freie Radikale als in Zellprozessen entstehende oxidative Spezies besonders Membranlipide angreifen würden (Agostoni et al., 2015). Die beiden vorrangigen Vitamine der Gruppe K, *Vitamin K₁* (Phyllochinon) und *Vitamin K₂* (Menachinon) sind vor allem am Kohlenstoffhaushalt und an der Blutgerinnung des Körpers beteiligt. In Abbildung 17 sind die Vertreter der fettlöslichen Vitamine abgebildet. Die Molekülstruktur der fettlöslichen Vitamine ist dabei zumeist eine Kombination von Fettsäuren mit farbgebenden Molekülen. (Vilgis, 2022)

Die wasserlöslichen Vitamine werden durch die *Vitamingruppe B* und *Vitamin C* abgebildet. Die Vitamingruppe B umfasst dabei acht Verbindungen, die als Kofaktoren für Enzyme fungieren. Dazu gehören beispielsweise Thiamin (Vitamin B₁), Riboflavin (Vitamin B₂) und Niacin (Vitamin B₃). Eine Sonderstellung nimmt hierbei die Verbindung Cobalamin (Vitamin B₁₂) ein, welches für die Zellteilung und Blutbildung verantwortlich ist und nur in wenigen Lebensmitteln vorkommt. Es wirkt darüber hinaus auf das zentrale Nervensystem. Cobalamin findet sich überwiegend in tierischen Produkten (Fleisch, Innereien, Milch und Eier), allerdings kaum in pflanzlichen Produkten. Vitamin C (Ascorbinsäure) übernimmt als Reduktionsmittel antioxidative Funktionen und dient als Radikalfänger. Es kommt überwiegend in Obst, aber auch in verschiedenen Gemüsesorten vor und wird oft mit einer

immunstärkenden Wirkung in Zusammenhang gebracht. In Abbildung 18 sind als Vertreter der wasserlöslichen Vitamine beispielhaft Vitamin B₃ und Vitamin C abgebildet. (Vilgis, 2022)

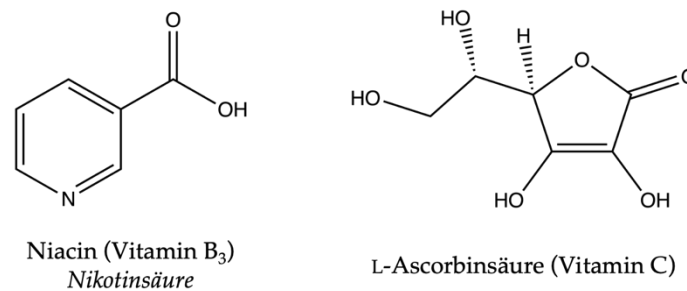


Abbildung 18: Strukturformeln von Vertretern der wasserlöslichen Vitamine B und C.

3.2.2 Lebensmittelzusatzstoffe

Nahezu alle prozessierten Lebensmittel, zu denen auch verpackt produzierte Fleisch- und Fleischersatzaufschnitte gehören (vgl. Kapitel 3.2.6), werden mit Zusatzstoffen versehen, die die chemischen, physikalischen oder physiologischen Eigenschaften der Lebensmittel verbessern sollen (Matissek, 2019). Zusatzstoffe selbst können in der Regel nicht eigenständig verzehrt werden und sollen das Lebensmittel nicht charakteristisch in seinem Geschmack verändern. Sie können sowohl chemisch-synthetisch erzeugt als auch als natürliche Zusatzstoffe aus anderen Lebensmitteln isoliert und in das gewünschte Lebensmittel eingebracht werden. Entgegen aller anderen Inhaltsstoffe, die in Lebensmitteln vorkommen, gilt für Zusatzstoffe eine Positivliste. Zusatzstoffe müssen daher für den Einsatz in Lebensmitteln explizit zugelassen werden und sind darüber hinaus in der Konzentration, in der sie eingesetzt werden dürfen, begrenzt. Darüber hinaus dürfen sie nur in verarbeiteten Lebensmitteln eingesetzt werden und sind in einigen Lebensmitteln mit besonderem kulturellem Wert, wie z.B. Bier in Deutschland, generell verboten. Die für den Einsatz zugelassenen Zusatzstoffe inklusive ihrer Maximalkonzentration für das jeweilige Lebensmittel sind in der Lebensmittelzusatzstoffverordnung der EU geregelt (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2008). Insgesamt führt die Verordnung 26 verschiedene Funktionsklassen von Zusatzstoffen auf, darunter beispielsweise Farbstoffe, Konservierungsstoffe, Antioxidationsmittel, Stabilisatoren und Geschmacksverstärker (Tabelle 5). Um Zusatzstoffe eindeutig zuzuordnen und kategorisieren zu können, werden diese mithilfe von dreistelligen *E-Nummern* codiert. Die erste Ziffer der E-Nummer gibt den Hauptanwendungszweck des Zusatzstoffes an, sodass beispielsweise alle Zusatzstoffe mit der ersten Ziffer „1“ (E 1xx) Farbstoffe sind (Dirschauer & Kuhnert, 2009). Einige Lebensmittelzusatzstoffe sind für mehrere Anwendungszwecke zugelassen (vgl. Tabelle 5). Auf der Lebensmittelumverpackung müssen sie dann entsprechend ihres Anwendungszweckes für das jeweilige Lebensmittel deklariert werden. Die E-Nummer bleibt davon unberührt und für jeden chemisch einheitlichen Stoff eindeutig, sodass ein Zusatzstoff, der in einem Lebensmittel beispielsweise als Mehlbehandlungsmittel eingesetzt wird, in seinem Hauptanwendungszweck allerdings als Antioxidationsmittel deklariert wird, mit einer E-Nummer zwischen E 300 und E 392 gekennzeichnet wird (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2008). Bevor Lebensmittelzusatzstoffe in der EU eingesetzt werden dürfen, muss ihre toxikologische Unbedenklichkeit festgestellt werden. Die Einsatzkonzentration in Lebensmitteln darf dabei beim Verzehr einer üblichen Menge 1/100 des NOEL (No Observed Effect Level) nicht überschreiten, der als Punkt definiert ist, ab dem keinerlei toxikologisch messbare Effekte mehr feststellbar sind. Dieser Wert wird als erlaubte Tagesdosis (ADI, Acceptable Daily Intake) festgelegt. Ist für bestimmte Lebensmittel kein ADI festgelegt, kann auch bei höheren Konzentrationen kein Gesundheitsrisiko festgestellt werden. Durch die Festsetzung des ADI auf maximal 1/100 des NOEL soll ein gesundheitliches Risiko für Konsument:innen ausgeschlossen werden. (Baltes, 2007)

Wenngleich eine gesundheitliche Bedenklichkeit durch die Reglementierungen der EU ausgeschlossen werden soll, gelten einige Lebensmittelzusatzstoffe besonders in der Allgemeinbevölkerung als bedenklich. Dazu zählt beispielsweise Pökelsalz bzw. die mit Pökelsalz verbundenen nitrithaltigen Zusatzstoffe (Natriumnitrit, Kaliumnitrit). Wenngleich die akut toxische Wirkung durch den geringen ADI auch bei erhöhtem Konsum gepökelter Produkte für Erwachsene ausgeschlossen werden kann, kann

der (versehentliche) Verzehr gepökelter Produkte für Säuglinge durchaus problematisch sein (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2010). Darüber hinaus können Nitrite beim Erhitzen in Anwesenheit von Aminen (z.B. in Proteinen) karzinogene Nitrosamine erzeugen, was beispielsweise beim Erhitzen gepökelter Fleischprodukte möglich ist (McMahon et al., 2022).

Tabelle 5: Liste der Funktionsklassen zugelassener Lebensmittelzusatzstoffe nach (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2008).

#	Funktionsklasse	Funktion in Lebensmitteln	Beispiel mit E-Nummer
1	Süßungsmittel	Süßen	Aspartam (E 951)
2	Farbstoffe	Färben oder Wiederherstellen der ursprünglichen Farbe	Anthocyane (E 163)
3	Konservierungsstoffe	Verlängern der Haltbarkeit, Schutz vor Mikroorganismen	Natriumnitrit (E 250)
4	Antioxidationsmittel	Verlängern der Haltbarkeit, Schutz vor Oxidation	Ascorbinsäure (E 300)
5	Trägerstoffe	Transport und Modifikation von Inhaltsstoffen	Natriumalginat (E 401)
6	Säuerungsmittel	Erhöhen des Säuregrades	Citronensäure (E 330)
7	Säureregulatoren	Verändern oder Steuern des Säuregrades	Citronensäure (E 330)
8	Trennmittel	Verhindern des Aneinanderhaftens von Partikeln	Cellulose (E 460)
9	Schaumverhüter	Verhindern oder Verringern der Schaumbildung	Siliciumdioxid (E 551)
10	Füllstoffe	Erhöhen des Volumens ohne Eigenschaften zu ändern	Natriumlactat (E 325)
11	Emulgatoren	Dispergieren / Emulgieren mehrerer Phasen	Natriumalginat (E 401)
12	Schmelzsätze	Dispergieren von Proteinen in Fetten/Olen	Trinatriumphosphat (E 339)
13	Festigungsmittel	Erhöhen der Festigkeit von Zellgewebe	Trinatriumphosphat (E 339)
14	Geschmacksverstärker	Verstärken des Geruchs und/oder Geschmacks	Natriumglutamat (E 621)
15	Schaummittel	Ermöglichen fester Schäume	Natriumalginat (E 401)
16	Geliermittel	Erhöhen der Konsistenz durch Gelbildung	Natriumalginat (E 401)
17	Überzugmittel	Verleihen eines Glanzes, Bilden eines Schutzüberzuges	Natriumalginat (E 401)
18	Feuchthaltemittel	Verhindern des Austrocknens	Natriumlactat (E 325)
19	Modifizierte Stärken	Verbessern der Eigenschaften zu gewöhnlichen Stärken	Oxidierter Stärke (E 1404)
20	Packgase	Gase außer Luft im Lebensmittelbehältnis	Distickstoffmonoxid (E 942)
21	Treibgase	Herauspressen von Lebensmitteln aus dem Behältnis	Distickstoffmonoxid (E 942)
22	Backtriebmittel	Freisetzen von Gas zur Volumenerhöhung	Natriumcarbonat (E 500)
23	Komplexbildner	Bilden von chemischen Komplexen mit Metallionen	Ascorbinsäure (E 300)
24	Stabilisatoren	Aufrechterhalten des chemisch-physikalischen Zustandes	Diphosphate (E 450)
25	Verdickungsmittel	Erhöhen der Viskosität	Xanthan (E 415)
26	Mehlbehandlungsmittel	Verbessern der Backfähigkeit (außer Emulgatoren)	Ascorbinsäure (E 300)

3.2.3 Vegetarismus und Veganismus

Mit den Begrifflichkeiten Vegetarismus und Veganismus werden Verhaltensweisen bezeichnet, die den Verzehr und Konsum tierischer Lebensmittel und Produkte ablehnen. Als vegetarisch werden dabei zumeist Personen bezeichnet, die keine Produkte konsumieren, für die Tiere getötet werden mussten. Beispiele dafür sind der Verzehr von Fleisch oder Fisch aber auch die Verwendung von Leder. Vegetarismus schließt den Begriff des Veganismus ein, der in enger Definition den Konsum auch von Produkten lebender Tiere wie beispielsweise Milch, Eier oder Honig ablehnt. Innerhalb der vegetarischen Ernährung wird dennoch zwischen verschiedenen weiteren Formen unterschieden, die in Tabelle 6 aufgeführt sind. Unterschieden wird hier zwischen Lakto-Ovo-Vegetarier:innen, die auf Fleisch und Fisch und alle Produkte auf Basis von Fleisch und Fisch verzichten, Lakto-Vegetarier:innen, die zusätzlich auf den Konsum von Ei und eibasierten Produkten verzichten und Ovo-Vegetarier:innen, die zwar Ei, dafür aber keine Milchprodukte verzehren. Menschen, die auf den Konsum jeglicher tierischer Produkte verzichten, werden als Veganer:innen definiert.

Tabelle 6: Formen vegetarischer Ernährung nach (Leitzmann & Keller, 2020).

Bezeichnung	Meiden von ¹
Lakto-ovo-vegetarisch	Fleisch und Fisch ²
Lakto-vegetarisch	Fleisch, Fisch und Ei
Ovo-vegetarisch	Fleisch, Fisch und Milch
Vegan	Alle tierischen Lebensmittel ³

¹Lebensmitteln inklusive daraus hergestellter Produkte. ²Fisch und alle aquatischen Tiere. ³Zumeist auch inklusive aller aus tierischen Rohstoffen hergestellten Konsumgüter und Gebrauchsgegenstände.

Neben den hier erwähnten Gruppen werden auch gelegentlich pescetarische und flexitarische Lebensweisen als vegetarisch bezeichnet. Pescetarier:innen verzichten auf den Konsum von Fleisch, verzehren

aber Fisch und andere aquatische Tiere. Flexitarier:innen konsumieren hingegen auch Fleisch und Fleischprodukte, verzichten aber gelegentlich bewusst auf den Konsum tierischer Produkte. Im engeren Sinne sollten die beiden letztgenannten Bezeichnungen nicht zu den vegetarischen Lebensformen gezählt werden, da für pescetarische und flexitarische Lebensweisen Tiere getötet werden müssen. (Leitzmann & Keller, 2020)

Vegetarismus und Veganismus definieren dabei nicht nur eine bestimmte Ernährungsform, sondern ein *Lebensstilkonzept* (Leitzmann & Keller, 2020), das auch lebensmittelferne Konsumgüter einbezieht. Die Zahl der in Deutschland lebenden Vegetarier:innen und Veganer:innen kann nicht eindeutig angegeben werden, da die zumeist durchgeführten Erhebungen auf der Selbsteinschätzung und eigenen Definition der Befragten basieren. Das RKI gibt in seiner Studie zur Gesundheit Erwachsener in Deutschland (DEGS1, $N = 8152$) im Erhebungszeitraum von 2008–2011 einen Vegetarier:innenanteil von 4,3 % der 18–79-Jährigen an (Mensink et al., 2016). Die Allensbacher Markt- und Werbeträgeranalyse (AWA, $N = 23.015$) des Instituts für Demoskopie Allensbach hat für das Jahr 2022 einen Anteil von 11,2 % Vegetarier:innen und 2,2 % Veganer:innen an der deutschen Bevölkerung ermittelt (*Allensbacher Markt- und Werbeträgeranalyse 2022*, 2022). Unabhängig der stark divergenten Daten kann ein Anstieg der vegetarisch und vegan lebenden Menschen in Deutschland festgestellt werden (Abbildung 19).

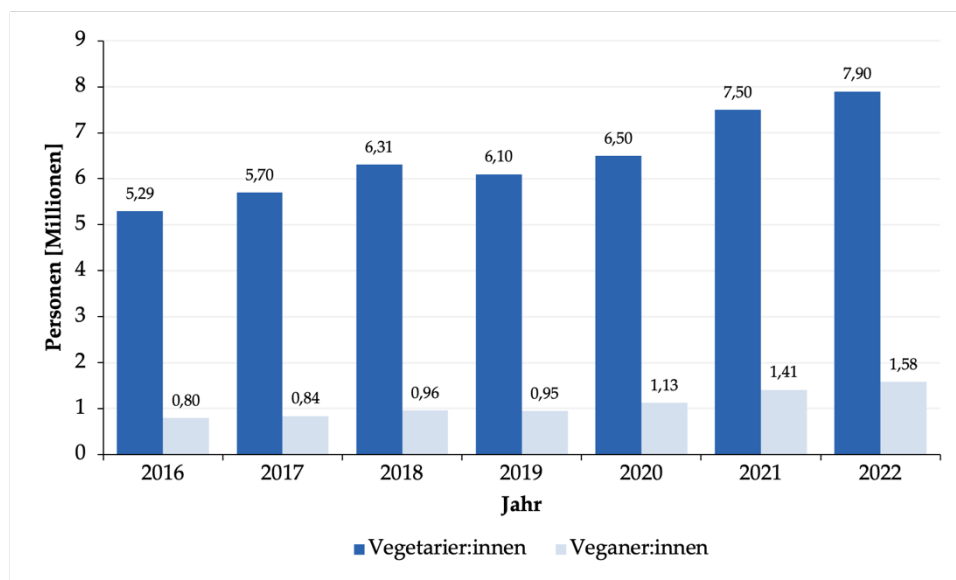


Abbildung 19: Anzahl der Vegetarier:innen und Veganer:innen in Deutschland im Zeitraum von 2016 bis 2022 nach (*Allensbacher Markt- und Werbeträgeranalyse 2022*, 2022).

Im weltweiten Vergleich lassen sich starke Unterschiede hinsichtlich des Anteils vegetarisch und vegan lebender Menschen feststellen. Während der Anteil der in Deutschland lebenden Vegetarier:innen mit 11,2 % im europäischen Vergleich überdurchschnittlich liegt, finden sich vor allem in Asien anteilig deutlich mehr Vegetarier:innen und Veganer:innen. Mit 38 % Vegetarier:innen leben beispielsweise in Indien besonders viele Menschen, die auf den Konsum von Fleisch und Fisch verzichten (Leitzmann & Keller, 2020). Deutliche Unterschiede lassen sich auch im Geschlecht erkennen. In Deutschland ist der Anteil weiblichen Vegetarier:innen deutlich größer als der Anteil der vegetarisch lebenden Männer (Abbildung 20). Zeitgleich kann eine Altersabhängigkeit festgestellt werden: Während innerhalb der Gruppe der 18–29-Jährigen mehr als 9 % der untersuchten Frauen und 5 % der untersuchten Männer vegetarisch leben, liegt der Anteil bei den 50–59-Jährigen bei ungefähr 4 % bzw. 1,6 % (Abbildung 20). Zu berücksichtigen ist, dass die Daten der zugrundeliegenden DEGS1-Studie zwischen 2008 und 2011 erhoben wurden und seitdem eine deutliche Zunahme der Zahl an Vegetarier:innen festzustellen ist (*Allensbacher Markt- und Werbeträgeranalyse 2022*, 2022). (Mensink et al., 2016)

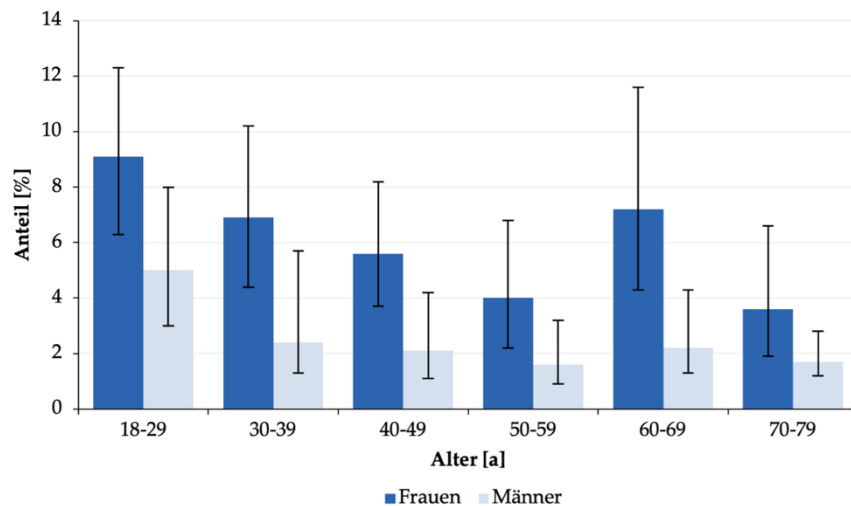


Abbildung 20: Anteil der Vegetarier:innen nach Geschlecht und Alter, erhoben in der DEGS1-Studie des RKI ($N = 8152$). Nach (Mensink et al., 2016).

In einer soziodemographischen Untersuchung des BfR aus dem Jahr 2016 haben Hopp et al. verschiedene Parameter zwischen Veganer:innen und der Gesamtbevölkerung gemessen und verglichen ($N = 42$ Veganer:innen). Auch in der Untersuchung des BfR konnten die Aussagen, dass Veganer:innen überwiegend weiblich und zwischen 18 und 29 Jahren alt sind, bestätigt werden. Weiterhin wurde gezeigt, dass die Mehrheit der Veganer:innen einen Hochschulabschluss aufweist und somit im Vergleich zum Querschnitt der Gesamtbevölkerung überdurchschnittlich qualifiziert ist (Abbildung 21a). Das durchschnittliche Nettohaushaltseinkommen liegt allerdings nicht höher als bei Nicht-Veganer:innen, was unter anderem auf das jüngere Alter von Veganer:innen zurückgeführt werden kann (Abbildung 21b). (Hopp et al., 2017)

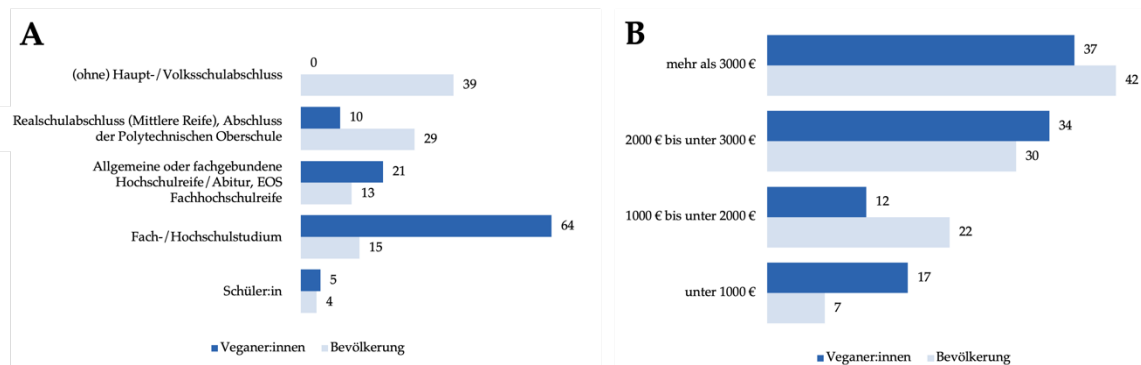


Abbildung 21: A Höchster Bildungsabschluss von Veganer:innen im Vergleich zur Gesamtbevölkerung ($N = 42$) in Prozent [%]. B Durchschnittliches Haushaltsnettoeinkommen von Veganer:innen im Vergleich zur Gesamtbevölkerung ($N = 42$) in Prozent [%]. Daten nach (Hopp et al., 2017).

Vegetarier:innen und Veganer:innen verzichten aus verschiedenen Gründen teilweise oder gänzlich auf tierische Produkte. Zumeist wird dabei nicht nur eines, sondern mehrere Motive angegeben, die zum Teil ineinander übergehen. Übergeordnet lassen sich mit ethischen, gesundheitlichen, ökologischen und religiösen Gründen vier verschiedene Motivbereiche feststellen (Leitzmann & Keller, 2020). In der weltweiten Betrachtung bilden religiös motivierte Vegetarier:innen und Veganer:innen den größten Anteil sich vegetarisch oder vegan ernähernder Personen ab. Dies ist vorrangig auf den großen Anteil an Hinduist:innen und Jainist:innen zurückzuführen, die sich vegetarisch ernähren und einen großen Teil der indischen Bevölkerung ausmachen. Die indische Regierung schätzt daher den Anteil der sich vegetarisch ernährenden Inder:innen auf ca. 30 % (Government of India, 2014). In der westlichen Welt spielen religiöse Motive eine eher untergeordnete Rolle. Die am häufigsten genannten Gründe lassen sich auf eine ethische Motivik zurückführen, gefolgt von gesundheitlichen Gründen (Fox & Ward, 2008; Hoffman et al., 2013; Radnitz et al., 2015). Ethische Vegetarier:innen und Veganer:innen lehnen zumeist das Töten von Tieren ab, da sie es als unrecht ansehen oder aber Tieren ein Recht auf ein unversehrtes

Leben einräumen. Für Veganer:innen zählt dazu auch der Verzicht auf tierische Produkte, für die Tiere nicht getötet werden mussten, aber in ihrer Selbstbestimmung eingeschränkt werden. Oftmals wird auch die Intensivhaltung von Tieren als unethisch angesehen. Gesundheitliche Motive beziehen sich vorrangig darauf, dass eine vegetarische oder vegane Ernährung gesünder als eine fleischhaltige sei. Darüber hinaus wird aber auch die zumeist kalorienärmere vegetarische oder vegane Nahrung als Möglichkeit zur Gewichtsabnahme angesehen. Da mit dem Konsum von Fleischprodukten auch ein erhöhtes Risiko verbunden wird, an Krebs zu erkranken (Bouvard et al., 2015) und kardiovaskuläre Krankheiten zu erleiden (American Heart Association Nutrition et al., 2006), ist eine fleischfreie Ernährung oftmals gesundheitspräventiv motiviert. Weitaus seltener, aber mit steigender Tendenz, werden ökologische Motive für eine vegetarische oder vegane Ernährung angegeben. Da die Aufzucht von Tieren zur Nahrungserzeugung, der Transport tierischer Produkte und die Bereitstellung von Flächen für die Tierernährung Wasser verbrauchen, Flächen benötigen und Treibhausgase produzieren, ist eine tierbasierte Ernährung oft mit einem nicht-nachhaltigen Lebensstil verbunden (vgl. Kapitel 3.2.5). Vor allem aufgrund des menschengemachten Klimawandels, der durch die Emission anthropogener Treibhausgase induziert wird, wird eine ökologische Motivik für eine vegetarische und vegane Ernährung immer häufiger genannt (Leitzmann & Keller, 2020). Neben den vier genannten Motivbereichen werden einzeln noch weitere Motive wie beispielsweise kosmetische (Hautreinheit), ökonomische (Verfügbarkeit und Preis tierischer Produkte) und soziale (Erziehung, Gruppeneinflüsse) Gründe genannt (Leitzmann & Keller, 2020).

3.2.4 *Gesundheitliche und ernährungsphysiologische Aspekte konventioneller, vegetarischer und veganer Ernährung*

Wie in Kapitel 3.2.1 beschrieben, dient die Aufnahme von Nahrung dazu, den Körper mit Makro- und Mikronährstoffen, sowie Wasser zu versorgen. Für eine Beurteilung verschiedener Nahrungsmittel hinsichtlich ihrer Gesundheit für den Menschen sollte daher zunächst geprüft werden, welche Nährstoffe dem Körper durch die Aufnahme des jeweiligen Nahrungsmittels verfügbar gemacht werden können. Anschließend sollte überprüft werden, ob das untersuchte Nahrungsmittel weitere Inhaltsstoffe enthält, die positive oder negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben können.

Energiezufuhr und Relation der Hauptnährstoffe

Der Nährstoffbedarf von Menschen unterscheidet sich und hängt beispielsweise von Faktoren wie Genetik, Geschlecht, Alter, Körpergröße und der gesundheitlichen Verfassung ab, sodass nicht ein einzelner, genereller Nährstoffbedarf für alle Menschen festgestellt werden kann (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Dennoch gibt es Empfehlungen, die unter anderem von der DGE festgelegt werden. Diese berücksichtigen die Nährstoffaufnahme zumeist für eine durchschnittliche erwachsene Person, sind allerdings auch für verschiedene Geschlechter und Altersklassifizierungen aufgeschlüsselt (DGE et al., 2019). Dabei legt die DGE auch Richtwerte für die Gesamtenergiezufuhr fest, die durch die Aufnahme der Makronährstoffe (Kohlenhydrate, Proteine, Fette) erfolgt. Die Richtwerte beziehen sich auf eine durchschnittliche Energiezufuhr in Abhängigkeit vom Ruheenergieumsatz und der körperlichen Aktivität (PAL-Wert), dem Alter und dem Geschlecht. Beispielsweise sollte eine erwachsene Frau zwischen 25 und 50 Jahren mit einer durchschnittlichen körperlichen Aktivität (PAL-Wert 1,6) Nahrung mit einer Energie von 2100 kcal/d (ca. 8800 kJ/d) aufnehmen (DGE et al., 2019). Die Empfehlungen der DGE für die tägliche Energiezufuhr sind in Tabelle 7 dargestellt. Darüber hinaus schlüsselt die DGE auf, aus welchen Anteilen von Makronährstoffen sich die Energiezufuhr zusammensetzen soll. Für Erwachsene sollten bei einer vollwertigen Mischkost Kohlenhydrate ungefähr 60 % der Energiemenge, Fette ca. 30 % und Proteine ca. 10 % ausmachen (DGE et al., 2019). Im Beispiel der erwachsenen Frau zwischen 25 und 50 Jahren mit einer durchschnittlichen körperlichen Aktivität sollten daher ca. 1260 kcal (5280 kJ) durch Kohlenhydrate, ca. 630 kcal (2640 kJ) durch Fette und ca. 210 kcal (880 kJ) durch Proteine aufgenommen werden. Zu berücksichtigen ist, dass die Menge an Proteinen an eine Zufuhr von ca. 0,8 g/kg Körpergewicht angepasst werden sollte. Das Verhältnis zwischen Makronährstoffen wird in der Fachliteratur auch als *Relation der Hauptnährstoffe* bezeichnet (Leitzmann & Keller, 2020). Die von der DGE empfohlenen Richtwerte für die Nährstoffzufuhr werden in westlichen Ländern nur selten eingehalten, da sowohl die Fett-, als auch die Proteinzufuhr zumeist überschritten werden (MRI, 2008). Dies führt sowohl zu einer im Mittel zu hohen Gesamtenergiezufuhr (Tabelle 8) als auch zu einer Verschiebung der Relation der Hauptnährstoffe zugunsten der Fette und Proteine.

Tabelle 7: Richtwerte der DGE für die durchschnittliche Energiezufuhr bei Personen unterschiedlichen Alters und Geschlechts in Abhängigkeit der körperlichen Aktivität (PAL-Wert). Verändert nach (DGE et al., 2019).

Alter [y] ¹	Richtwerte für die Energiezufuhr in kcal/d und kJ/d											
	PAL-Wert 1,4				PAL-Wert 1,6				PAL-Wert 1,8			
	m ²		w ²		m		w		m		w	
1 bis unter 4	1200	5000	1100	4600	1300	5400	1200	5000	–	–	–	–
4 bis unter 7	1400	5900	1300	5400	1600	6700	1500	6300	1800	7500	1700	7100
7 bis unter 10	1700	7100	1500	6300	1900	7900	1800	7500	2100	8800	2000	8400
10 bis unter 13	1900	7900	1700	7100	2200	9200	2000	8400	2400	10000	2200	9200
13 bis unter 15	2300	9600	1900	7900	2600	10900	2200	9200	2900	12100	2500	10400
15 bis unter 19	2600	10900	2000	8400	3000	12600	2300	9600	3400	14200	2600	10900
19 bis unter 25	2400	10000	1900	7900	2800	11700	2200	9200	3100	13000	2500	10400
25 bis unter 51	2300	9600	1800	7500	2700	11300	2100	8800	3000	12600	2400	10000
51 bis unter 65	2200	9200	1700	7100	2500	10400	2000	8400	2800	11700	2200	9200
über 65	2100	8800	1700	7100	2500	10400	1900	7900	2800	11700	2100	8800

¹Jahre, ²männlich, ³weiblich

Die Relation der Hauptnährstoffe unterscheidet sich im Mittel zwischen Vegetarier:innen, Veganer:innen und Mischköstler:innen (sich auch von Fleisch ernährende Personen). Wenngleich für Deutschland keine allgemeinen Daten für die Hauptnährstoffrelationen erhoben wurden, liegen für verschiedene Länder Daten vor. Als Vergleich sind für Belgien, die Schweiz und die USA exemplarisch die Relationen in Tabelle 9 aufgeführt.

Tabelle 8: Durchschnittliche Nahrungsenergiezufuhr in ausgewählten Ländern bei Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen.

Land und Autor	Energiezufuhr [kcal]		
	MK ¹	LOV ²	V ³
Deutschland (Waldmann et al., 2003)	–	–	2390 ± 758 (m ⁴) 1728 ± 521 (w ⁵)
Belgien (Clarys et al., 2014)	2985 ± 1029	2722 ± 875	2383 ± 804
Schweiz (Schüpbach et al., 2017)	2319 ± 500	2263 ± 559	2496 ± 596
USA (Rizzo et al., 2013)	1773	1803	1791

¹Mischköstler:innen, ²Lakto-Ovo-Vegetarier:innen, ³Veganer:innen, ⁴männlich, ⁵weiblich

Im Vergleich zu Mischköstler:innen nehmen Vegetarier:innen und Veganer:innen durchschnittlich mehr Kohlenhydrate zu sich, was auf den hohen Anteil von Kohlenhydraten in pflanzlichen Lebensmitteln zurückzuführen ist (Tabelle 9). Bei Veganer:innen ist der Anteil von Kohlenhydraten an den Hauptnährstoffen noch höher als bei Vegetarier:innen, da diese mehr Fett durch den Verzehr von Milchprodukten konsumieren (Clarys et al., 2014; Deriemaeker et al., 2011; Rizzo et al., 2013; Schüpbach et al., 2017). Der Anteil von Fetten an den Hauptnährstoffen ist auch in Deutschland bei Mischköstler:innen höher als bei Vegetarier:innen und Veganer:innen, was auf den erhöhten Fettanteil in Fleisch zurückzuführen ist (MRI, 2008). Selbiges gilt auch für die Proteinzufuhr, die bei Mischköstler:innen höher liegt als bei Vegetarier:innen und Veganer:innen (MRI, 2008). Dennoch lässt sich feststellen, dass der Anteil von Proteinen an den Hauptnährstoffen bei allen drei Ernährungstypen über den von der DGE berechneten empfohlenen Richtwerten liegt. Die von der DGE empfohlenen Zufuhrmengen, die bei ca. 0,8 g Protein pro Tag und Kilogramm Körpergewicht liegen, werden allerdings nur von Mischköstler:innen überschritten, da diese eine durchschnittliche höhere Gesamtenergiezufuhr aufweisen (Appleby et al., 1999; Clarys et al., 2014).

Tabelle 9: Durchschnittliche Relation der Hauptnährstoffe in ausgewählten Ländern bei Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen im Vergleich zum Richtwert der DGE.

Land und Autoren	Durchschnittliche Zufuhr (anteiliger Brennwert [%])								
	Kohlenhydrate			Protein			Fett		
	60 ± 5			10 ± 3			30		
Richtwert (DGE et al., 2019)	MK ¹	LOV ²	V ³	MK	LOV	V	MK	LOV	V
Belgien (Clarys et al., 2014)	44 ± 8	51 ± 8	57 ± 8	15 ± 3	14 ± 3	14 ± 4	36 ± 7	31 ± 7	25 ± 8
Schweiz (Schüpbach et al., 2017)	45 ± 8	48 ± 8	54 ± 12	15 ± 3	12 ± 2	11 ± 2	36 ± 7	37 ± 7	33 ± 12
USA (Rizzo et al., 2013)	53	57	62	15	14	14	35	33	29

¹Mischköstler:innen, ²Lakto-Ovo-Vegetarier:innen, ³Veganer:innen

Zumeist enthalten vegetarische und vegane Lebensmittel einen höheren Wassergehalt, wodurch die Energiedichte vegetarischer und veganer Lebensmittel geringer als die der fleischbasierten Lebensmittel ist. Zudem sorgt der höhere Anteil an Ballaststoffen durch ihr Quellvermögen im Magen für ein länger anhaltendes Sättigungsgefühl (Leitzmann & Keller, 2020). Die geringere Energiezufuhr bei Vegetarier:innen und Veganer:innen (vgl. Tabelle 8) führt zu einem durchschnittlich geringeren BMI als bei nicht-vegetarischen Gruppen (Tabelle 10). Der BMI ist ein Maß für die Körpermasse in Relation zur Körpergröße und kann somit als Index für Unter-, Normal- oder Übergewicht angesehen werden. Entsprechend der Klassifizierung der WHO sollte der BMI von Normalgewichtigen zwischen 18,5 und 24,9 kg/m² (zumeist dimensionslos angegeben) liegen. Werte darunter indizieren Untergewicht, Werte darüber Übergewicht. Einen BMI von ≥ 30 definiert die WHO als krankhaft übergewichtig (adipös) (WHO, 2000). Weltweit lag der durchschnittliche BMI bei Frauen im Jahr 2017 bei ca. 24, bei Männern bei ca. 23 (Collaboration, 2017). Die WHO gibt allerdings für das Jahr 2016 an, dass 39 % aller Erwachsenen übergewichtig, davon 13 % adipös seien (WHO, 2021c). In Deutschland waren im Jahr 2016 nach Angaben des Global Health Observatories der WHO 56,8 % aller Erwachsenen übergewichtig (GHO, 2023). Übergewicht ist einer der stärksten Risikofaktoren für die Entstehung weiterer, meist chronischer Krankheiten und begünstigt darüber hinaus andere Risikofaktoren für Krankheiten. Mit Übergewicht assoziierte Krankheiten sind vor allem Erkrankungen des Stoffwechsels (v.a. Diabetes mellitus Typ 2), kardiovaskuläre Erkrankungen (z.B. Hypertonie, Herzinfarkte und Schlaganfälle), Erkrankungen des Bewegungsapparates (z.B. Gicht, Rheuma und Gelenkerkrankungen) sowie Krebs und psychische Erkrankungen (Leitzmann & Keller, 2020). In Bezug auf die verschiedenen Ernährungstypen zeigt sich sowohl in der Adventist-Health-Study (Nordamerika) als auch in der EPIC-Oxford-Studie (Europa) ein durchschnittlich höherer BMI bei Mischköstler:innen im Vergleich zu Pescetarier:innen und Vegetarier:innen. Veganer:innen zeigen im Durchschnitt den geringsten BMI.

Tabelle 10: Durchschnittlicher BMI von Mischköstler:innen, Pescetarier:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen in der Adventist Health Study 2 (AHS-2) und der EPIC-Oxford-Studie (Davey et al., 2003; Orlich et al., 2013).

Ernährungsform	BMI (kg/m ²)		
	AHS-2 (Orlich et al., 2013)	EPIC-Oxford (Davey et al., 2003)	
		männlich	weiblich
Mischköstler:innen	28,3	24,9	24,3
Pescetarier:innen	26,0	23,6	22,9
Lakto-Ovo-Vegetarier:innen	26,1	23,5	22,7
Veganer:innen	24,1	22,5	21,9

Besonders offensichtlich wird der Unterschied zwischen Mischköstler:innen und Vegetarier:innen bzw. Veganer:innen in der Betrachtung des Anteils adipöser Personen (BMI ≥ 30). Besonders im Nordamerikanischen Raum zeigt die Adventist Health Study 2 einen großen Unterschied zwischen Mischköstler:innen und nicht Fleisch-essenden Personen auf: Vegetarier:innen und Veganer:innen sind deutlich seltener adipös als Mischköstler:innen. Auch im europäischen Raum (EPIC-Oxford Studie) kann ein Unterschied zwischen den Ernährungsformen im Hinblick auf Adipositas festgestellt werden (Tabelle 11).

Tabelle 11: Anteil Adipöser bei Mischköstler:innen, Pescetarier:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen in der Adventist Health Study 2 (AHS-2) und der EPIC-Oxford-Studie (Davey et al., 2003; Rizzo et al., 2013).

Ernährungsform	Anteil Adipöser (BMI ≥ 30 kg/m ²) [%]		
	AHS-2 (Rizzo et al., 2013)	EPIC-Oxford (Davey et al., 2003)	
		männlich	weiblich
Mischköstler:innen	33,3	7,1	9,3
Pescetarier:innen	17,9	3,0	4,4
Lakto-Ovo-Vegetarier:innen	16,7	3,5	4,5
Veganer:innen	9,4	1,6	2,5

Krebs

Mit dem Konsum von Fleisch und Fleischprodukten, vor allem von rotem Fleisch, wird oft das Risiko einer erhöhten Prävalenz für Krebserkrankungen verbunden (WCRF & AICR, 2018). Eine Metaanalyse aus dem Jahr 2021 vergleicht aus einer Auswahl von 165.089 Publikationen 148 Publikationen, die den Konsum von rotem und hochprozessiertem Fleisch in Bezug auf das Risiko, an Krebs zu erkranken,

untersucht haben. Dabei konnte in der Review-Studie ein 6 % größeres Risiko für Brustkrebs, ein 18 % größeres Risiko für kolorektale Karzinome, ein 21 % größeres Risiko für Darmkrebs, ein 22 % größeres Risiko für rektale Karzinome und ein 12 % größeres Risiko für Lungenkrebs durch den Konsum von hochprozessiertem Fleisch festgestellt werden. Auch für den Konsum von rotem Fleisch wurde ein erhöhtes Risiko für Brustkrebs, Uteruskarzinome, kolorektale Karzinome, Darmkrebs, rektale Karzinome, Lungenkrebs und hepatozelluläre Karzinome („Leberkrebs“) festgestellt (Farvid et al., 2021). Einzelne Studien wie die Adventist Health Study 1 ($N = 34.192$) zeigten ebenfalls ein signifikant höheres Risiko für Dickdarmkrebs (+ 88 %) und Prostatakrebs (+ 54 %) im Vergleich von Nicht-Vegetarier:innen zu Vegetarier:innen (Fraser, 1999). Andererseits zeigten auch verschiedene Meta-Analysen, u.a. eine Analyse von neun Studien mit insgesamt 690.000 Teilnehmer:innen, keine signifikante Risikoreduktion für Brust-, Kolorektal- und Prostatakrebs bei Vegetarier:innen im Vergleich zu Fleisch-essenden Personen (Godos et al., 2017). Wichtig zu erwähnen ist, dass die Prävalenz von Personen, an Krebs zu erkranken, nicht ausschließlich von der Ernährung abhängt, sondern stark multifaktoriell ist. So spielen die eigene Genetik, das Geschlecht, das Alter, aber auch physikalische, biologische und chemische Einflüsse sowie die eigene körperliche Aktivität und der Beruf eine große Rolle bei der potentiellen Entstehung von Tumoren (Leitzmann & Keller, 2020). Besonders für die häufigsten Krebsarten Brust-, Prostata und Kolorektalkrebs kann nicht zwingend eine signifikante Risikoverringerung für Vegetarier:innen und Veganer:innen festgestellt werden, wenngleich diese besonders häufig Verhaltensmuster aufweisen, die nach aktueller Studienlage als gesundheitsförderlich angesehen werden. Dass das Gesamtkrebsrisiko für Vegetarier:innen und Veganer:innen leicht geringer ausfällt als bei Mischköstler:innen kann nicht zwingend auf die unterschiedliche Ernährung zurückgeführt werden, da Vegetarier:innen und Veganer:innen im Vergleich zum Durchschnitt der Bevölkerung weniger Stressoren ausgesetzt sind (geringerer Anteil an Raucher:innen, höherer Anteil an Personen mit starker körperlicher Aktivität, geringer durchschnittlicher Alkoholkonsum) (Chang-Claude et al., 2005; RKI, 2015, 2017; Waldmann et al., 2003). Diese Faktoren können sich ebenfalls begünstigend auf ein geringes Krebsrisiko auswirken, sodass aufgrund der Multikausalität keine eindeutigen Rückschlüsse auf einen Zusammenhang mit der Ernährung geschlossen werden können.

Aus Sicht der Energiezufuhr durch die Nahrung und die Prävalenz, an Krebs zu erkranken, deuten die oben angegebenen Studien darauf hin, dass eine vegetarische oder vegane Ernährungsweise positive (Stoffwechselerkrankungen, kardiovaskuläre Erkrankungen, Bewegungsapparat, eventuell Krebs) oder zumindest keine negativen Auswirkungen (Krebs) auf die körperliche Gesundheit haben. Die höheren Prävalenzen für Erkrankungen lassen sich dabei vornehmlich auf die in Fleisch und tierischen Produkten enthaltenen gesundheitsschädlichen Stoffe zurückführen. Dazu zählen vor allem gesättigte Fettsäuren und Cholesterin, die das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen durch die Bildung von Low-Density-Lipoprotein (LDL) erhöhen (Wilson et al., 1998), aber auch kanzerogene Substanzen, die beim Konsum oder der Verarbeitung von Fleisch entstehen können (Tabelle 12) (Cascella et al., 2018; Hahn et al., 2016; Kasper & Walter, 2020; Samraj et al., 2014). In der Zusammenfassung zeigen dies auch die Mortalität (Sterblichkeit) und die Lebenserwartung von Vegetarier:innen, Veganer:innen und Personen, die gelegentlich Fleisch konsumieren im Vergleich zu Personen, die häufig Fleisch konsumieren. Zwar kann nicht generell gezeigt werden, dass eine vegetarische oder vegane Ernährungsweise zu einer durchschnittlich höheren Lebenserwartung führen, allerdings senkt der häufige Konsum von Fleisch (> 50 g/d) die Lebenserwartung und steigert die Mortalität. Gleichzeitig sind es vor allem der Konsum von gesundheitlich präventiven Nahrungsmitteln wie Gemüse, Obst, Vollkornprodukten, Hülsenfrüchten und Nüssen, die zu einer durchschnittlich höheren Lebenserwartung und geringeren Mortalität führen. Die Kombination aus einem häufigen Konsum solcher Lebensmittel und einem geringen Konsum von Fleisch und Fisch begünstigt somit eine hohe Lebenserwartung (Leitzmann & Keller, 2020). Dies muss insbesondere vor dem Hintergrund des steigenden Konsums hochprozessierter vegetarischer und veganer Ersatzprodukte betrachtet werden (vgl. Kapitel 3.2.6). Dennoch wird eine fleischfreie Ernährung in der Bevölkerung oft mit einer Mangel- oder Fehlernährung in Verbindung gebracht (Leitzmann, 2014). Besonders häufige Nennungen für mögliche Mangelernährungen beziehen sich dabei auf den Makronährstoff Protein, ω -3-Fettsäuren, die Mineralstoffe Eisen, Iod, Calcium und Zink sowie die Vitamine B₁₂, B₂ und D₃.

Tabelle 12: Potentiell kanzerogene Substanzen in rotem Fleisch und Fleischwaren nach (Cascella et al., 2018; Hahn et al., 2016; Kasper & Walter, 2020; Samraj et al., 2014). Verändert aus (Leitzmann & Keller, 2020).

Substanz	Entstehung und Vorkommen	Wirkung
heterocyclische aromatische Amine (HAA)	(Hoch-)Erhitzen von Fleisch und Fisch durch Grillen, Braten, Rösten	mutagen und kanzerogen
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) (z.B. Benzo[a]pyren)	unvollständiges Verbrennen organischer Stoffe (z.B. Tabak, Fleisch) hohe Konzentrationen auf Oberflächen von Lebensmitteln, die auf direkter Flamme oder Holzkohle erhitzt wurden (v.a. gegrilltes Fleisch)	mutagen und kanzerogen
N-Nitrosylverbindungen (z.B. Nitrosamine)	Reaktionsprodukte von Nitrit (z.B. Nitritpökelsalz in Fleischwaren) und sekundären Aminen (Proteinen) Reaktion durch Erhitzen, aber auch endogen (Magen) hohe Gehalte in gepökelten Fleischwaren (Schinken, Speck); außerdem in Fisch, Käse, Bier und Gewürzen	mutagen und kanzerogen
Hämeisen	Bestandteil des Hämoglobins in Fleisch und Fisch	Förderung der Bildung freier Radikale, N-Nitrosoverbindungen und Lipidperoxidation, dadurch mutagen
Proteine	hoher Fleischverzehr	Proteinakkumulation im Dickdarm, bakterieller Abbau zu potentiell kanzerogenen Substanzen (z.B. Ammoniak, Nitrite, Amine, Schwefelwasserstoff)

Eisen

Der Mikronährstoff Eisen wird wie alle Mineralstoffe in ionischer Form durch die Nahrung aufgenommen. Zentrale Funktion des Eisens im Organismus ist der Sauerstofftransport durch das Blut zu den Zielzellen. Eisen erfüllt diese Funktion als Zentral-Ion im Hämoglobin. Darüber hinaus wirkt es als Bestandteil (Cofaktor) verschiedener Enzyme und ist an der Synthese von Hormonen und Neurotransmittern beteiligt (Berg et al., 2018). Wenngleich sich der Eisengehalt von Lebensmitteln stark unterscheidet, hängt der Beitrag des Lebensmittels zur Eisenversorgung eines Organismus nicht nur von der Eisenkonzentration, sondern auch von der Bindungsform und Anwesenheit von Begleitstoffen ab. Unterschieden werden muss vor allem, ob Eisenionen in zweiwertiger Form (Fe^{2+}), auch als *Hämeisen* bezeichnet, oder in dreiwertiger Form (Fe^{3+}), auch als *Nicht-Hämeisen* bezeichnet, vorliegt. Das für den menschlichen Körper deutlich besser resorbierbare Hämeisen kommt überwiegend in Fleisch und Fisch vor, während das deutlich schlechter resorbierbare Nicht-Hämeisen den gesamten Eisengehalt von pflanzlichen Lebensmitteln sowie Milch und Eiern ausmacht (Elmadfa & Leitzmann, 2019; Hahn et al., 2016). Fördernd für die Resorption von Eisen sind allerdings Stoffe wie Ascorbinsäure (Vitamin C), organische Säuren, Cystein und Muskelprotein, die dreiwertige Eisen-Ionen zu zweiwertigen Eisen-Ionen zu reduzieren vermögen. Gleichzeitig verringern bestimmte Lebensmittelbestandteile wie Phytate oder Polyphenole, aber auch Sojaprotein, Milch- und Eiprotein sowie Phosphate und Oxalate die Resorptionsfähigkeit, durch Oxidation der Eisen-Ionen oder durch Ausfällung (Hahn et al., 2016). Wenngleich die Resorption von Eisen aus Fleisch und Fisch höher ausfällt, kann eine Zufuhr auch über Getreide, Gemüse, Hülsenfrüchte und Obst gelingen. Vor allem Quinoa, Soja(fleisch), Kürbiskerne und Spinat weisen verhältnismäßig hohe Eisenwerte auf (Tabelle 13) (Elmadfa et al., 2017).

Tabelle 13: Eisengehalte ausgewählter Lebensmittel nach (Elmadfa et al., 2017). Ein Eisengehalt > 10 mg/100 g gilt als hoch, ein Eisengehalt < 1 mg/100 g gilt als niedrig.

Lebensmittel	Eisengehalt [mg/100 g]	Lebensmittel	Eisengehalt [mg/100 g]
Quinoa	8,0	Erbsen (gekocht)	1,3
Vollkornnudeln	3,8	Pfirsich	6,5
Weißbrot	0,7	Kuhmilch	0,1
Sojafleisch (Textured Vegetable Protein)	11,0	Hühnerei	2,0
Linsen	8,0	Schweineleber	15,8
Tofu	5,4	Rindfleisch	2,2
Kürbiskerne	12,5	Huhn (gebraten)	1,8
Spinat (roh)	4,1	Schweinefleisch	1,0

In Deutschland erreichen ca. 75 % der gebärfähigen Frauen die für sie empfohlene Eisenzufuhr von 15 mg/d (10 mg/d für Männer und Frauen nach der Menopause) (DGE et al., 2019) nicht (MRI, 2008), weshalb Eisen als kritischer Nährstoff einzustufen ist (Leitzmann & Keller, 2020). Die Eisenzufuhr erwachsener Vegetarier:innen gleicht zumeist der Eisenzufuhr von Mischköstler:innen oder liegt gar darüber und kann für beide Gruppen als ausreichend betrachtet werden. Die Eisenzufuhr von Veganer:innen liegt zumeist über der Eisenzufuhr der zuvor genannten Gruppen (Clarys et al., 2014; Davey et al., 2003; Deriemaeker et al., 2011; Larsson & Johansson, 2002; Schüpbach et al., 2017). Neben der Eisenaufnahme muss zusätzlich der Eisenspeicher betrachtet werden, der bei Nicht-Vegetarier:innen und Vegetarier:innen bzw. Veganer:innen unterschiedlich ausfällt. Während Mischköstler:innen in westlichen Ländern durchschnittlich hohe Eisenspeicher (gemessen als Ferritin) aufweisen, liegt die Serumferritinkonzentration bei Vegetarier:innen und Veganer:innen lediglich im unteren Normbereich (Schüpbach et al., 2017). Insgesamt kann in den westlichen Industrieländern eine Eisenmangelversorgung bei Vegetarier:innen und Veganer:innen in den meisten Fällen ausgeschlossen werden.

Iod

Der Mangel an Iod ist nach Angaben der WHO eines der weltweit größten Gesundheitsprobleme, das vor allem Schwangere und Kleinkinder betrifft. In Europa gelten 45 % der Bevölkerung als Iodmangelversorgt (Zimmermann & Andersson, 2012). Die unter anderem für die Proteinbiosynthese und Gewebewachstum und Zellproliferation verantwortlichen Schilddrüsenhormone T_3 (Triiodthyronin) und T_4 (Thyroxin, Tetraiodthyronin) sind die im menschlichen Körper einzig vorkommenden Substanzen, die für ihre Synthese auf die Aufnahme von Iod angewiesen sind. Gleichzeitig geht ein Mangel an Iod aufgrund der essentiellen Aufgaben der Schilddrüsenhormone mit einer Vergrößerung der Schilddrüse sowie Müdigkeit, Konzentrationsschwäche und Kälteempfindlichkeit einher. Zusätzlich kann es bei spontanen Iodübersorgen im Falle einer durch vorherigen Iodmangel entstandene Schilddrüsenvergrößerung zur lebensgefährlichen Hyperthyreose kommen (Hahn et al., 2016). Die DGE empfiehlt eine Aufnahme von mindestens $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ Körpergewicht pro Tag, während die WHO eine Aufnahmemenge von $150 \mu\text{g}/\text{d}$ für Erwachsene empfiehlt (DGE et al., 2019; WHO, 2013). Nach Ergebnissen der DEGS1-Studie beträgt die mediane Iodzufuhr in Deutschland bei Männern $126 \mu\text{g}/\text{d}$ und bei Frauen $125 \mu\text{g}/\text{d}$ und liegt somit unter den vorgesehenen Referenzwerten der WHO (Mensink et al., 2016). Erhebungen aus dem europäischen Ausland zeigen allerdings auch, dass die Iodzufuhr von Mischköstler:innen zumeist signifikant über der Iodzufuhr von Vegetarier:innen und besonders Veganer:innen liegt. Letztere nehmen im Mittel bedenklich wenig Iod über die Nahrung auf (Abbildung 22) (Sobiecki et al., 2016).

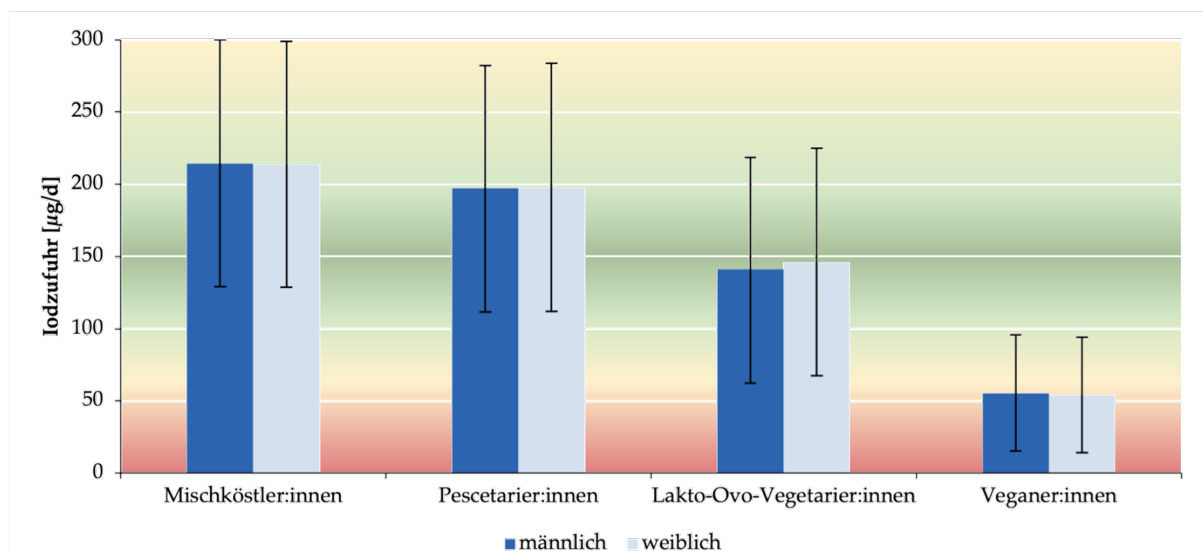


Abbildung 22: Iodzufuhr von Mischköstler:innen, Pescetarier:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen. Ab einer Iodzufuhr von $< 100 \mu\text{g}/\text{d}$ wird von einem leichten Iodmangel, ab $< 50 \mu\text{g}/\text{d}$ von einem moderaten Iodmangel gesprochen. Eine Iodzufuhr von $100\text{-}199 \mu\text{g}/\text{d}$ gilt als adäquat. Eigene Darstellung nach (WHO, 2013) und (Sobiecki et al., 2016).

Um dem generellen Iodmangel in der Bevölkerung zu begegnen, sollen Bürger:innen iodiertes Speisesalz konsumieren. Bei einem Konsum von etwa 5 g iodiertem Speisesalz wird eine Resorption von $75\text{-}125 \mu\text{g}$ Iod erwartet, sodass eine gute Regulation des Iodhaushaltes über den Verzehr iodierten

Speisesalzes möglich ist (Leitzmann & Keller, 2020). Da Fleisch- und Wurstprodukte herstellerseitig bereits mit iodiertem Speisesalz versehen werden und Fische hohe Iodgehalte aufweisen, sind Mischköstler:innen und Pescetarier:innen seltener von Iodmangelerscheinungen betroffen. Weitere Quellen für die Aufnahme von Iod sind Milch und Milchprodukte, die die stark unterschiedlichen Befunde zwischen Vegetarier:innen und Veganer:innen erklären (MRI, 2008). Um Mangelerscheinungen vorzubeugen, wird Veganer:innen empfohlen, Iod als Nahrungsergänzungsmittel zu supplementieren oder aber regelmäßig Algen und Algenprodukte zu verzehren, die mit bis zu 530.000 µg/100 g (Teas et al., 2004) außerordentliche hohe Iodgehalte aufweisen.

Calcium

Calcium ist der mengenmäßig wichtigste Mineralstoff, der bei gesunden Menschen ca. 1000–1400 g der Körpermasse ausmacht. In gebundener Form (als Hydroxylapatit) bildet Calcium die Hartschubstanz von Knochengewebe und Zähnen. Lediglich 1 % des Calciums befindet sich in gelöster oder komplexierter Form (Ca^{2+}) im Blut oder Zellplasma (Hahn et al., 2016). In dieser Form ist es an der Blutgerinnung, der neuromuskulären Erregung, als Cofaktor von Enzymen und bei der Hormonsezernierung beteiligt (Leitzmann & Keller, 2020). Calcium kommt vor allem in Milch und Milchprodukten (besonders Hartkäse) vor. Allerdings sind auch dunkle, grüne Gemüsearten wie Grünkohl, Brokkoli oder Spinat und einige Nussarten calciumreich. Daneben ist der recht hohe Calciumgehalt von Mineralwässern erwähnenswert (Elmadfa et al., 2017). Aufgrund der in Pflanzen oft vorhandenen Hemmstoffe ist die Resorption von Calcium aus pflanzlichen Produkten allerdings zumeist geringer als aus Milchprodukten, sodass etwa 40 % des Calciums in der deutschen Allgemeinbevölkerung aus Milchprodukten und 25 % aus alkoholfreien Getränken aufgenommen werden (MRI, 2008). Jugendliche und Erwachsene sollten ungefähr 1000–1200 mg/d Calcium über die Nahrung aufnehmen (DGE et al., 2019). Obwohl die durchschnittliche Zufuhr nach Daten der Nationalen Verzehrsstudie II bei Männern bei etwa 1050 mg/d und bei Frauen bei etwa 960 mg/d liegt, erreichen 46 % der Männer und 55 % der Frauen die empfohlenen Zufuhrmengen nicht (MRI, 2008). Calcium wird daher als kritischer Nährstoff gewertet. Während zwischen Mischköstler:innen und Vegetarier:innen kein nennenswerter Unterschied hinsichtlich der Calciumversorgung besteht, zeigen verschiedene Studien, dass die durchschnittliche Calciumzufuhr bei Veganer:innen deutlich geringer ausfällt (Tabelle 14) (Clarys et al., 2014; Rizzo et al., 2013; Schüpbach et al., 2017). Dies ist vor allem auf den Verzicht calciumreicher Milchprodukte und die oft in pflanzlichen Produkten enthaltenen Hemmstoffen wie Phytate und Oxalate, die Calcium-Ionen ausfällen und damit ihre Resorption verhindern, zurückzuführen (Leitzmann & Keller, 2020). Einzelne Studien zeigen, dass durch die geringe Versorgung mit Calcium bei Veganer:innen durchschnittlich geringere Knochenmineraldichten und damit ein erhöhtes Risiko für Osteoporose einhergehen (Smith, 2006). Wenngleich Mischköstler:innen ungefähr 40 % ihres Calciumbedarfes durch Milchprodukte decken, kann durch den Verzehr besonders calciumreicher pflanzlicher Produkte (z.B. Sesam und Grünkohl, aber auch Sojafleisch) dennoch eine ausreichende Calciumversorgung gewährleistet werden.

Tabelle 14: Durchschnittliche Calciumzufuhr bei Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen im Vergleich.

Land und Autoren	Durchschnittliche Zufuhr [mg/d]		
Richtwert (DGE et al., 2019)	1000–1200		
	MK ¹	LOV ²	V ³
Belgien (Clarys et al., 2014)	1199 ± 682	1465 ± 819	738 ± 456
Schweiz (Schüpbach et al., 2017)	1022 ± 330	1116 ± 434	817 ± 285
USA (Rizzo et al., 2013)	1072	1145	933

¹Mischköstler:innen, ²Lakto-Ovo-Vegetarier:innen, ³Veganer:innen

Zink

Zink ist ein Spurenelement, das nach Eisen den größten Massenanteil der Spurenelemente im menschlichen Körper aufweist und als Cofaktor in ionischer Form an der Katalyse von mehr als 300 Reaktionen beteiligt ist (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Zink-Ionen kommen vor allem in Innereien, Käse, Fleisch, Schalentieren und Eiern, aber auch in Vollkorngetreide, Hülsenfrüchten, Ölsamen und Nüssen vor (Elmadfa et al., 2017). Die Resorptionsfähigkeit von Zink ist aus pflanzlichen Produkten allerdings zumeist geringer als aus tierischen, was auf die Anwesenheit von Phytaten in pflanzlichen Produkten zurückzuführen ist (Hahn et al., 2016). Die DGE empfiehlt bei Mischköstler:innen (moderate Phytatzufuhr) eine Zinkzufuhr von 14 mg/d (Männer) bzw. 8 mg/d (Frauen). Vegetarier:innen und Veganer:innen (hohe Phytatzufuhr) werden Zufuhrmengen von 16 mg/d (Männer) bzw. 10 mg/d (Frauen)

empfohlen (DGE et al., 2019). Ein leichter bis mittelgradiger Zinkmangel kann aufgrund der zahlreichen Funktionen von Zink im menschlichen Körper verschiedene Symptome hervorrufen. Dazu zählen beispielsweise eine geschwächte Immunfunktion, Haarausfall, Dermatitis, verzögerte Wundheilung und eine langsamere Proteinbiosynthese. Ein starker Zinkmangel ist in Industrienationen nicht zu beobachten (Hahn et al., 2016). In Deutschland erreichen etwa 32 % der Männer und 21 % der Frauen nicht den von der DGE empfohlenen Richtwert (MRI, 2008). Zumeist ist die Zinkzufuhr von Vegetarier:innen leicht geringer als die Zinkzufuhr von Mischköstler:innen, allerdings jeweils unter den empfohlenen Richtwerten der DGE (Davey et al., 2003; Sobiecki et al., 2016). In einer Studie von Ball und Ackland zeigen männliche Veganer eine noch geringere Zinkzufuhr, für Veganerinnen wurde kein Wert erhoben (Abbildung 23) (Ball & Ackland, 2000). Diese Werte werden in anderen Studien bestätigt (Larsson & Johansson, 2002; Sobiecki et al., 2016). Eine Meta-Analyse aus dem Jahr 2013 zeigte ebenfalls, dass ein signifikant geringerer Serumstatus (Blutzingehalt) für Veganer:innen, nicht allerdings für Vegetarier:innen vorliegt (Foster et al., 2013)

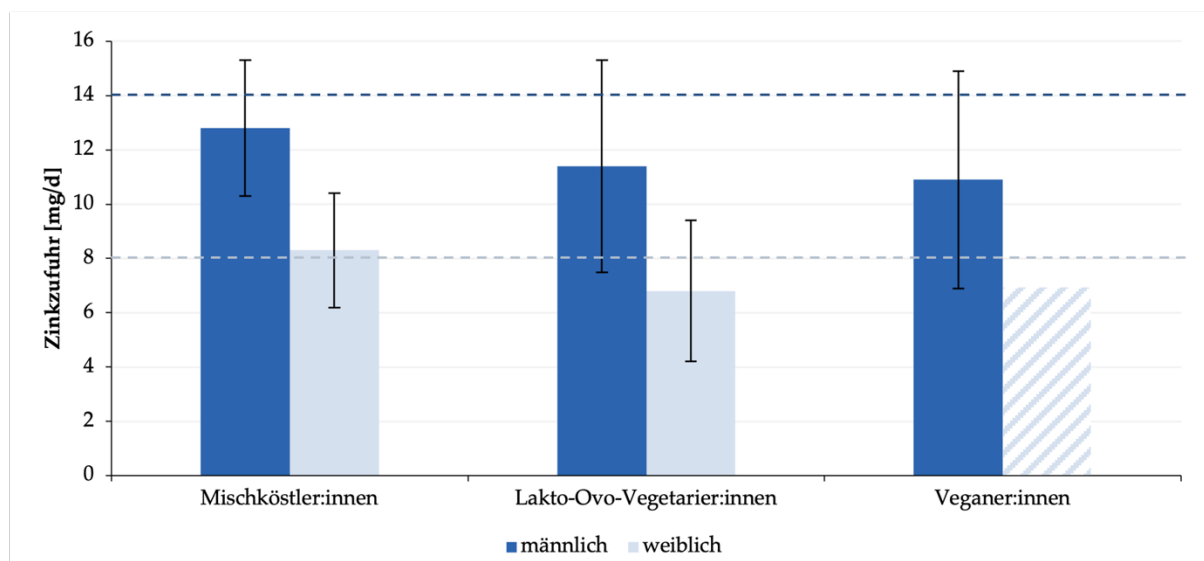


Abbildung 23: Zinkzufuhr von Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganern. Für Veganerinnen liegen keine Daten vor. Die dunkle gestrichelte Linie markiert den von der DGE empfohlenen Richtwert für Männer mit einer moderaten Phytatzufuhr, die helle gestrichelte Linie markiert den von der DGE empfohlenen Richtwert für Frauen mit einer moderaten Phytatzufuhr. Eigene Darstellung nach (Ball & Ackland, 2000) und (DGE et al., 2019).

Insgesamt zeigt sich bei Vegetarier:innen im Vergleich zu Mischköstler:innen keine wesentlich geringere Zinkzufuhr. Die für beide Gruppen festgestellten leichten Zinkunterversorgungen stellen vermutlich kein gesundheitliches Risiko dar. Veganer:innen sollten allerdings auf eine ausreichende Zinkzufuhr achten (Leitzmann & Keller, 2020).

Vitamin B₁₂ (Cobalamin)

Vitamin B₁₂ gilt als hochkritisches Vitamin bei veganer Ernährung, da Cobalamin nicht von Pflanzen gebildet werden können (Leitzmann & Keller, 2020). Die beiden im Körper wirksamen Vitamine der Gruppe sind Adenosylcobalamin und Methylcobalamin. Bei Vitamin B₁₂ handelt es sich um den einzigen bekannten Nährstoff, der Cobalt als Cofaktor enthält (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Das Vitamin wird für zwei essentielle Stoffwechselfunktionen, die Remethylierung von Homocystein zu Methionin und die Regeneration von Tetrahydrofolat aus 5-Methyl-Tetrahydrofolat, benötigt (Berg et al., 2018). Die Synthese von Cobalaminen findet im Magen-Darm-Trakt von Wiederkäuern und anderen Tieren durch Mikroorganismen statt, sodass dieses in hohen Mengen in Innereien, Fisch und Fleisch enthalten ist. Rinderleber und Schweineleber weisen mit 65 µg/100 g bzw. 39 µg/100 g sehr hohe Gehalte auf, während Rindfleisch und verschiedene Käsesorten mit 5,0 µg/100 g bzw. 1–3 µg/100 g moderate Gehalte aufweisen. Andere Milchprodukte wie Kuhmilch, Joghurt oder Sahne enthalten mit bis zu 0,4 µg/100 g geringe Gehalte an Cobalaminen (Elmadfa et al., 2017). In Abhängigkeit des Alters ändert sich der Richtwert der Vitamin-B₁₂-Zufuhr. Die DGE empfiehlt eine Zufuhr von 4,0 µg/d für Erwachsene (DGE et al., 2019). Aufgrund der sinkenden Resorptionsfähigkeit des Gastrointestinaltraktes älterer Menschen können die Bedarfe allerdings mit steigendem Alter noch höher ausfallen (Leitzmann &

Keller, 2020). Um die Versorgung mit Vitamin B₁₂ erheben zu können, ist eine Untersuchung des Versorgungszustandes sinnvoller als eine Betrachtung der Zufuhrmenge. Dieser Versorgungszustand zeigt in verschiedenen Studien eine erhebliche Minderversorgung mit Vitamin B₁₂ für einige Vegetarier:innen, aber vor allem für Veganer:innen (Elmadfa & Singer, 2009; Krajcovicova-Kudlackova et al., 2000; Majchrzak et al., 2006). In der EPIC-Oxford-Studie (N = 689) zeigten lediglich 0,5 % der Mischköstler:innen, aber 17 % der Vegetarier:innen und 52 % der Veganer:innen Vitamin-B₁₂-Serumwerte unterhalb des Normbereichs von 118 pmol/L (Gilsing et al., 2010). In einer weiteren Studie mit deutschen und niederländischen Vegetarier:innen von Herrmann et al. wurde die Mangelversorgung anhand des Holo-transcobalamin-Spiegels (HoloTC) und des Methylmalonylsäure-Spiegels (MMA) in vier Stufen (normal und Mangelstufe I–III) eingeteilt. Dabei zeigten 83 % der Veganer:innen einen schweren Vitamin-B₁₂-Mangel der Stufe III (Tabelle 15) (Herrmann et al., 2003).

Tabelle 15: Vitamin-B₁₂-Status bei Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen nach (Herrmann et al., 2003).

Ernährungsform	Vitamin-B ₁₂ -Status		
	Normal ¹	Stufe I und II ²	Stufe III ³
Mischköstler:innen	86 %	11 %	3 %
Lakto-Ovo-Vegetarier:innen	12 %	23 %	65 %
Veganer:innen	8 %	8 %	83 %

¹HoloTC ≥ 35 pmol/L, MMA ≤ 271 nmol/L, ²HoloTC < 35 pmol/L, ³HoloTC < 35 pmol/L, MMA > 271 nmol/L

Ein Vitamin-B₁₂-Mangel führt, im Gegensatz zu anderen Nährstoffmängeln, nicht zu unmittelbaren gesundheitlichen Risiken, sofern die körpereigenen Speicher ausreichend gefüllt sind. Bei längeren Unterversorgungen kommt es allerdings zu schwerwiegenden kardiovaskulären Störungen (makrozytäre hyperchrome Anämie) und besonders schwerwiegenden neurologischen Schäden (funikuläre Myelose), die langfristig potentiell lebensbedrohlich sind (Leitzmann & Keller, 2020).

Da Cobalamine ausschließlich in tierischen Produkten vorkommen, kann ein Mangel bei Veganer:innen nicht über die gewöhnliche Nahrung gedeckt werden. Veganer:innen sollten daher Vitamin-B₁₂-haltige Supplemente (Nahrungsergänzungsmittel) und/oder künstlich angereicherte Lebensmittel zu sich nehmen, um kardiovaskuläre und irreversible neurologische Schäden zu vermeiden. Da auch Vegetarier:innen oft von einem Vitamin-B₁₂-Mangel betroffen sind, sollten auch diese eine Supplementierung in Erwägung ziehen. Für beide Gruppen gilt es, den Vitamin-B₁₂-Status jährlich ärztlich zu erheben, um eine Unterversorgung frühzeitig zu bemerken (DGE et al., 2019; Leitzmann & Keller, 2020).

Vitamin B₂ (Riboflavin)

Riboflavin ist eine Vorstufe bzw. ein Bestandteil von Flavinadeninucleotid (FAD) und Flavinmononucleotid (FMN), die als Cofaktoren zahlreicher wasserstoffübertragender Enzyme und somit auch in der Atmungskette tätig sind. Die Hauptaufgabe dieser Cofaktoren ist somit die Partizipation an der Energiegewinnung des Organismus (Vilgis, 2022). Riboflavin kommt in zahlreichen sowohl tierischen als auch pflanzlichen Lebensmitteln vor, besonders in Fleisch und Milchprodukten. Besonders hohe Gehalte finden sich in Schweineleber und Kalbsniere, moderate Gehalte in Camembert, Mandeln, Champignons und Hühnereiern. Reis, Tofu und Weizenmehl zeigen nur sehr geringe Riboflavin-Gehalte (Elmadfa et al., 2017). Die DGE empfiehlt eine Riboflavin-Aufnahme von 1,6 mg/d für Männer und 1,1 mg/d für Frauen (DGE et al., 2019). Eine zu geringe Riboflavin-Zufuhr zeigt sich vor allem in entzündlichen Veränderungen an Haut und Schleimhäuten sowie einem erhöhten Brustkrebsrisiko (Leitzmann & Keller, 2020). Ein Großteil der deutschen Bevölkerung überschreitet den empfohlenen Richtwert der Riboflavin-Zufuhr deutlich. Zeitgleich erreichen ungefähr 20 % der Männer und 26 % der Frauen den Richtwert nicht (MRI, 2008). Im Durchschnitt überschreiten sowohl Mischköstler:innen (1,5–2,5 mg/d) als auch Vegetarier:innen (1,5–2,4 mg/d) den Richtwert für die Riboflavin-Zufuhr (Davey et al., 2003; Majchrzak et al., 2006; Schüpbach et al., 2017; Sobiecki et al., 2016). Während die EPIC-Oxford-Studie auch für Veganer:innen eine ähnliche Riboflavin-Zufuhr ermittelt (Davey et al., 2003), ermittelt die Deutsche Vegan-Studie für 48 % der Veganer:innen eine Zufuhr unterhalb des Riboflavin-Richtwertes (Waldmann et al., 2003). Untersuchungen aus anderen Ländern stützen die Ergebnisse der Deutschen Vegan-Studie (Larsson & Johansson, 2002; Sobiecki et al., 2016). Veganer:innen sollten daher die Vitamin-B₂-Zufuhr überwachen und gegebenenfalls durch geeignete Lebensmittel oder Supplemente erhöhen (Leitzmann & Keller, 2020).

Vitamin D₃ (Cholecalciferol)

Die Vitamine der Gruppe D werden im Gegensatz zu allen anderen Vitaminen durch Sonneneinstrahlung von Pflanzen und Tieren synthetisiert, weshalb sie strenggenommen nicht als Vitamine bezeichnet werden dürften (Berg et al., 2018). Vitamin D₂ (Ergocalciferol) wird in Pflanzen, Vitamin D₃ (Cholecalciferol) in der Haut von Wirbeltieren gebildet. Aus beiden Vitaminen bildet sich wiederum in der Leber und Niere von Tieren die aktive Form des Vitamin D, Calcitriol (Leitzmann & Keller, 2020). Die Hauptaufgabe von Calcitriol ist die Regulation des Calcium- und Phosphathaushaltes, indem es sowohl die Freisetzung von Calcium aus dem Knochen als auch die Resorption von Calcium aus der Nahrung ermöglicht und steuert. Es stimuliert darüber hinaus knochenbildende Zellen (Osteoblasten) und ist somit aktiv auch am Knochenaufbau beteiligt. Ein Mangel an Vitamin D führt zur als Rachitis bekannten Krankheit, die sich in der Fehlbildung des Skeletts durch Mineralisierungsstörungen zeigt (Holick, 2006). Da Vitamin D ebenfalls an der Proliferation und Differenzierung von Immunzellen beteiligt ist, beeinflusst es das menschliche Immunsystem (Elmadfa & Leitzmann, 2019; Hahn et al., 2016). Vitamin D kommt nur in wenigen Lebensmitteln, besonders allerdings in fettreichen Fischarten vor. So haben Hering (25,0 µg/100 g) und Aal (20,0 µg/100 g) recht hohe Vitamin-D-Gehalte. Milchprodukte zeigen zumeist moderate oder geringe Gehalte (0,1–3,1 µg/100 g), pflanzliche Produkte weisen nur selten signifikante Gehalte auf (z.B. Steinpilze, 3,1 µg/100 g) (Elmadfa et al., 2017). Zum Teil werden Lebensmittel mit Vitamin D angereichert, was in Deutschland allerdings nur Margarine betrifft (BfR, 2014). Da Vitamin D durch Sonneneinstrahlung gebildet wird, sollte eine ausreichende Versorgung endogen gegeben sein. Da besonders in westlichen Ländern die Exposition gegenüber Sonneneinstrahlung allerdings immer geringer wird, ist eine ausreichende Versorgung besonders in Wintermonaten nicht immer gegeben (Hahn et al., 2016). Um eine ausreichende Versorgung zu erreichen, kann bei fehlender endogener Synthese Vitamin D über die Nahrung zugeführt werden. Die DGE empfiehlt eine Aufnahme von 20 µg/d. Zur Rachitis-Vorsorge sollten Säuglinge Vitamin-D-angereicherte Milchnahrung mit 10 µg/L zu sich nehmen (DGE et al., 2019). Nach Angaben der Nationalen Verzehrsstudie II liegt die durchschnittliche, nicht-supplementierte, Vitamin-D-Zufuhr bei Männern 3,8 µg/d und bei Frauen 2,9 µg/d. Hauptquellen sind Fisch und Krustentiere, sowie Fette, Eier und Milchprodukte. Vegetarier:innen, aber besonders Veganer:innen erreichen die empfohlenen Richtwerte der Vitamin-D-Zufuhr nicht, wie verschiedene Erhebungen zeigen. Dies gilt allerdings bedingt auch für Mischköstler:innen (Barr & Broughton, 2000; Davey et al., 2003; Kristensen et al., 2015; Sobiecki et al., 2016). Eine Studie aus Deutschland bestätigt die zu geringe Vitamin-D-Zufuhr für alle Ernährungstypen, besonders aber für Veganer:innen (Abbildung 24) (Weikert et al., 2020).

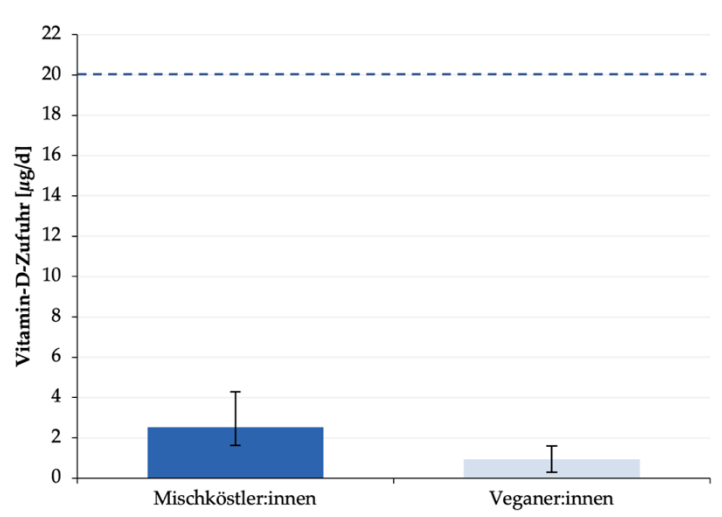


Abbildung 24: Vitamin-D-Zufuhr von Mischköstler:innen und Veganer:innen. Die gestrichelte Linie markiert den von der DGE empfohlenen Richtwert für die Vitamin-D-Zufuhr. Eigene Darstellung nach (Weikert et al., 2020) und (DGE et al., 2019).

Da Vitamin D allerdings endogen gebildet werden kann, ist eine ausschließliche Betrachtung der Zufuhr über die Ernährung nicht ausreichend. Die hauptsächlich für den Vitamin-D-Spiegel im Blut verantwortlichen Faktoren sind neben der Zufuhr von Supplementen der Grad der Hautpigmentierung und die Sonnenexposition (Chan et al., 2009). Dennoch zeigt beispielsweise die EPIC-Oxford-Studie auf,

dass auch in Bezug auf den Serumspiegel vor allem in Wintermonaten in westlichen Ländern Vegetarier:innen und Veganer:innen Vitamin-D-Gehalte unterhalb des Normbereiches aufweisen, während Mischköstler:innen durchschnittlich den unteren Normbereich erreichen (Crowe et al., 2011). Der Gesundheitszustand von Menschen wird maßgeblich durch ihre Versorgung mit Vitamin D mitbestimmt. Unabhängig vom Ernährungsverhalten sind daher tägliche Aufenthalte im Freien empfohlen. Gruppen, die von einer Unterversorgung mit Vitamin D betroffen sind, sollten darüber hinaus angereicherte Lebensmittel und/oder Supplemente konsumieren (Leitzmann & Keller, 2020).

Protein

Wie bereits in Kapitel 3.2.1 beschrieben, gehören Proteine zu den Makronährstoffen und sind an zahlreichen Prozessen im Körper beteiligt. Die DGE empfiehlt eine Aufnahme von 0,8 g/kg Körpergewicht pro Tag, um den Proteinbedarf sicher zu decken (DGE et al., 2019). Da pflanzliche Proteine schlechter als tierische Proteine aufgeschlossen werden können, wird über einen Referenzwert von 1,0 g/kg Körpergewicht bei einer ausschließlich pflanzlichen Ernährung diskutiert (Kniskern & Johnston, 2011). In Industrieländern ist ein quantitativer Proteinmangel äußerst selten, gelegentlich kommt es zu einem qualitativen Mangel bestimmter essentieller Aminosäuren (Semba, 2016). Aufgrund der zahlreichen Funktionen von Proteinen im menschlichen Körper, führen sowohl ein quantitativer als auch ein qualitativer Proteinmangel zu vielfältigen Symptomen und Krankheitsbildern (Leitzmann & Keller, 2020). Die Proteinzufuhr von Vegetarier:innen liegt meist unter der Proteinzufuhr von Mischköstler:innen, wenngleich beide Gruppen den Referenzwert überschreiten. Clarys et al. zeigten, dass die durchschnittliche Proteinzufuhr bei Mischköstler:innen bei 112 g/d, bei Vegetarier:innen bei 93 g/d liegt (Clarys et al., 2014). Bei Veganer:innen liegt die Proteinzufuhr unter den Werten der beiden zuvor genannten Gruppen. In einer Studie aus den Vereinigten Staaten lagen die Zufuhren bei 75 g/d (Männer) bzw. 52 g/d (Frauen) und damit ebenfalls im Normbereich (Haddad et al., 1999). Im Gegensatz dazu zeigt die Deutsche Vegan Studie, dass ca. 31 % der Männer und 41 % der Frauen die Referenzwerte für die Proteinzufuhr nicht erreichen (Waldmann et al., 2003). Neuere Erhebungen zeigen aber eine weitestgehend ausreichende Deckung des Proteinbedarfs auch für Veganer:innen (Kristensen et al., 2015; Schüpbach et al., 2017; Sobiecki et al., 2016). Um eine ausreichende Proteinqualität zu erreichen, sollten Veganer:innen darauf achten, verschiedene Proteinquellen zu konsumieren, um so alle essentiellen Aminosäuren in ausreichender Menge verfügbar zu machen (Leitzmann & Keller, 2020).

ω-3-Fettsäuren (Omega-3-Fettsäuren)

Omega-3-Fettsäuren gehören zu den ungesättigten Fettsäuren, da sie mindestens eine Doppelbindung am drittletzten Kohlenstoff-Atom tragen. Da die wichtigsten Omega-3-Fettsäuren mehr als eine Doppelbindung aufweisen, werden sie zu den mehrfach ungesättigten Fettsäuren (PUFA) gezählt (Berg et al., 2018). Von besonderer Bedeutung für den menschlichen Organismus sind die Omega-6-Fettsäure Linolsäure (Lipidname 18:2n-6) und die Omega-3-Fettsäure Linolensäure (18:3n-3, ALA), die nicht endogen hergestellt werden können, sondern über die Ernährung aufgenommen werden müssen (Leitzmann & Keller, 2020). Die wichtigsten essentiellen PUFA und MUFA (einfach ungesättigte Fettsäuren) sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Tabelle 16: Übersicht wichtiger ungesättigter Fettsäuren nach (Leitzmann & Keller, 2020).

Art	Name	Kettenlänge	Anzahl Doppelbindungen	Lipidname
ω-9-Fettsäuren	Ölsäure	18	1	18:1n-9
	Linolsäure	18	2	18:2n-6
ω-6-Fettsäuren	Arachidonsäure	20	4	20:4n-6
	α-Linolensäure (ALA)	18	3	18:3n-3
ω-3-Fettsäuren	Eicosapentaensäure (EPA)	20	5	20:5n-3
	Docosahexaensäure (DHA)	22	6	22:6n-3

PUFA übernehmen zahlreiche Aufgaben im menschlichen Körper und sind beispielsweise integraler Bestandteil der Zellmembranen. Darüber hinaus sind sie unter anderem an der Gehirnentwicklung von Föten (DHA) oder am Sehprozess des menschlichen Auges beteiligt (DHA und Arachidonsäure). EPA ist an der Bildung von Eicosanoiden beteiligt, die als hormonähnliche Substanzen wirken und an Immunprozessen beteiligt sind. Eicosanoide wirken darüber hinaus gefäßerweiternd und

antithrombotisch und gelten aus diesem Grund als Präventiva für kardiovaskuläre Erkrankungen. (Leitzmann & Keller, 2020).

Linolsäure und ALA kommen ausschließlich in pflanzlichen Lebensmitteln, vor allem in pflanzlichen Ölen und Nüssen vor. Arachidonsäure wiederum ist vor allem in Innereien, tierischem Fett, Fischöl und Eigelb enthalten. Da EPA und DHA vor allem in Algen vorkommen, die von aquatischen Organismen verzehrt werden, reichern sich diese in der aquatischen Nahrungskette an und finden sich besonders in fettreichen Kaltwasserfischen (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Das Verhältnis zwischen Linolsäure und ALA sollte bei einer optimalen Ernährung 5:1 betragen und insgesamt 3 % der täglichen zugeführten Nahrungsenergie ausmachen (DGE et al., 2019). Dieses Verhältnis wird auch als Omega-6-zu-Omega-3-Fettsäure-Verhältnis bezeichnet. Für andere ungesättigte Fettsäuren gibt die DGE keine Richtwerte vor. Die European Food Safety Authority empfiehlt eine kombinierte Zufuhr von EPA und DHA von 250 mg/d (EFSA Panel on Dietetic Products & Allergies, 2012). Die Gesamtzufuhr an Omega-3-Fettsäuren liegt bei Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen mit 1–3 g/d näherungsweise gleich, Mischköstler:innen, die viel Fisch verzehren weisen höhere Werte auf (Rizzo et al., 2013). Erwähnenswert ist, dass alle Ernährungsformen das empfohlene Omega-6-zu-Omega-3-Fettsäure-Verhältnis überschreiten: Mischköstler:innen zeigen ein Verhältnis von 9:1, bei Vegetarier:innen liegt das Verhältnis bei 13:1 und bei Veganer:innen bei 19:1 (Mann et al., 2006). Ein Unterschied zeigt sich auch bei langkettigen Fettsäuren (EPA und DHA), die in vegetarischer und veganer Nahrung nahezu nicht vorkommen. Welch et al. ermittelten anhand von Daten der EPIC-Norfolk-Studie ($N = 4902$) im Jahr 2010 die Aufnahme und Plasmakonzentration von EPA und DHA bei Pescetarier:innen, Mischköstler:innen, die auf Fisch verzichten, Vegetarier:innen und Veganer:innen (Abbildung 25) (Welch et al., 2010).

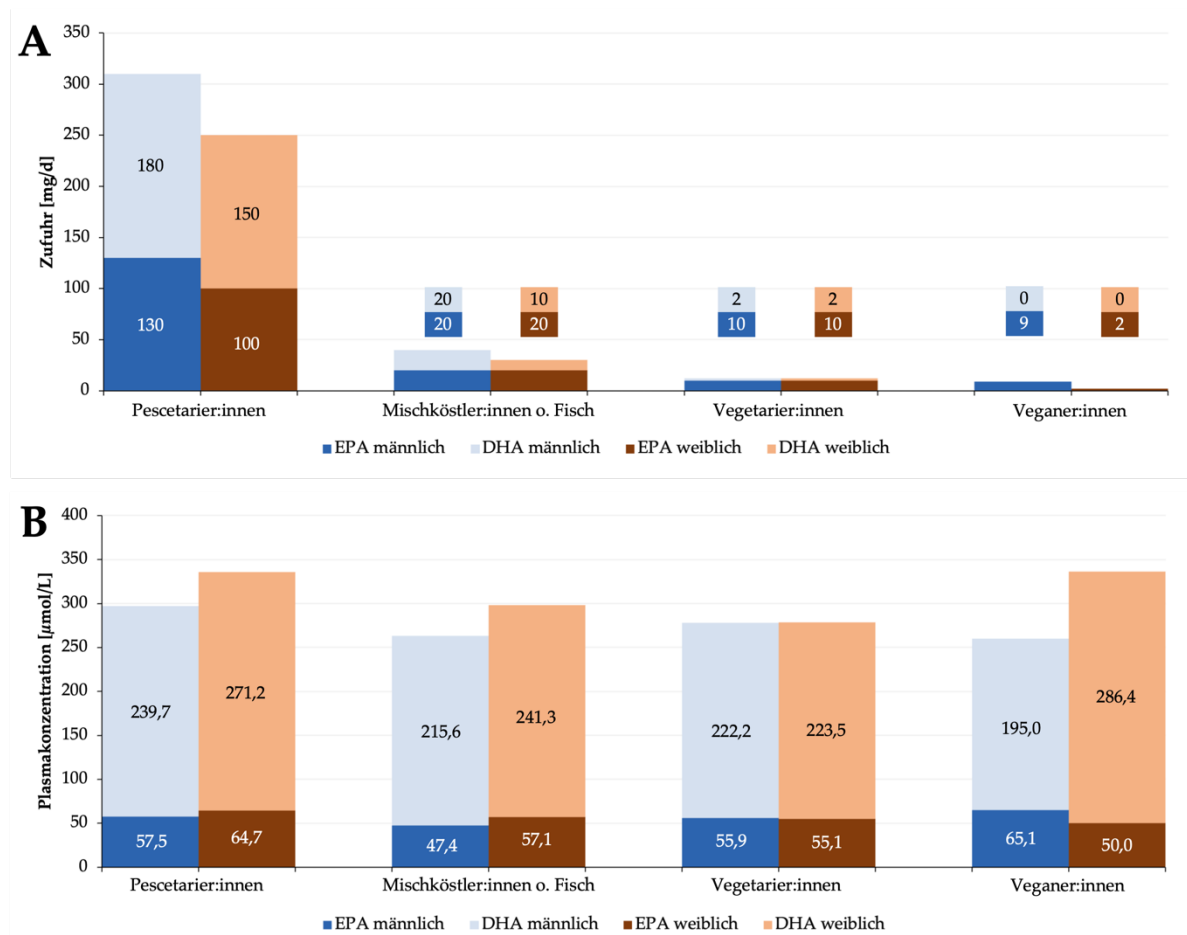


Abbildung 25: Zufuhr (A) und Plasmakonzentration (B) von EPA und DHA bei Pescetarier:innen, Mischköstler:innen, die auf Fleisch verzichten, Vegetarier:innen und Veganer:innen der EPIC-Norfolk-Studie. Eigene Darstellung nach (Welch et al., 2010).

Pescetarier:innen und Mischköstler:innen, die auf Fisch verzichten nehmen entsprechend dieser Daten deutlich höhere Mengen an langkettigen Fettsäuren zu sich als Vegetarier:innen und Veganer:innen. Die leicht höheren Zufuhren von Vegetarier:innen im Vergleich zu Veganer:innen sind auf Streichfette

und Milchprodukte (EPA) sowie auf Eier und milchproduktthaltige Soßen zurückzuführen. Trotz der deutlich geringeren Zufuhren bei Vegetarier:innen und Veganer:innen unterscheiden sich die Plasmakonzentrationen von EPA und DHA bei allen Ernährungstypen kaum (Welch et al., 2010). Andere Studien stellen hingegen geringere EPA- und DHA-Plasmaspiegel fest (Elorinne et al., 2016; Kornsteiner et al., 2008; Li et al., 1999; Sanders, 2009). Ein geringer EPA- und DHA-Plasmaspiegel können ein Risikofaktor für neurologische und entzündliche Erkrankungen sein. Ob der bei Vegetarier:innen und Veganer:innen eventuell geringere Plasmaspiegel ein gesundheitliches Risiko darstellt, ist bislang unklar. Vegetarier:innen sollten dennoch eine Supplementierung DHA-haltiger Präparate in Erwägung ziehen (Leitzmann & Keller, 2020). Eine Supplementierung sollte allerdings nur unter gleichzeitiger Überwachung des Tocopherol-Spiegels (Vitamin E) geschehen, da bei unzureichender Vitamin-E-Abdeckung und überhöhter Zufuhr langkettiger Fettsäuren, die Leistung des Immunsystems beeinträchtigt und die Gefahr von Blutungen erhöht werden sowie Lipidoxidationsprodukte, die durch fehlendes Tocopherol auftreten können, Membranen und Zellen schädigen können. Pro Gramm Fettsäure sollten daher 0,4 mg Tocopherol-Äquivalent über die Nahrung aufgenommen werden (DGE et al., 2019). Außerdem sollten Vegetarier:innen und Veganer:innen den Anteil von ALA gegenüber Linolsäure in ihrer Nahrung, beispielsweise durch den vermehrten Konsum von Leinöl, Rapsöl und Walnüssen, optimieren (Leitzmann & Keller, 2020). Insgesamt kann die Abdeckung mit Omega-3-Fettsäuren für Vegetarier:innen und Veganer:innen allerdings als suffizient betrachtet werden.

Healthy Eating Index

Der Healthy Eating Index (HEI) ist eine Normierung für eine gesunde oder ungesunde Ernährung. Im HEI wird verschiedenen Bestandteilen von Nahrungsmitteln ein bestimmter Wert zugewiesen, anhand dessen für die eigene Ernährung oder auch für bestimmte Nahrungsmittel ein konkreter HEI-Score ermittelt werden kann. Dabei entspricht ein HEI-Score von 100 einer komplett gesunden, ein HEI-Score von 0 einer komplett ungesunden Ernährung. Der aktuell für die Bewertung von Nahrung und Ernährungsweisen verwendete HEI wurde zuletzt im Jahr 2015 überarbeitet und wird daher auch als HEI-2015 bezeichnet. Die im HEI vergebenen Punkte werden auf einzelne Lebensmittelkomponenten und Inhaltsstoffe gerechnet, die entsprechend ihrem Einfluss auf die menschliche Gesundheit differenziert gewichtet werden. Positiv für die Ermittlung des HEI-Scores werden der Konsum von Früchten insgesamt, Obst, Gemüse insgesamt, Leguminosen, Vollkornprodukten, Milchprodukten sowie der Gesamtproteingehalt und der Proteingehalt aus Meerestieren und Pflanzen berücksichtigt. Negativ werden der Konsum von raffiniertem Getreide, Natrium-Ionen, künstlich hinzugefügtem Zucker und gesättigten Fettsäuren bewertet. Für jede Kategorie werden zwei Referenzwerte ermittelt und festgelegt: Ein negativer Referenzwert, ab dessen Überschreitung oder Unterschreitung 0 Punkte für diese Kategorie vergeben werden und ein positiver Referenzwert, ab dessen Überschreitung oder Unterschreitung die gewichtete Maximalpunktzahl (5 oder 10 Punkte) vergeben werden. (Krebs-Smith et al., 2018)

Die Ermittlung des HEI-2015 ähnelt der Ermittlung des HEI-2010. Einer der wenigen Unterschiede liegt in der Berücksichtigung leerer Kalorien anstelle künstlich hinzugefügter Zucker. Als leere Kalorien werden Kalorien durch künstlich hinzugefügte Zucker, feste Fette und Alkohol bezeichnet (Guenther et al., 2013). Clarys et al. haben HEI-2010-Scores für verschiedene Ernährungstypen ermittelt und somit eine fleischbasierte (omnivore), eine pescetarische, semi-vegetarische, vegetarische und vegane Ernährungsweise hinsichtlich der gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper verglichen. Es zeigt sich, dass eine vegane Ernährung mit einem HEI-2010-Score von 65,4 durchschnittlich als gesünder als eine vegetarische (HEI-2010-Score: 58,7) oder eine fleischbasierte (HEI-2010-Score: 54,2) Ernährung anzusehen ist (Tabelle 17). (Clarys et al., 2014)

Eine Kritik am HEI ist, dass dieser nur einige Faktoren für eine gesunde Ernährung abbilden würde und dabei beispielsweise durch die Ernährung verursachte Krankheitsbilder wie Vitaminmängel oder Krebserkrankungen nicht erfassen könne (McCullough et al., 2002). Dennoch zeigt sich, dass der HEI ein näherungsweise gutes Maß für eine gesunde oder ungesunde Ernährung ist, da mit den aufgeführten Komponenten das Risikoverhalten für den Konsum potentieller gesundheitsschädlicher Substanzen implizit abgedeckt wird. Dies eignet sich im Besonderen für die Betrachtung großer Gruppen, bei denen im Mittel genauere Tendenzen für Risikoverhalten festgestellt werden können (Clarys et al., 2014; Guenther et al., 2013; Krebs-Smith et al., 2018). Für die Analyse der Ernährung von Individuen können weitere Indizes herangezogen werden, die zumeist vom HEI abstammen (Drescher et al., 2007; Täger et al., 2015). Der HEI kann darüber hinaus auch als Faktor für generelle Gesundheitsrisiken unabhängig

der Ernährung herangezogen werden, da eine hohe Korrelation zwischen einem niedrigen HEI und Risikofaktoren wie Rauchen und geringer sportlicher Aktivität bestehen (Reedy et al., 2018).

Tabelle 17: Durchschnittliche HEI-2010-Scores für vegane, vegetarische, semi-vegetarische, pescetarische und omnivore Ernährungsweise nach (Guenther et al., 2013) und (Clarys et al., 2014). [+] bezeichnet im Sinne des HEI positiv bewertete, [-] negativ bewertete Komponenten. Die HEI-2010-Scores wurden für [-]-Komponenten invertiert, sodass eine Summenbildung möglich ist.

Komponente	HEI-2010 _{max}	Vegan	Vegetarisch	Semi-vegetarisch	Pescetarisch	Omnivor
Früchte (insgesamt) [+]	5	4,5	4,1	3,9	4,1	3,2
Ganzes Obst [+]	5	4,5	4,1	4,1	4,1	3,5
Gemüse (insgesamt) [+]	5	4,8	4,8	4,8	4,8	4,6
Leguminosen [+]	5	4,8	4,6	4,4	4,5	3,6
Vollkorn [+]	10	7,0	7,6	7,9	7,3	6,8
Milchprodukte [+]	10	0,0	2,8	3,2	3,0	3,0
Protein (insgesamt) [+]	5	4,0	3,2	3,4	2,9	4,4
Protein aus Meeresfrüchten und Pflanzen [+]	5	4,6	3,5	3,8	4,3	2,9
Fettsäuren [+]	10	7,5	2,2	1,6	1,8	1,6
Raffiniertes Getreide [-]	10	5,5	7,1	4,5	7,2	8,5
Natrium [-]	10	9,8	8,7	8,0	8,5	6,8
Leere Kalorien [-]	20	8,5	6,0	6,9	6,4	5,7
HEI-2010-Score	100	65,4	58,7	59,4	58,7	54,2

Zusammenfassung

Um die gesundheitlichen Aspekte konventioneller, vegetarischer und veganer Ernährung zu bewerten, müssen zahlreiche Faktoren betrachtet werden. Übersichtshalber werden die verschiedenen in diesem Kapitel betrachteten Inhaltsstoffe tabellarisch aufgelistet und mit einem Wert versehen. Die Übersicht ist Tabelle 18 zu entnehmen. Dabei werden im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung sich positiv auf die Gesundheit auswirkende Faktoren mit „++“ und „+“ bewertet, durchschnittliche Faktoren mit „o“ und sich negativ auswirkende Faktoren mit „-“ und „--“. Die Tabelle berücksichtigt nicht die Gewichtung verschiedener physiologischer Faktoren oder mögliche Korrelationen zwischen den verschiedenen Faktoren. Aus diesem Grund soll die Tabelle keine berechnende Bewertung der Ernährungsformen, sondern vielmehr eine Übersicht über relevante Aspekte verschiedener Ernährungsformen darstellen.

Tabelle 18: Übersicht verschiedener physiologischer Faktoren zur gesundheitlichen Bewertung der Ernährung von Mischköstler:innen, Vegetarier:innen und Veganer:innen.

Physiologischer Faktor	Mischköstler:innen	Vegetarier:innen	Veganer:innen
Brennwert	--	-	o
Relation der Hauptnährstoffe	--	-	o
Faktoren für kardiovaskuläre Erkrankungen	--	+	++
Karzinogene	--	+	++
Eisen	+	o	o
Iod	+	o	-
Calcium	+	+	-
Zink	+	+	o
Vitamin B ₂	-	-	-
Vitamin B ₁₂	+	-	--
Vitamin D ₃	-	--	--
Protein	-	+	o
PUFAs	-	+	+
ω-3-Fettsäuren	+	-	--
HEI-2010-Score	--	o	++

Insgesamt zeigt sich, dass eine vegetarische und eine vegane Ernährung besonders im Hinblick auf Erkrankungen, die durch den übermäßigen Konsum von Makronährstoffen ausgelöst werden können, vorteilhaft sind. Vor allem durch den übermäßigen Konsum von Fetten sind, wie oben beschrieben, ein höheres Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen, aber auch Erkrankungen des Bewegungsapparates und Diabetes mellitus Typ II verbunden, die zu den Volkskrankheiten zählen. Ebenfalls bedingt der Konsum von Fleisch höhere Risiken für die Aufnahme von Kanzerogenen. Eine vegetarische und vor allem eine vegane Ernährung sind allerdings mit dem Risiko einer Mangelversorgung einiger Mineralstoffe und vor allem der Vitamine B₂, B₁₂ und D₃ verbunden. Wie bereits erwähnt, sollten Veganer:innen

und zum Teil auch Vegetarier:innen kritische Nährstoffe durch angereicherte Lebensmittel oder entsprechende Präparate supplementieren, um Mangelerscheinungen zu verhindern. Unter Berücksichtigung einer etwaigen Supplementierung können eine vegetarische und eine vegane Ernährung daher als gesundheitlich unbedenklich, in den meisten Fällen auch als gesundheitlich vorteilhaft betrachtet werden. In diesem Zusammenhang können eine vegetarische und vegane Ernährung als gesundheitspräventiv bezeichnet werden, da sie die Prävalenz für zahlreiche Krankheiten erheblich verringern (Leitzmann & Keller, 2020).

3.2.5 Nachhaltigkeit in Bezug auf konventionelle, vegetarische und vegane Ernährung

Im Jahr 2023 müssen auf der Erde über 8 Milliarden Menschen ernährt werden, sodass der Bedarf an Lebensmitteln größer als jemals zuvor ist (Vereinte Nationen, 2022). Besonders in Schwellenländern, die wirtschaftlich prosperieren, führt der steigende Wohlstand zu einer stärker auf tierischen Produkten basierenden Ernährung (OECD/FAO, 2020). Der globale Pro-Kopf-Verzehr von Fleisch hat sich von 1961 bis 2011 von jährlich 23 kg auf 42 kg erhöht (Sans & Combris, 2015). Aufgrund der hohen Menge an produzierten Lebensmitteln, der großen Anzahl an gehaltenen und gezüchteten Tieren und des großen Flächenbedarfs für die Herstellung von Futter und Lebensmittel, hat die Welternährung einen bedeutsamen Einfluss auf die Belastbarkeit des Ökosystems Erde. Die planetaren Belastbarkeitsgrenzen wurden von Rockström et al. im Jahre 2009 erstmals publiziert und ihre Auslastung ermittelt (Rockström et al., 2009) sowie im Jahr 2015 (Steffen, Richardson, et al., 2015) und Jahr 2022 (Persson et al., 2022; Wang-Erlandsson et al., 2022) aktualisiert. Die aktuelle Berechnung zeigt, dass vor allem im Bereich neuartiger Substanzen (Novel Entities), der biogeochemischen Flüsse P und N (Biogeochemical Flows P & N) und der Unversehrtheit der Biosphäre in Bezug auf das Artensterben (Biosphere Integrity E/MSY) die planetaren Belastbarkeitsgrenzen deutlich überschritten werden. Ein steigendes Risiko gilt allerdings auch für den Süßwasserverbrauch (Freshwater Change), den Landnutzungswandel (Land-System Change) und den Klimawandel (Climate Change) (Abbildung 26) (Persson et al., 2022; Steffen, Richardson, et al., 2015; Wang-Erlandsson et al., 2022).

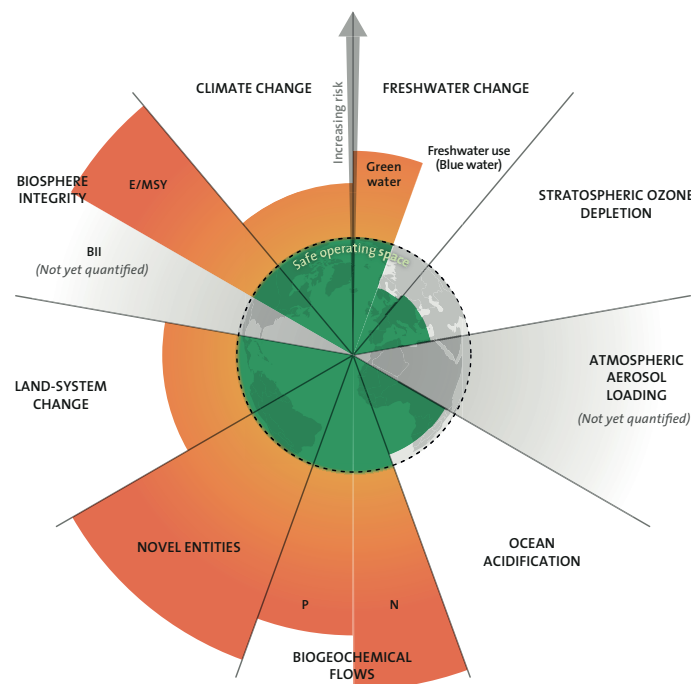


Abbildung 26: Planetare Belastbarkeitsgrenzen. Abbildung des Azote for Stockholm Resilience Center, nach (Steffen, Richardson, et al., 2015), (Persson et al., 2022) und (Wang-Erlandsson et al., 2022). Die menschliche Ernährung hat einen Einfluss auf nahezu alle planetaren Grenzen.

Die menschliche Ernährung hat einen direkten Einfluss auf die Belastung dieser planetaren Grenzen, indem durch die Art der Produktion, Verarbeitung, Vermarktung, Zubereitung und Entsorgung von Lebensmitteln inklusive ihrer Verpackungen unabhängig von der Art der Nahrung negative

Umweltauswirkungen ausgehen. Nach von Koerber et al. sind die vorrangig durch die menschliche Ernährung betroffenen Problembereiche:

- der Ausstoß von Treibhausgasen,
- die Schadstoffbelastung von Luft, Wasser und Böden durch synthetische Düngemittel, Pestizide und Antibiotika,
- Waldschäden und Abholzung von Wäldern durch Anbau von Futtermitteln und Nahrung,
- die sinkende Artenvielfalt durch Monokulturisierung und den Einsatz von Düngemitteln und Pestiziden,
- die Überfischung der Meere,
- die Zerstörung fruchtbarer Böden durch Übernutzung, Monokulturen und tiefes Pflügen,
- ein zunehmender Wassermangel und
- die Veränderung der Kulturlandschaft. (Leitzmann & Keller, 2020; von Koerber et al., 2012)

Entsprechend der Analyse durch von Koerber et al. zeigt sich, dass die menschliche Ernährung einen Einfluss auf nahezu alle planetare Grenzen hat: Der Ausstoß von Treibhausgasen durch die Nahrungsmittelproduktion ist ein wesentlicher Treiber des Klimawandels. Die Schadstoffbelastung von Luft, Wasser und Böden führt zusammen mit dem hohen Wasserbedarf für die Produktion von Lebensmitteln zu einem erhöhten Süßwasserverbrauch und hat einen Anteil an der Versauerung der Meere. Darüber hinaus beeinflusst durch Zuchttiere ausgestoßenes Lachgas die Ozonschicht. Durch den Einsatz von Düngemitteln und die Entstehung tierischer Abfälle wird ein enormer Einfluss auf den Stickstoff- und den Phosphorkreislauf genommen. Antibiotika, Pestizide und synthetische Düngemittel belasten als neuartige Substanzen die Ökosysteme der Erde und die fortschreitende Abholzung von (Regen-)Wäldern und entstehende Monokulturen sind wesentliche Kennzeichen eines Landnutzungswandels. Zuletzt wird die Artenvielfalt durch den Klimawandel selbst, aber auch durch die Abholzung von Wäldern, entstehende Monokulturen, die Überfischung der Meere, den Einsatz von Antibiotika und Pestiziden sowie die gezielte Tierzucht deutlich eingeschränkt. Im Jahr 2014 untersuchten Campbell et al. in einer Review-Studie den konkreten Einfluss der Ernährung auf die planetaren Leitplanken (Campbell et al., 2017). Dabei stellten sie einen starken Einfluss auf sechs planetare Leitplanken fest: So sei die Ernährung für 80 % des Landnutzungswandels (Hosonuma et al., 2012; Kissinger et al., 2012), für 84 % des Süßwasserverbrauchs (Shiklomanov & Rodda, 2003), für ca. 85 % der anthropogenen Stickstoff-Emissionen (Galloway et al., 2008), für mehr als 90 % der anthropogenen Phosphor-Emissionen (Smil, 2000), für 80 % des Verlusts der genetischen Vielfalt (Steffen, Richardson, et al., 2015) sowie für 25 % des Klimawandels und der Ozeanazidifikation (Ekstrom et al., 2015), allerdings für nur 5 % der Zerstörung stratosphärischen Ozons (Montzka et al., 2011) verantwortlich. Da zum damaligen Zeitpunkt noch keine Einschätzung der planetaren Grenzen für neuartige Substanzen (Novel Entities) vorlag und der Süßwasserverbrauch noch nicht in verschiedene Wassertypen differenziert worden ist, liegen für diese planetaren Grenzen ebenso wie für die bislang nicht quantifizierten Grenzen „Aerosolgehalt in der Atmosphäre“ und „Funktionsverlust der Biosphäre“ keine Daten vor.

Da Nachhaltigkeit ein mehrdimensionales Konstrukt ist, welches nicht nur eine ökologische Dimension aufweist (vgl. Kapitel 3.3.9), ergibt sich der Wert einer Kostform für ihre Nachhaltigkeit nicht lediglich aus der Betrachtung der planetaren Belastbarkeitsgrenzen. Zu diesem Zweck wurde durch von Koerber das Konzept der *nachhaltigen Ernährung* entwickelt, welches in fünf Dimensionen aufgeteilt ist: die Umwelt, die Wirtschaft, die Gesellschaft und die Individualgesundheit, die wiederum in die fünfte Dimension Kultur eingebettet sind (Abbildung 27) (von Koerber, 2014). Für alle fünf Dimensionen stellt von Koerber Forderungen auf, die erfüllt werden müssen, um sich in diesem Gesichtspunkt nachhaltig zu ernähren. Vergleichbar mit den Forderungen der Vereinten Nationen hin zu einer nachhaltigen Entwicklung, ist eine nachhaltige Ernährung erst dann gewährleistet, wenn alle fünf Dimensionen gleichberechtigt erfüllt seien. Die Dimension Kultur umfasst die Beziehung der Menschen zu ihrer Nahrung und dem Wandel der Nahrung in der Geschichte. Essen habe sich immer weiter zur Nebentätigkeit entwickelt und werde stärker zum Bestandteil einer „Fremdversorgung“ (von Koerber, 2014). Darüber hinaus sei der Wunsch in der Bevölkerung zum einen nach einer billigen, zum anderen einer stark fleischbasierten Ernährung vorhanden. Im Sinne einer nachhaltigen Ernährung fordert von Koerber aus kultureller Sicht eine größere Orientierung, Sicherheit und Transparenz durch natürliche und traditionelle Lebensmittel sowie eine wieder steigende Ernährungskultur, in welcher „Genuss, Verantwortungsbewusstsein und gutes Gewissen“ miteinander verbunden werden können. Die ökologische

Dimension betrifft das Spannungsfeld zwischen Mensch und Natur. Vor allem in Industrieländern strazierten die Anforderungen der Bürger:innen die ökologischen Systemgrenzen stark. Im Sinne einer nachhaltigen Ernährung sollten Kostformen gewählt werden, die sich an die bestehenden ökologischen Grenzen anpassen würden. Die wirtschaftliche (ökonomische) Dimension umfasst die wirtschaftliche Bedeutung von Nahrung in globaler Hinsicht. Während zum aktuellen Zeitpunkt besonders kleine Produzent:innen nicht mehr kostendeckend arbeiten könnten und besonders Entwicklungsländer aus wirtschaftlichen Gründen keine flächendeckend ausreichende Nahrungsversorgung erreichen könnten, sei die Nahrungsmittelindustrie ein Gewinngeschäft für große Unternehmen in Industrienationen. Durch die Ernährung verursachte Schäden würden auf die Last der Einzelnen, besonders in Entwicklungsländern abgewälzt werden. Im Sinne einer nachhaltigen Ernährung sollten faire ökonomische Handelsbedingungen weltweit gelten, durch die Entwicklungsländer und kleine Unternehmen am globalen Markt partizipieren können. Die gesellschaftliche Dimension fokussiert die sozialen Auswirkungen von Ernährung. Vor allem die Arbeitsbedingungen in Entwicklungsländern würden zu Ausbeutung und Sicherheitsrisiken für Arbeiter:innen führen, durch die Industrieländer profitieren würden. Durch die aktuelle Entwicklung („nutrition transition“) käme es allerdings auch zu einer zunehmenden Verschlechterung der Hygiene- und Ernährungsverhältnisse in Schwellenländern. Von Koerber fordert in Bezug auf eine gesellschaftliche Dimension faire Arbeitsbedingungen für Nahrungsmittelproduzent:innen und eine Umverteilung von Nahrungsmittelgütern. Die fünfte Dimension umfasst die Gesundheit des Individuums. Die aktuelle globale Ernährung führe einerseits zu Krankheitsbildern, die durch Über- und Fehlernährung, andererseits zu Krankheiten, die durch Mangelernährung entstehen würden. Im Sinne einer nachhaltigen Ernährung müsse hier einer Mangelversorgung mit Nährstoffen auf der einen Seite und einer Überversorgung auf der anderen Seite entgegengewirkt werden. (von Koerber, 2014)

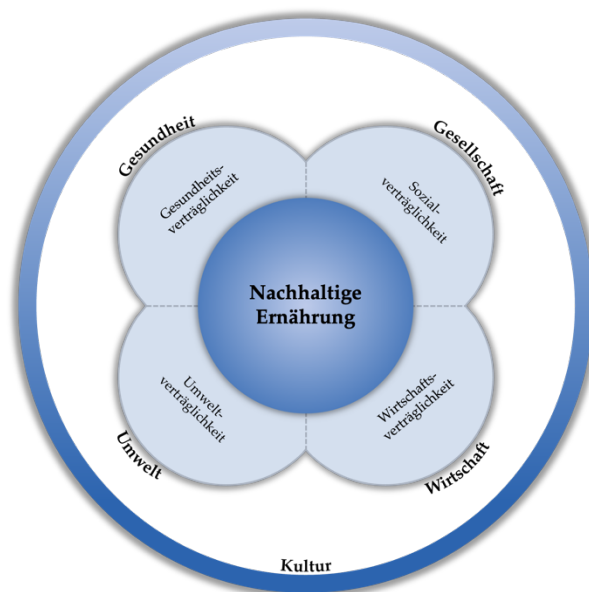


Abbildung 27: Konzept der fünf Dimensionen einer nachhaltigen Ernährung. Eigene Darstellung nach (von Koerber, 2014).

Eine rechtliche Verbindlichkeit erhält die Forderung nach einer nachhaltigen Ernährung auch durch die 17 Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen (Sustainable Development Goals, SDGs), welche im Rahmen der Agenda 2030 (Transformation unserer Welt: Die Agenda für nachhaltige Entwicklung) umgesetzt werden sollen. Die Entwicklung von für alle Mitgliedsstaaten gültigen Nachhaltigkeitszielen wurde auf der Rio+20-Konferenz im Jahr 2012 durch die UN-Mitgliedsstaaten beschlossen und die 17 Ziele im Jahr 2014 festgelegt (Abbildung 28). Diese traten am 01. Januar 2016 in Kraft (Generalversammlung der Vereinten Nationen, 2015). SDG 2 „kein Hunger“ befasst sich direkt mit der Ernährung der Weltbevölkerung. Konkret soll bis 2030 jeglicher Hunger auf der Erde und jegliche Form von Fehlernährung und Mangelversorgung beendet werden. Die landwirtschaftliche Produktivität soll verdoppelt werden und vor allem kleine Lebensmittelproduzent:innen gestärkt werden, indem ihr Einkommen verdoppelt wird. Ebenfalls sollen nachhaltige Produktionswege zur Lebensmittelerzeugung implementiert und gesichert werden sowie die genetische Vielfalt von Saaten, Pflanzen und Farm- und Haustieren bewahrt werden. Dies soll vorrangig durch eine erhöhte Investition in die ländliche

Infrastruktur, landwirtschaftliche Forschung und die Entwicklung von Pflanzen- und Farmtierdatenbanken geschehen. Darüber hinaus soll der Lebensmittelmarkt besser überwacht, zugänglicher gemacht und der Preis für Lebensmittel für alle Menschen erschwinglich gemacht werden. (Generalversammlung der Vereinten Nationen, 2015)



Abbildung 28: 17 Nachhaltigkeitsziele (SDGs) der Vereinten Nationen. Nachhaltige Ernährung wird explizit in den Zielen 2 und 12, implizit in den Zielen 3, 6, 13, 14 und 15 angesprochen.

Doch auch andere SDGs sprechen eine nachhaltige Ernährung direkt oder indirekt an: Beispielsweise wird im SDG 3 „Gesundheit und Wohlergehen“ gefordert, die Zahl an Todesfällen durch Chemikalien und Luft-, Wasser- und Bodenverschmutzung zu verringern (Generalversammlung der Vereinten Nationen, 2015). Auch SDG 6 „Sauberes Wasser und Sanitäreinrichtungen“, SDG 13 „Maßnahmen zum Klimaschutz“, SDG 14 „Leben unter Wasser“ und SDG 15 „Leben an Land“ haben einen Bezug zu einer nachhaltigen Ernährung. In besonderem Maße steht darüber hinaus SDG 12 „Nachhaltige/r Konsum und Produktion“ im Zusammenhang mit einer nachhaltigen Ernährung: Bis 2030 soll der Pro-Kopf-Lebensmittelabfall halbiert und die Wertschöpfungskette von Lebensmitteln verbessert werden. Natürliche Ressourcen sollen effizienter genutzt werden und Abfallprodukte (auch aus der Lebensmittelindustrie) reduziert und fachgerecht entsorgt werden. Dazu sollen technische Lösungen auch in Schwellen- und Entwicklungsländern implementiert werden und Tools entwickelt werden, mithilfe derer Prozesse überwacht und mögliche Nachhaltigkeitsfallen erkannt werden können (Generalversammlung der Vereinten Nationen, 2015). Besondere Kritik erfährt im Kontext mit einer nachhaltigen Ernährung eine fleischbasierte Nahrung. Dies wird vorrangig auf die ökologischen Belastungen zurückgeführt, die mit der Produktion und dem Konsum von Fleisch einhergehen sollen. Im Folgenden werden verschiedene Gesichtspunkte der ökologischen Nachhaltigkeit einer konventionellen, vegetarischen und veganen Ernährung verglichen.

Umweltverträglichkeit

Die Produktion von Lebensmitteln ist, unabhängig davon, ob sie fleischbasiert oder pflanzlich basiert ist, immer auf den Anbau von Nutzpflanzen angewiesen. Im Zusammenhang mit der Produktion von Fleisch werden diese Pflanzen als Futtermittel für Tiere genutzt. Die Futtermittel, welche meist aus Monokulturen stammen, werden mithilfe von nitrat- und phosphathaltigen Mineraldüngern mit Nährstoffen versorgt und durch Pestizide (Herbizide, Fungizide, Insektizide) geschützt. Die auf diesem Wege zum Teil in Böden und Grundwasser gelangenden Nitrate und Phosphate sowie Pestizide gefährden das Gleichgewicht der biogeochemischen Flüsse und belasten Ökosysteme durch den Eintrag neuartiger Substanzen (Leitzmann & Keller, 2020). Da die weltweit genutzte landwirtschaftliche Fläche überwiegend für die Futtermittelproduktion genutzt wird, entfällt ein Großteil der eingesetzten Pestizide letztlich auf die Produktion tierischer Erzeugnisse (vgl. Abschnitt *Flächenfußabdruck*, Abbildung 37). Vor

allem im Zusammenhang mit dem Einsatz von Pestiziden wird ein Rückgang der genetischen Artenvielfalt und insbesondere ein Bienensterben genannt. Da für die Bestäubung von Nutzpflanzen Bienen eine essentielle Rolle spielen, gilt der Bestand der Nutzpflanzen weltweit als gefährdet (BUND, 2010). Umstritten bezüglich der Umweltverträglichkeit sind gentechnisch modifizierte Pflanzen, die zu 70–90 % für die Tierfütterung eingesetzt werden (Flachowsky et al., 2012). Bislang gibt es keine gesicherten Hinweise darauf, dass der Einsatz gentechnisch modifizierter Organismen Umweltschäden wie beispielsweise einen Rückgang der Artenvielfalt bedeuten würde (Sanvido et al., 2007). Neben dem Eintrag von Nitraten und Phosphaten durch Mineraldünger werden vor allem durch Tierhaltung große Mengen an stickstoff- und phosphorhaltigen Verbindungen durch Gülle und Mist in die Böden und das Grundwasser eingetragen, wodurch der Stickstoff- und der Phosphorkreislauf beeinflusst werden. In Böden eingetragene Stickstoffverbindungen werden dort ammonifiziert und anschließend durch nitrifizierende Bakterien zu Nitriten und Nitraten oxidiert. Die gebildeten Nitraten werden aus dem Boden in das Grundwasser gespült, wodurch beispielsweise in Deutschland die in vielen Gewässern vorherrschenden Nitratkonzentrationen natürliche Werte weit übersteigen (Abbildung 29) (Jakobs et al., 2020). Probleme einer Hypernitrifikation für die Umwelt sind eine Übersäuerung und Eutrophierung von Böden und Gewässern, wodurch es zu einer Abnahme der Biodiversität bei nicht monokultivierten Pflanzen und freilebenden Tieren kommt (FAO et al., 2018; Heißenhuber et al., 2015). Hohe Nitratgehalte in Wasserkörpern und im Grundwasser treten besonders stark in Regionen auf, in denen eine intensive landwirtschaftliche Nutzung und Intensivtierhaltung stattfindet (Hooda et al., 2000). Aufgrund der intensiven Nutztierhaltung in der Region Weser-Ems werden seit mehreren Jahren in Niedersachsen flächendeckend die Nitratkonzentrationen verschiedener Wasserkörper überprüft (Wriedt et al., 2019). Auch regional zeigt sich eine Korrelation zwischen einer intensiven Tierhaltung („Massentierhaltung“) und hohen Nitratgehalten in Grundwässern. Hiervon ist besonders das Oldenburger Münsterland betroffen, welches aufgrund der intensiven Schweinehaltung umgangssprachlich als „Schweinegürtel“ bezeichnet wird. Besonders in dieser Region treten hohe Nitrat-Konzentrationen auf. Abbildung 30 zeigt die Nitratkonzentrationen für das Bundesland Niedersachsen (gemessen als flach verfilterte Grundwasserkonzentration in 0–10 m unter der Grundwasseroberfläche) im Vergleich zum Viehbesitz in Großvieheinheiten je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche.

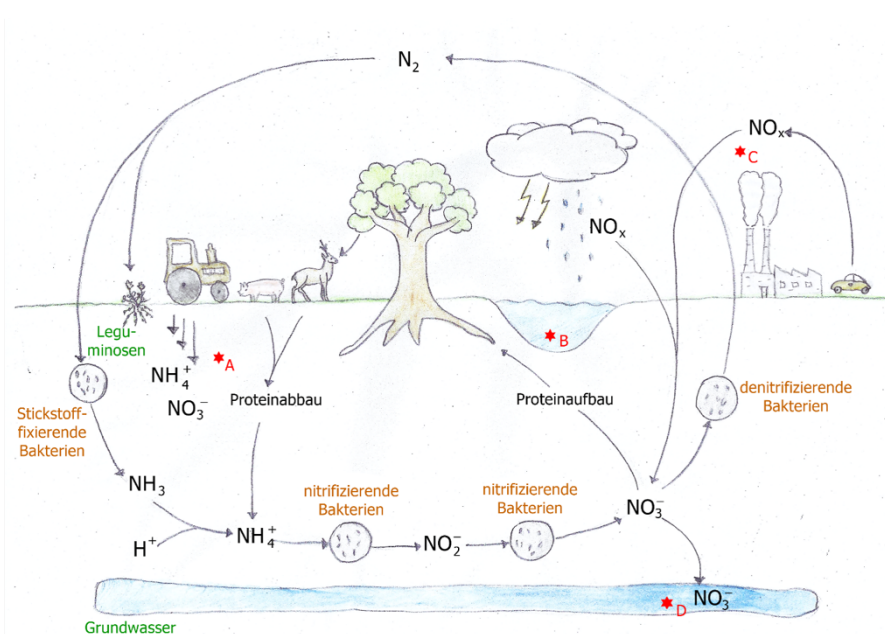


Abbildung 29: Anthropogene Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf. Die roten Markierungen zeigen die durch anthropogenen Einfluss verursachten Problemstellen auf. *A Versauerung von Böden, *B Eutrophierung durch übermäßigen Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen, *C Entstehung toxischer Stickoxide durch Abgase aus Verkehr und Industrie, *D hohe Nitrate in Grundwasserkörpern, Fließ- und Standgewässern. Abbildung nach (Brockhage, 2021).

Als kritische Nebenprodukte einer intensiven Tierhaltung sind auch gasförmige Stoffe des Stoffwechsels der Tiere und als Abbauprodukte von Gülle und Mist anzusehen. Dazu gehören vor allem Methan, Ammoniak und schwefelhaltige Substanzen. Neben der Bedeutung für den Klimawandel, der im weiteren Verlauf beschrieben wird (neben Kohlenstoffdioxid auch durch Methan und Oxidationsprodukte von Ammoniak), sind diese Verbindungen akut und langfristig toxisch für Menschen. In Regionen mit

intensiver Tierhaltung, wie beispielsweise Niedersachsen, konnten gehäuft Atemwegserkrankungen in Nähe zu landwirtschaftlichen Betrieben und bei Landwirten selbst festgestellt werden (Cushen et al., 2016; Radon et al., 2005).

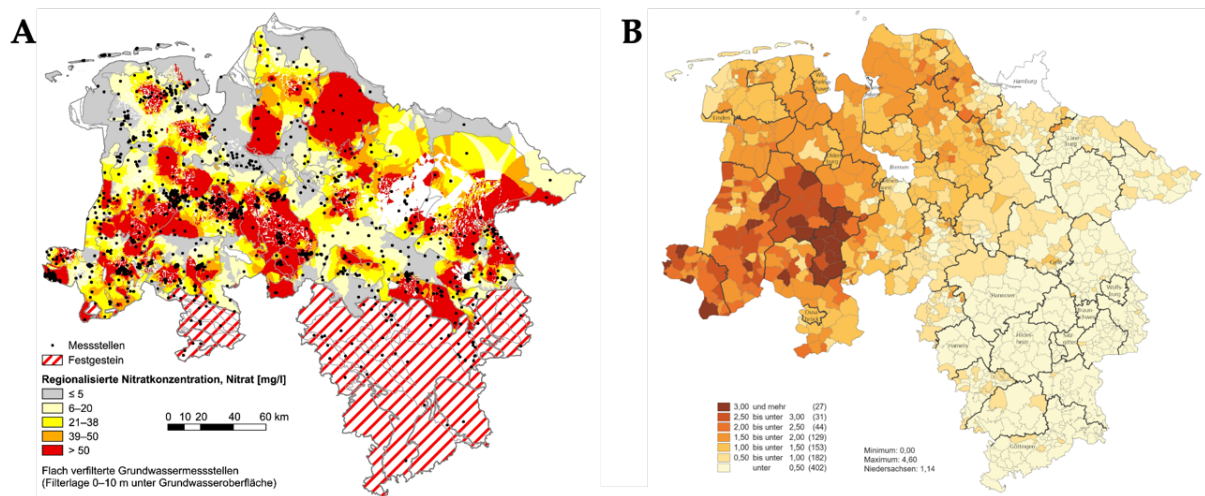


Abbildung 30: A Regionalisierte Nitratkonzentrationen (Flach verfilterte Grundwassermessstellen) in Niedersachsen in [mg/L]. Abbildung nach (Wriedt et al., 2019). B Viehbesatz in Großvieheinheiten je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche in den kreisfreien Städten und Gemeinden in Niedersachsen. Abbildung nach (Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, 2021)

In der Nutztierhaltung kommen Antibiotika als Therapeutika bei bakteriellen Infektionen von Tieren bzw. Herden oder Gruppen zum Einsatz. Eine präventive Verwendung von Antibiotika, beispielsweise durch Zusatz in Futtermittel, ist entsprechend des Tierarzneimittelgesetzes in Deutschland untersagt (Bundesministerium der Justiz, 2022). Dennoch ist nicht ausgeschlossen, dass auch in Deutschland zum Teil eine präventive Gabe von Antibiotika in der Tierhaltung angewendet wird (BfR, 2016). Wenngleich der Einsatz von Antibiotika bakterielle Infektionen bekämpfen soll und die Tierbestände schützt, führt der dauerhafte Einsatz von Antibiotika zur Ausbildung resistenter Bakterienstämme (Wegener, 2003). Von durch Antibiotika entstehende (Multi-)Resistenzen gehen sowohl für die belebte Umwelt als auch für Menschen erhebliche Gesundheitsgefahren aus. Jährlich sterben ca. 4,95 Millionen Menschen durch resistente Erreger, wobei hier auch Todesfälle durch sogenannte „Krankenhauskeime“ eingerechnet sind, die beim Einsatz von Antibiotika in der Humanmedizin entstehen (Antimicrobial Resistance Collaborators, 2022). Da besonders in der Geflügelhaltung Antibiotika eingesetzt werden, konnten für die Untersuchungsjahre 2014, 2016 und 2018 bei etwa 40–50 % der Proben aus Hähnchenfleisch und 60–85 % der Proben aus Putenfleisch Ciprofloxacin-Antibiotika-resistente Erreger festgestellt werden (AG Antibiotikaresistenz, 2021). Zusammen mit durch Ausbringung von mit resistenten Keimen belasteter Tierexkrementen sind dies die Haupteintragswege in Ökosystemen und zu Menschen (Heaton & Jones, 2008). Da zahlreiche Antibiotika hohe Umweltpersistenzen aufweisen und das derzeitige Abwassermanagement oftmals nicht ausreicht, um Antibiotika aus Abwässern zu entfernen, droht die Gefahr einer Anreicherung dieser neuartigen Substanzen (vgl. Planetare Belastbarkeitsgrenzen, Abbildung 26) in der Biosphäre (Sarmah et al., 2006). Insgesamt betrachtet erzeugen sowohl die Produktion pflanzlicher als auch tierischer Lebensmittel Umweltbelastungen durch den Eintrag neuartiger Substanzen und die massive Beeinflussung biogeochemischer Flüsse. Dazu zählen vor allem Pestizide, die für den Anbau von Getreide und Futtermitteln verwendet werden. Da ein Großteil der landwirtschaftlich genutzten Flächen allerdings auf die Produktion tierischer Güter ausgerichtet ist und die intensive Haltung von Nutztieren zahlreiche weitere Umweltbelastungen mit sich bringt, ist der Umwelt-Fußabdruck tierischer Produkte zumeist als belastender als der rein pflanzlicher Produkte anzusehen. Eine rein pflanzliche Ernährung ist daher oft weniger umweltbelastend.

CO₂-Fußabdruck

Als Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck oder kurz CO₂-Fußabdruck wird die Menge an Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten (CO₂-e) bezeichnet, die von einem bestimmten Bezugspunkt produziert oder emittiert werden. Dies können sowohl einzelne Produkte, Produktionswege, Industriezweige oder auch Personen und Personengruppen sein. CO₂-e ist daher ein Maß für den Ausstoß klimaschädlicher

Treibhausgase, die als Kohlenstoffdioxid zusammengefasst werden. Dies ermöglicht zum einen die Berücksichtigung anderer Treibhausgase als Kohlenstoffdioxid, zum anderen aber die Bewertung verschiedener Gase hinsichtlich ihres Treibhauspotentials (Lashof & Ahuja, 1990; Myhre et al., 2014). Der Begriff Treibhauspotential (englisch: GWP, Greenhouse Warming Potential) wird in Bezug auf die Klimaschädlichkeit einzelner Gase synonym zu CO₂-e verwendet. In Tabelle 19 sind die CO₂-e verschiedener Treibhausgase dargestellt.

Tabelle 19: GWP (berechnet als CO₂-e) ausgewählter Treibhausgase. Konventionsgemäß sind die Werte auf das Treibhauspotential von Kohlenstoffdioxid normiert. Daten nach (Myhre et al., 2014) und (FCCC & UN, 2014).

Treibhausgas	Summenformel	CO ₂ -e bezogen auf		
		20 Jahre (Myhre et al., 2014)	100 Jahre (Myhre et al., 2014)	UN-Berechnung (FCCC & UN, 2014)
Kohlenstoffdioxid	CO ₂	1	1	1
Methan	CH ₄	84	28	25
Distickstoffoxid (Lachgas)	N ₂ O	264	265	298
Tetrafluormethan	CF ₄	4950	7350	7390
Chlorfluorkohlenwasserstoffe (CFKW)	-	10900	4660	<i>differenziert nach CFKW</i>
Schwefelhexafluorid	SF ₆	17500	23500	22800
Stickstofftrifluorid	NF ₃	12800	16100	17200

Der Ausstoß von Treibhausgasen ist verantwortlich für den anthropogenen Klimawandel und die damit verbundene Erderwärmung, wie unter anderem vom offiziellen UN-Panel, welches sich mit den globalen Fragen des Klimawandels auseinandersetzt, festgelegt worden ist (IPCC, 2007). Im Jahr 2021 bestätigte das Panel mit der Aussage „*It is unequivocal that human influence has warmed the atmosphere, ocean and land. Widespread and rapid changes in the atmosphere, ocean, cryosphere and biosphere have occurred.*“ (Deutsch: „*Es ist eindeutig, dass menschliche Einflüsse die Atmosphäre, die Ozeane und die Landflächen erwärmt haben. Weitreichende und rapide Änderung in der Atmosphäre, den Ozeanen, der Kryosphäre und der Biosphäre sind eingetreten.*“) den Einfluss des Menschen auf die Erderwärmung und dessen Folgen (IPCC, 2021). Im Vergleich zum Zeitraum 1850–1900 hat sich die Temperatur der Erdoberfläche zum Zeitraum 2011–2020 um etwa 1,09 °C erwärmt (1,59 °C über Landflächen, 0,88 °C über Ozeanen) (IPCC et al., 2021). In Abhängigkeit verschiedener Maßnahmen, die gegen den Ausstoß von Treibhausgasen unternommen werden, erwartet das IPCC bis zum Jahr 2100 eine Zunahme der globalen Durchschnittstemperatur von 1,0–3,7 °C (im Vergleich zum Messzeitraum 1986–2005) (IPCC, 2014). Der Effekt der verschiedenen Treibhausgase am Treibhauseffekt ist unterschiedlich groß, Kohlenstoffdioxid und Methan nehmen allerdings mit zusammengerechnet mehr als 75 % den größten Anteil ein (Abbildung 31) (NOAA, 2022).

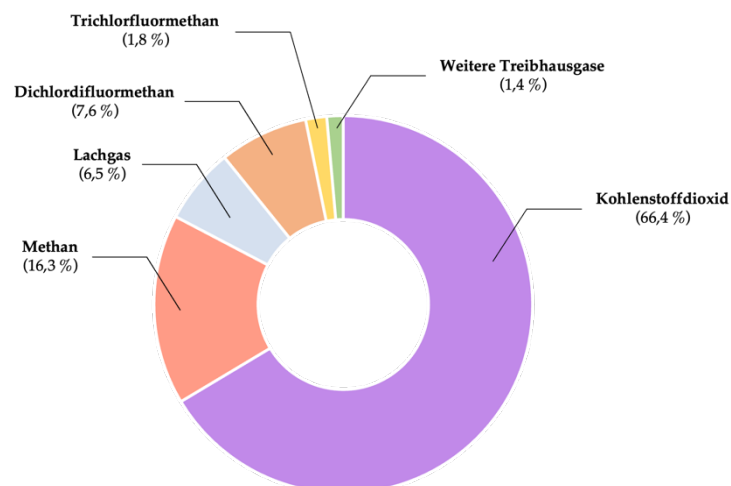


Abbildung 31: Beitrag der Treibhausgase zum Treibhauseffekt. Eigene Darstellung nach (NOAA, 2022).

Trotz seines im Vergleich zu allen anderen Treibhausgasen geringen GWP nimmt Kohlenstoffdioxid aufgrund der großen anthropogen emittierten Menge eine besondere Rolle ein. Werden die globalen

Treibhausemissionen in Wirtschaftssektoren aufgeteilt, entfällt der größte Teil der emittierten CO₂-e auf die Energiewirtschaft (25 %). Unmittelbar darauf folgt der Sektor Landwirtschaft, Forstwirtschaft und weitere Landnutzung, der für 24 % der globalen Emissionen verantwortlich ist und damit vor dem Transportsektor liegt (14 %). Mit einem Anteil von 16,5 % der globalen CO₂-e-Emissionen nimmt die Nutztierhaltung den größten Anteil des Sektors Landwirtschaft, Forstwirtschaft und weitere Landnutzung ein, wovon ein Großteil (62 %) auf die Rinderhaltung entfällt (IPCC, 2014). Einberechnet in die CO₂-e-Bilanzen sind die direkten und indirekten Emissionen. Direkte Emissionen bezeichnen die für Vorleistungen, Landwirtschaft und Tierzucht ausgestoßenen Treibhausgase, indirekte Emissionen beinhalten die Verarbeitung, die Verpackung, den Transport und die Lagerung, den Handel sowie die Endkonsument:innenemissionen (Catering, Haushalt, Abfall) der Lebensmittel. Den größten Anteil an CO₂-e-Emissionen entlang dieser Wertschöpfungskette nehmen dabei mit über 50 % die direkten Emissionen ein (WWF, 2012).

Tierische Lebensmittel (Fleischerzeugnisse, Milcherzeugnisse, Eierzeugnisse und Fischerzeugnisse) nehmen in Deutschland 67,5 % der ernährungsbedingten CO₂-e-Emissionen ein (Leitzmann & Keller, 2020). Gleichzeitig decken bei omnivoren Personen die rein pflanzlichen Nahrungsbestandteile ungefähr 70 %, tierische Lebensmittel ungefähr 30 % der täglichen Energiezufuhr ab, weshalb die Klimaeffizienz tierischer Produkte als schlechter angesehen werden muss (DGE, 2012). Innerhalb der tierischen Produkte besitzen Fleischerzeugnisse den größten Anteil der Pro-Kopf-Kohlenstoffdioxid-Emissionen, gefolgt von Milcherzeugnissen. Ei- und Fischerzeugnisse machen einen vergleichsweise geringen Anteil aus. Innerhalb der Gruppe der tierischen Produkte nehmen Getreideerzeugnisse den größten Anteil ein, werden allerdings auch mengenmäßig am meisten verzehrt. Aufgrund des hohen energetischen Aufwandes für Produktion, Trocknung und Transport erzeugen Kakao, Kaffee und Tee in Relation zur Verzehrmenge hohe Emissionen Abbildung 32 (Leitzmann & Keller, 2020).

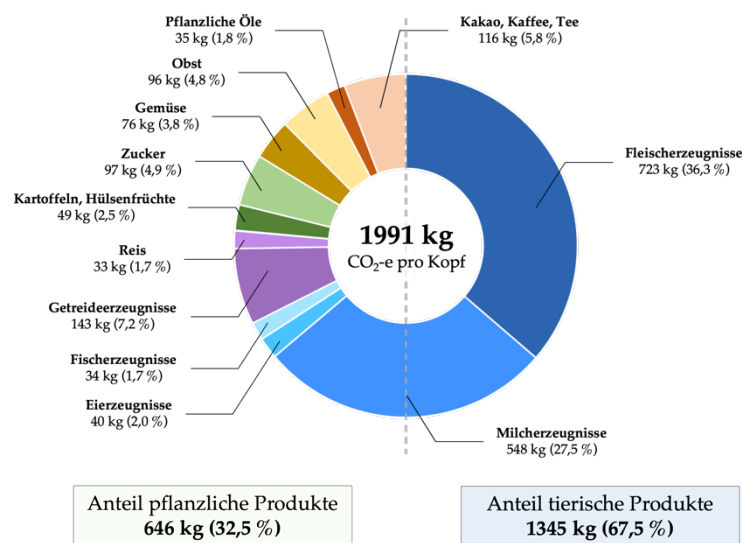


Abbildung 32: Anteil tierischer und pflanzlicher Lebensmittelgruppen am durchschnittlichen CO₂-Ernährungs-Fußabdruck pro Kopf in Deutschland. Berücksichtigt sind alle Treibhausgasemissionen berechnet als CO₂-e nach Tabelle 19. Eigene Darstellung nach (Leitzmann & Keller, 2020).

Da eine Berücksichtigung aller Faktoren, die für die Emissionen von Treibhausgasen ursächlich sind, schwierig ist, weichen berechnete CO₂-e-Bilanzen je nach Quelle voneinander ab. Eine Festlegung eindeutiger Zahlen ist auch daher schwierig, da die emittierten CO₂-Äquivalente je nach Art der Produktion (konventionell oder ökologisch), nach Ort der Produktion (sowohl in der regionalen als auch in der globalen Betrachtung) und nach Art und Weise der Verpackung, der Lagerung und des Transportes voneinander abweichen können. Eine mögliche Quelle für die Betrachtung der CO₂-Äquivalente verschiedener Lebensmittel ist die Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO). Neben verschiedenen Aufgaben wie der Beratung von UN-Mitgliedern in Fragen der Landwirtschaft und Informationsübermittlung für Bürger:innen aller Nationen erhebt die FAO zahlreiche landwirtschaftliche und nahrungsbezogene Daten im Rahmen der statistischen Datenbank FAOSTAT (FAO, 2017). In der statistischen Erhebung der FAOSTAT werden verschiedene Lebensmittel kategorisiert und der CO₂-e-Fußabdruck global gemittelt. FAOSTAT beruft sich dabei auf internationale Erhebungen und

wertet eigens erhobene Daten aus. Die CO₂-e-Bilanzen der verschiedenen Kategorien pro Kilogramm des jeweiligen Lebensmittels sind in Abbildung 33 dargestellt. Auffällig ist der hohe Emissions-Fußabdruck des Fleisches von Ziegen, Rindern und Schafen. Als Wiederkäuer produzieren diese Tiere erhebliche Mengen an Methan, welches als Treibhausgas mit einem GWP von 84 (berechnet auf 20 Jahre) einen deutlich höheren Treibhauseffekt als Kohlenstoffdioxid bewirkt (Leitzmann & Keller, 2020). Nicht wiederkäuende Tiere produzieren kein oder nur wenig Methan, sodass ihre CO₂-Bilanzen im Verhältnis besser ausfallen.

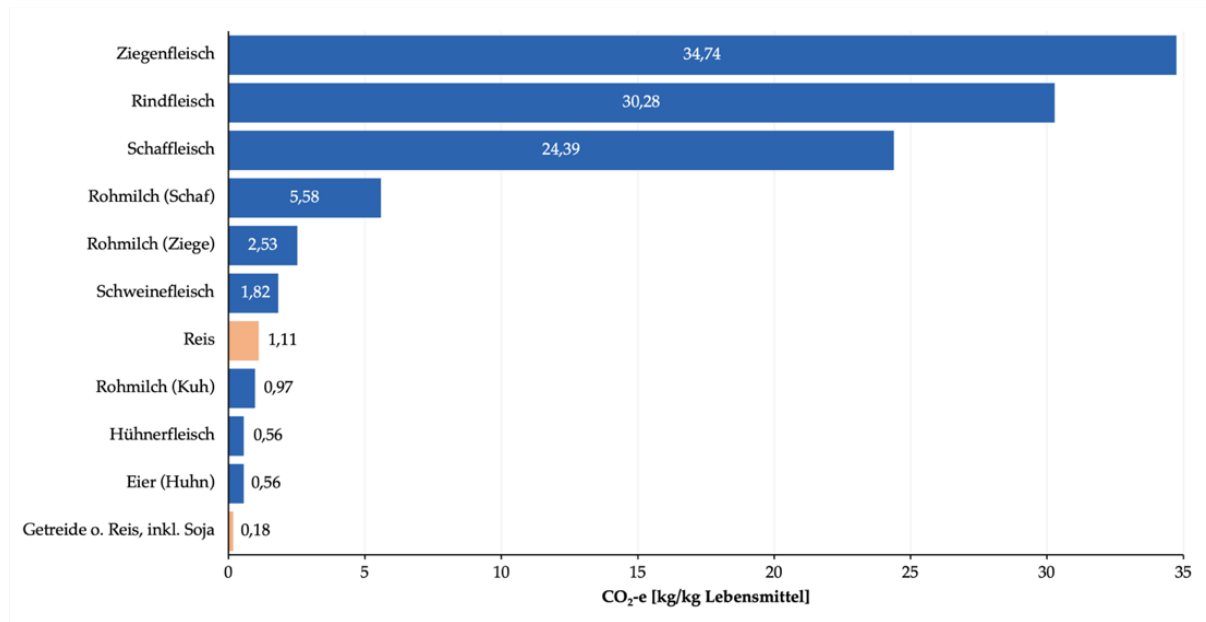


Abbildung 33: CO₂-e-Fußabdruck verschiedener Lebensmittel im globalen Mittel. In blau sind tierische Lebensmittel, in hellbraun pflanzliche Lebensmittel dargestellt. Eigene Darstellung nach (FAOSTAT, 2020). Die Daten wurden aus FAOSTAT als globales Mittel für die im Diagramm angegebenen Lebensmittel ausgewählt. Erhebungszeitpunkt ist nach FAOSTAT das Jahr 2020.

Dass tierische Produkte einen höheren Fußabdruck als pflanzliche Produkte erzeugen, ist neben dem direkten Ausstoß von Treibhausgasen vor allem mit der Verfügbarmachung der Nahrungsenergie der Tiere zu erklären, welche auch als Energieeffizienz bezeichnet wird: Als heterotrophe Organismen bauen Tiere Körpermasse in Form von Kohlenhydraten, Fetten und Proteinen über ihre Nahrung auf. Tiere, die von Menschen verzehrt werden, beziehen diese Nahrungsmittel nahezu ausschließlich aus pflanzlichen Produkten. Durch den Stoffwechsel der Tiere und die vollständige Resorption der Nahrungsbestandteile wird je nach Art ein Teil der aufgenommenen Nährstoffe nicht vollständig assimiliert. Wichtige Kennzahlen zur Effektivität dieser Nahrungsmittel bzw. Energieassimilation durch Nutztiere sind die Futtermittelaufnahme pro Lebendgewicht des Tieres und die Effizienz der Kalorienumwandlung. Besonders für Tiere, die Bestandteil menschlicher Ernährung sind ist darüber hinaus die Futtermittelaufnahme pro verzehrbarem und pro verzehrtem Gewicht des Tieres bedeutsam. Diese Kennzahlen sind für verschiedene Nutztiere und Nutztierprodukte in Tabelle 20 dargestellt. So zeigen Rinder lediglich eine Energieeffizienz von 2,9 %, d.h. von 100 über die Nahrung zugeführten Kalorien assimilieren Rinder lediglich 2,9 Kalorien in Form von Proteinen oder Fetten. Nicht wiederkäuende Tiere zeigen höhere Assimilationsraten, ebenso fett- und proteinreiche Tierprodukte wie Milch und Eier (Shepon et al., 2016). Durch den daraus resultierend hohen Futtermittelbedarf und den höheren Ausstoß von Treibhausgasen durch gering assimilierende Tiere, ergibt sich ein insgesamt größerer CO₂-Fußabdruck für tierische Produkte.

Tabelle 20: Futtermittelaufnahme und Energieeffizienz der Kalorienumwandlung bei der Tierproduktion. Daten nach (Shepon et al., 2016).

Parameter	Rind	Geflügel	Schwein	Milch	Eier
Futtermittelaufnahme/LG ¹ [kg/kg]	14	1,9	3,1	–	–
Futtermittelaufnahme/VBG ² [kg/kg]	36	4,2	6	–	–
Futtermittelaufnahme/VG ³ [kg/kg]	49	5,4	9	2,6	2,4
Effizienz der Kalorienumwandlung [%]	2,9	13	9	17	17

¹ Lebendgewicht, ² verzehrbares Gewicht, ³ verzehrtes Gewicht

Im Vergleich zu den Daten aus FAOSTAT berechnen andere Studien den CO₂-e-Fußabdruck verschiedener Lebensmittel differenziert. Berücksichtigt werden hier beispielsweise auch die Freisetzung von Kohlenstoffdioxid durch die (Brand-)Rodung von (Regen-)Waldflächen, die für die Bereitstellung der Anbauflächen von Nöten ist (vgl. „Flächenfußabdruck“). Dazu hat beispielsweise das Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (IFEU) den ökologischen Fußabdruck verschiedener Lebensmittel berechnet und dazu Emissionen durch Vorproduktion und Flächenbereitstellung, Produktion, Transport, Lagerung, Konsum und Entsorgung berücksichtigt (Reinhardt et al., 2020). Der Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck ausgewählter Lebensmittel der Erhebung des IFEU ist in Abbildung 34 abgebildet. Die vom IFEU berechneten Fußabdrücke beziehen sich auf Produkte, die in Deutschland produziert, oder wenn anders angegeben, nach Deutschland importiert worden sind. Dies erklärt den beispielsweise geringeren Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck von Rindfleisch im Vergleich zur Berechnung durch FAOSTAT, da in Deutschland produziertes Rindfleisch durch die im Vergleich zum globalen Mittel intensivere Haltung der Tiere weniger Kohlenstoffdioxid-Äquivalente im Laufe seiner Wertschöpfungskette emittiert (FAOSTAT, 2020). Auch in der Berechnung des IFEU zeigt sich, dass tierische Produkte, vor allem Fleisch, wesentlich höhere Kohlenstoffdioxid-Äquivalente emittieren als pflanzliche Produkte. Auffällig in diesem Zusammenhang ist auch, dass pflanzliche Ersatzprodukte (Hafer- und Sojadrink anstelle von Kuhmilch bzw. Tofu anstelle von Rindfleisch/Schweinefleisch/Geflügel) ebenfalls einen kleineren Fußabdruck aufweisen. Im Vergleich zur Berechnung der FAOSTAT zeigt vor allem Hühnerfleisch einen um den Faktor 10 größeren Fußabdruck, der Fußabdruck von Schweinefleisch ist ungefähr dreimal so hoch. Insgesamt kann der Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck von tierischen Lebensmitteln unabhängig von der Produktionsart, dem Produktionsort und weiteren Faktoren als durchschnittlich höher als der Kohlenstoffdioxid-Fußabdruck pflanzlicher Lebensmittel angesehen werden.

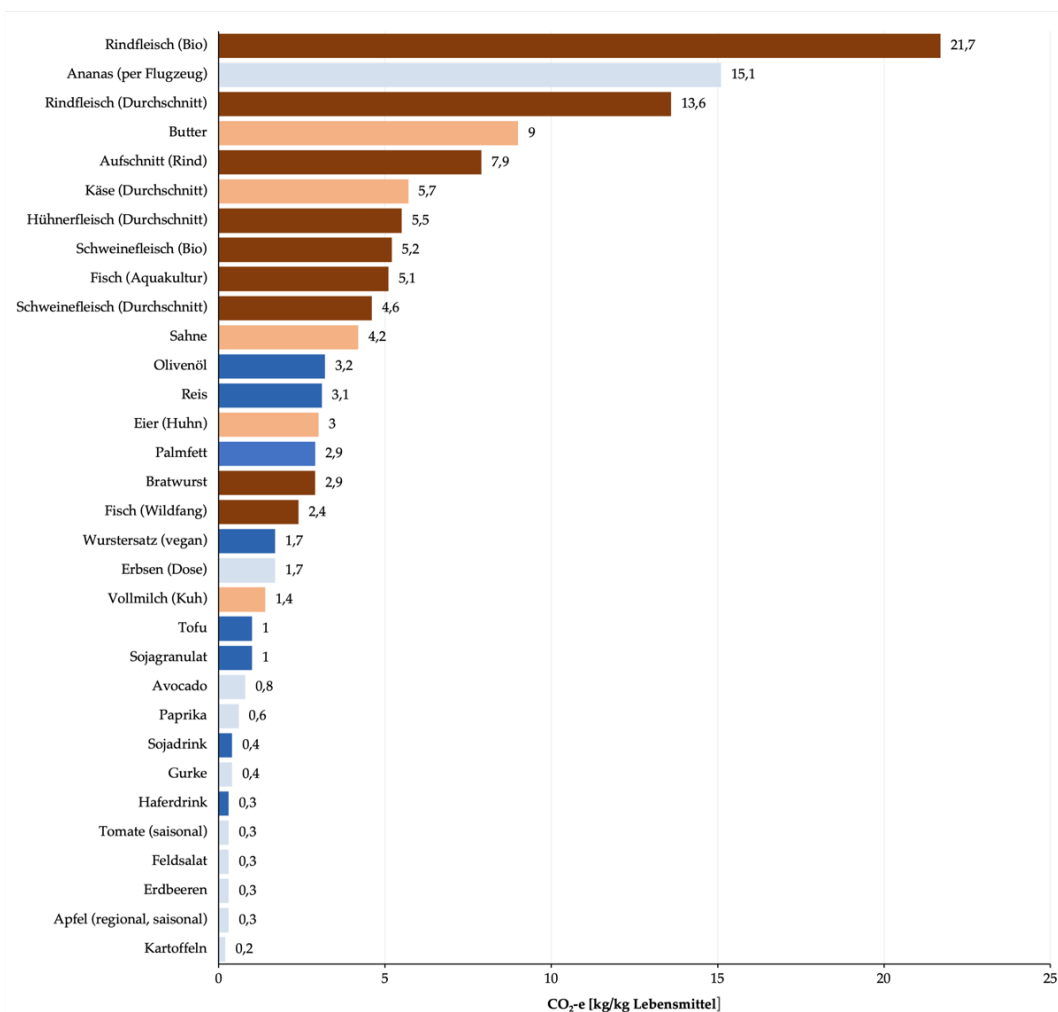


Abbildung 34: CO₂-e-Fußabdruck ausgewählter Lebensmittel unter Berücksichtigung von Vorbereitung, Bereitstellung, Produktion, Transport, Lagerung, Konsum und Entsorgung. In dunkelbraun sind Fleisch und Fisch, in hellbraun tierische Produkte (o. Fleisch und Fisch) dargestellt. In dunkelblau sind pflanzliche Produkte außer Obst und Gemüse, in hellblau Obst und Gemüse dargestellt. Eigene Darstellung nach (Reinhardt et al., 2020).

Wasserfußabdruck

Für die Produktion von Lebensmitteln wird Wasser benötigt, verbraucht und verschmutzt. Dieses Grundprinzip wird als virtuelles bzw. latentes Wasser bezeichnet, da durch die Produktion von Primärgütern (z.B. Futtermittel für Tiere), die Produktion des Lebensmittels selbst, aber auch durch seinen Transport, seine Lagerung, seinen Konsum und seine Entsorgung die in Benutzung befindliche Wassermenge nicht immer offensichtlich und lokal eingrenzbar ist (Hoekstra, 2003). Der Begriff des virtuellen Wassers wurde zunächst von Allan im Jahr 1995 verwendet, um den geopolitischen Umgang mit Wasser zu kritisieren (Allan, 1998). Um die Menge an virtuellem Wasser, die zur Produktion eines Lebensmittels benötigt wurde, zu quantifizieren und vergleichbar machen zu können, entwickelten Hoekstra und Hung im Jahr 2002 das Konzept des virtuellen Wasserfußabdruckes (Virtual Water Footprint), der den Wasserverbrauch in drei Kategorien einteilt (Hoekstra & Hung, 2002). *Grünes Wasser* bezeichnet die Menge an Wasser, welche durch Regen in oberflächennahen Bodenschichten gespeichert ist und von Pflanzen aufgenommen, oder aber direkt durch Regen von Pflanzen aufgenommen wird. *Blaues Wasser* bezeichnet die Menge an Wasser, welche zur Bewässerung von Pflanzen genutzt und aus Grundwasserkörpern (z.B. durch Brunnen und Pumpen), Bächen, Seen und Flüssen entnommen wird. *Graues Wasser* bezeichnet die Menge an Wasser, die im Laufe der gesamten Wertschöpfungskette (von Lebensmitteln) durch Verschmutzung unbrauchbar geworden ist oder aber vor einer erneuten Verwendung gereinigt werden müsste.

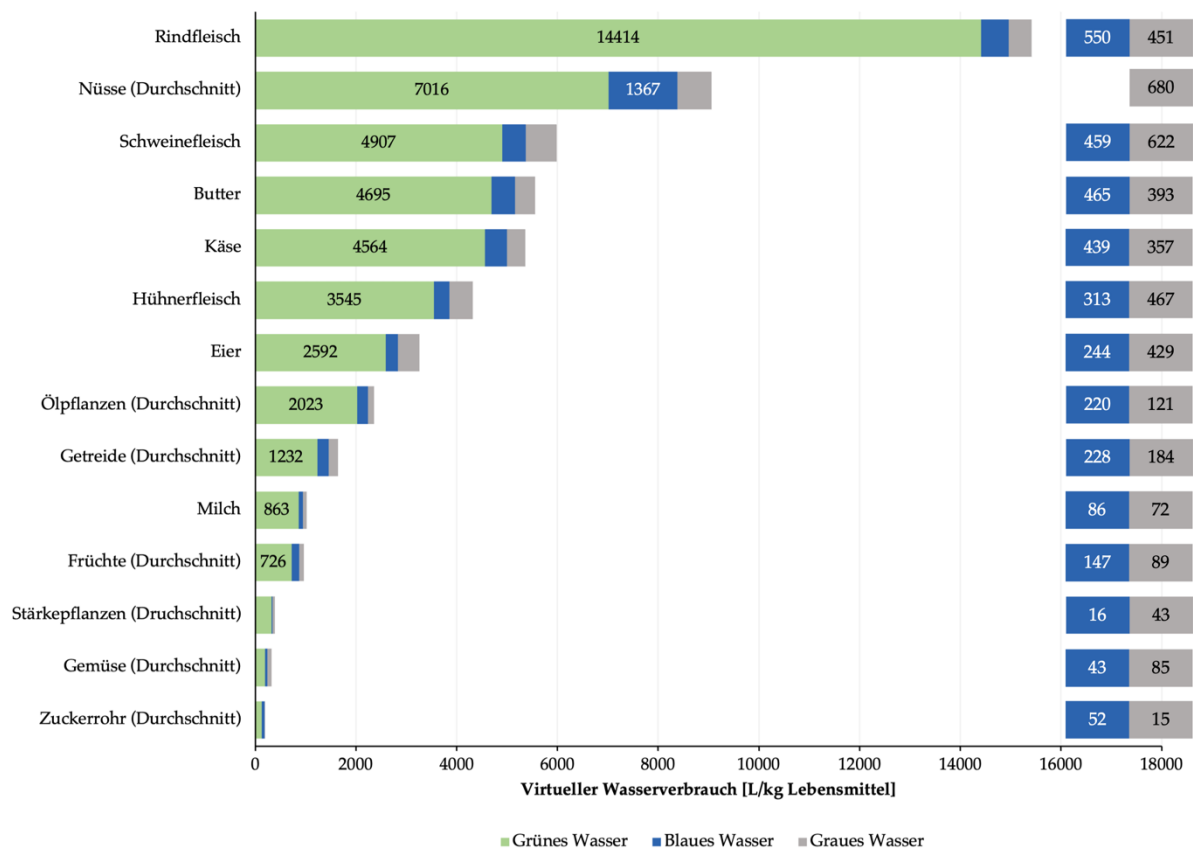


Abbildung 35: Virtueller Wasserverbrauch verschiedener tierischer und pflanzlicher Produkte (zusammengefasst) pro Kilogramm des jeweiligen Lebensmittels., unterteilt in Grünes, Blaues und Graues Wasser. Eigene Darstellung nach (Mekonnen & Hoekstra, 2010).

Die Betrachtung des virtuellen Wasserfußabdruckes ist vor dem Hintergrund knapper werdender Süßwasserressourcen von großer Bedeutung. Besonders in ariden Regionen sind eine Kontrolle und Regulation des Wasserhaushaltes unabdingbar. Unter anderem durch den Klimawandel bedingt, häufen sich Dürreereignisse allerdings auch in klimatisch gemäßigten Zonen (Mukherjee et al., 2018). Bis zu zwei Drittel der Menschheit werden nach Angaben der Vereinten Nationen bis zum Jahr 2025 an Wasserknappheit oder Wassermangel leiden (UN Economic and Social Council, 1997). Der virtuelle Wasserfußabdruck steht damit auf mikroskopischer Ebene in direktem Zusammenhang mit der planetaren Belastbarkeitsgrenze der Süßwassernutzung auf makroskopischer Ebene (Wang-Erlandsson et al., 2022). Bei der Produktion von Lebensmitteln ist zur Berechnung des Wasserfußabdruckes die

Bereitstellung virtuellen Wassers entlang der gesamten Wertschöpfungskette zu berücksichtigen. Bei tierischen Lebensmitteln bedeutet dies, auch die für die Produktion von Futtermitteln benötigte Wassermenge zu berücksichtigen (Hoekstra, 2012). Der Wasserfußabdruck zeigt regionale Unterschiede, da beispielsweise der Anbau derselben Pflanzenart in ariden Regionen mehr blaues und grünes Wasser benötigt als in humiden Regionen und größere Verluste durch Evaporation und Transpiration entstehen (Hoekstra & Hung, 2002). Tierische Lebensmittel weisen im Vergleich zu pflanzlichen Lebensmitteln zumeist höhere graue Wasserverbräuche auf, da durch die Ausscheidungen von Tieren mehr Wasser unbrauchbar wird. Zu berücksichtigen ist für den grauen Wasserverbrauch auch der Einsatz von Pestiziden im Pflanzen- und Futtermittelanbau und Arzneimitteln (z.B. Antibiotika) in der Tierzucht (Mekonnen & Hoekstra, 2010). Der virtuelle Wasserverbrauch für ausgewählte Lebensmittel, aufgeschlüsselt in grünes, blaues und graues Wasser, ist in Abbildung 35 dargestellt. Der virtuelle Wasserverbrauch von Rindfleisch ist von allen abgebildeten Lebensmitteln am höchsten, gefolgt von Nüssen. Der hohe Wasserverbrauch von Rindfleisch ist vorrangig auf den Wasserverbrauch zurückzuführen, der für die Produktion der Futtermittel von Nöten ist. Da die Energiekonversion von Rindern im Vergleich zu anderen Tieren deutlich ineffizienter ist (vgl. Tabelle 20), benötigen sie mehr Futtermittel als andere Tiere. Dieser Mehrbedarf an Futtermitteln spiegelt sich im hohen Wasserverbrauch wider. Da Nussfrüchte überwiegend in ariden Regionen auf der Erde wachsen, fällt vor allem der Blaue Wasserverbrauch vergleichsweise hoch aus. Innerhalb dieser Gruppe sind besonders starke Schwankungen festzustellen, da Nüsse, die in humiden Regionen wachsen (z.B. Haselnüsse), deutlich weniger Wasser verbrauchen als Nüsse, die überwiegend in ariden Regionen angebaut werden (z.B. Cashews) (Mekonnen & Hoekstra, 2010).

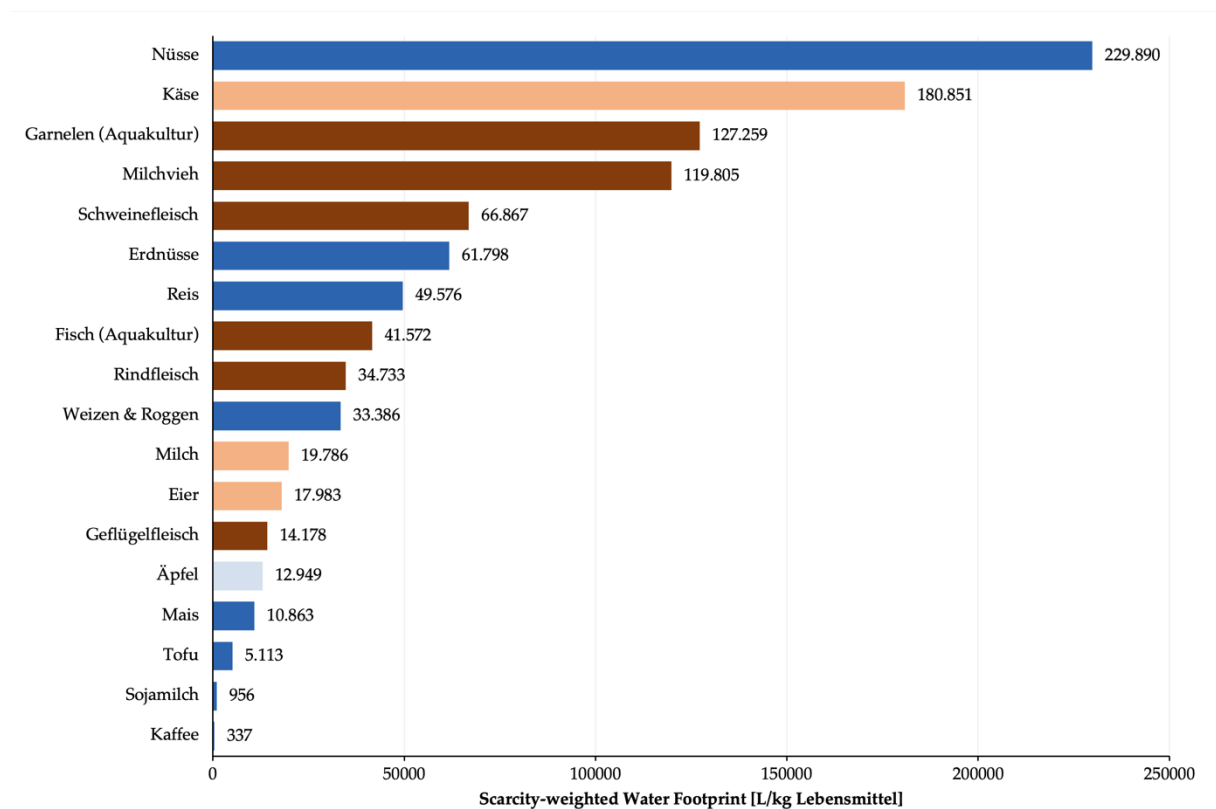


Abbildung 36: Scarcity-weighted Water Footprint ausgewählter Lebensmittel. Dargestellt ist der durchschnittliche Verbrauch als Gesamtwasser. In dunkelbraun sind Fleisch und Fisch, in hellbraun tierische Produkte (ohne Fleisch und Fisch) dargestellt. In dunkelblau sind pflanzliche Produkte außer Obst und Gemüse, in hellblau Obst und Gemüse dargestellt. Eigene Darstellung nach (Poore & Nemecek, 2018).

Da der Wasserverbrauch besonders in ariden Regionen eine große Rolle spielt, haben Poore und Nemecek zahlreiche Lebensmittel auf ihren CO₂-e-Fußabdruck, Flächenfußabdruck und Knappheits-gewichteten-Wasserfußabdruck („Scarcity-weighted Water Footprint“) untersucht (Poore & Nemecek, 2018). Der Knappheits-gewichtete-Wasserfußabdruck berücksichtigt die aktuelle Wasserknappheit der jeweiligen Anbauregion und ermittelt für diese einen Faktor, der mit dem virtuellen Wasserfußabdruck multipliziert wird. Daraus ergibt sich ein Wasserverbrauch, der die Produktion von Lebensmitteln

berücksichtigt, die nur oder überwiegend in kritischen Regionen angebaut werden. Für ausgewählte Lebensmittel ist der Scarcity-weighted Water Footprint in Abbildung 36 dargestellt. Für viele der dargestellten Lebensmittel liegt der Wasserverbrauch höher als der tatsächliche Wasserverbrauch in der Schätzung nach Mekonnen und Hoekstra. Besonders auffällig ist dies für Nüsse, bei welchen der Scarcity-weighted Water Footprint ca. 25-mal höher als der virtuelle tatsächliche Wasserverbrauch liegt. Dies ist vor allem auf die Regionen zurückzuführen, in denen Nüsse angebaut werden. Hier liegt eine höhere Wasserknappheit als in anderen Regionen der Erde vor, sodass ein besonders hoher Gewichtungsfaktor verwendet wurde (Poore & Nemecek, 2018). Lebensmittel, die in weniger von Wasserknappheit bedrohten Regionen angebaut werden (z.B. Kaffee) zeigen im Verhältnis geringere Unterschiede zum tatsächlichen virtuellen Wasserfußabdruck. Hoekstra kritisiert die Abbildung eines Wasserfußabdruckes, der die regionale Wasserknappheit mit einbezieht. Dies führt er unter anderem darauf zurück, dass der tatsächliche Wasserverbrauch, der anzeigt, ob Regionen in Zukunft von Wasserknappheiten betroffen sein können, an Bedeutung verliere und eine Aufschlüsselung des Wasserfußabdruckes in grünes, blaues und graues Wasser durch die Faktorisierung nicht mehr möglich sei. Die Differenzierung in Wassertypen ermögliche allerdings eine bessere Einschätzung, ob Kippunkte in Bezug auf Wasserkörper schneller oder langsamer erreicht würden und nicht lediglich die aktuelle Wasserknappheit ein ausreichender Indikator für die Umweltverträglichkeit des Wasserfußabdruckes eines Lebensmittels sei (Hoekstra, 2016).

Flächenfußabdruck

Mit dem Flächenfußabdruck wird die Fläche bezeichnet, die ein bestimmter Bezugspunkt (ein Lebensmittel, eine Person, eine Nation) für seine Produktion oder durch seine Nutzung direkt oder indirekt in Anspruch nimmt (Giljum et al., 2013). Der Flächenfußabdruck ist damit ein Indikator, welchen Einfluss ein Produktionsgut oder eine Nation auf seine Umgebung hat, und inwiefern Landflächen in ihrem Nutzen gewandelt werden. Damit steht der Flächenfußabdruck in direktem Zusammenhang zur planetaren Belastbarkeitsgrenze des Landnutzungswandels (Steffen, Richardson, et al., 2015). Der Landnutzungswandel wird als Parameter für die planetare Belastbarkeit überwacht, da er unter anderem direkten Einfluss auf den Kohlenstoff-Kreislauf hat, seit 1850 ungefähr 30 % der anthropogenen Treibhausgasemissionen verursacht hat (Houghton & Hackler, 2001) und durch die Zerstörung, Zerstückelung und Veränderung von Ökosystemen einen hohen Einfluss auf den Rückgang der genetischen Artenvielfalt hat (Pimm & Raven, 2000).

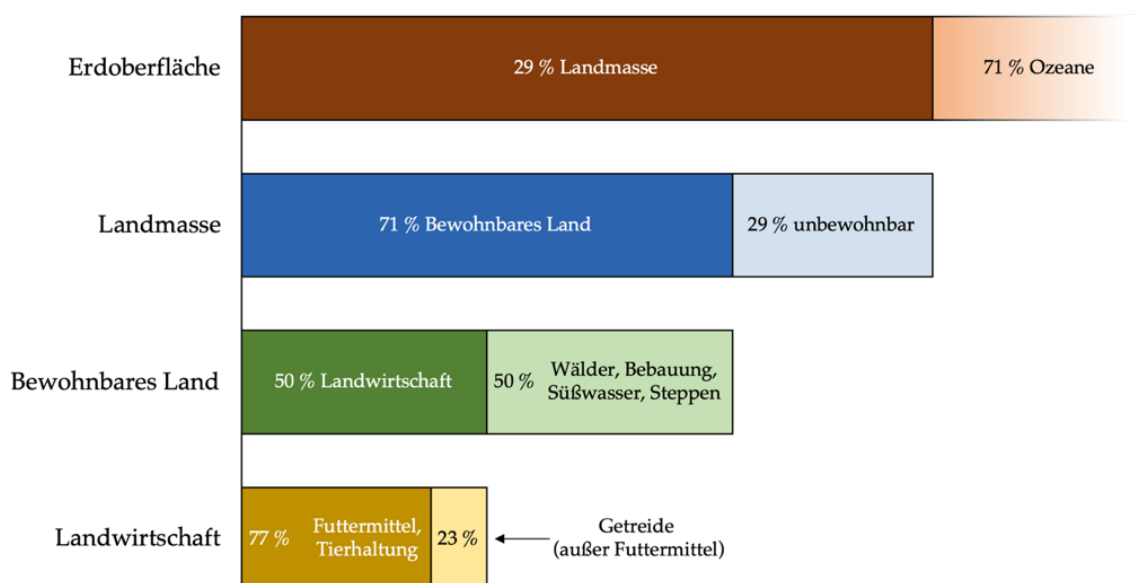


Abbildung 37: Flächenverteilung auf der Erde. Abbildung verändert nach (Ritchie & Roser, 2019).

Einen großen Einfluss auf den Landnutzungswandel hat die Produktion von Lebensmitteln, da für den Anbau von Pflanzen und die Haltung von Tieren Acker- und Weidefläche von Nöten sind. In den letzten 40 Jahren hat sich die weltweit genutzte Fläche für Acker- und Weideflächen um etwa 12 % erhöht (Foley et al., 2005). Bezogen auf die gesamte Landmasse der Erde können 71 % als bewohn- bzw.

bestellbar angesehen werden. Die verbleibenden 29 % sind aufgrund extremer Umweltbedingungen (Wüsten und Eiswüsten) oder durch enorme Steigungen (Gebirge) nicht zugänglich. 50 % der bewohn- und bestellbaren Flächen der Erde werden für landwirtschaftliche Zwecke genutzt, die anderen 50 % verbleiben für Wälder, Bebauung, Süßwasserkörper und ungenutzte Gebiete. Zu 77 % werden die landwirtschaftlichen Flächen für Weideland oder aber Ackerflächen zur Futtermittelproduktion genutzt, 23 % entfallen auf Anbauflächen für Getreide oder weitere Nutzpflanzen, die nicht zur Futtermittelproduktion gedacht sind (Abbildung 37) (Ritchie & Roser, 2019).

Zur Ermittlung des Flächenfußabdruckes verschiedener Lebensmittel wird nicht nur der direkte Flächenverbrauch (z.B. Weideland für Nutztiere), sondern auch der indirekte Flächenverbrauch (z.B. Ackerfläche für Futtermittel für Nutztiere) berücksichtigt. Der Flächenfußabdruck ausgewählter Lebensmittel ist in Abbildung 38 dargestellt.

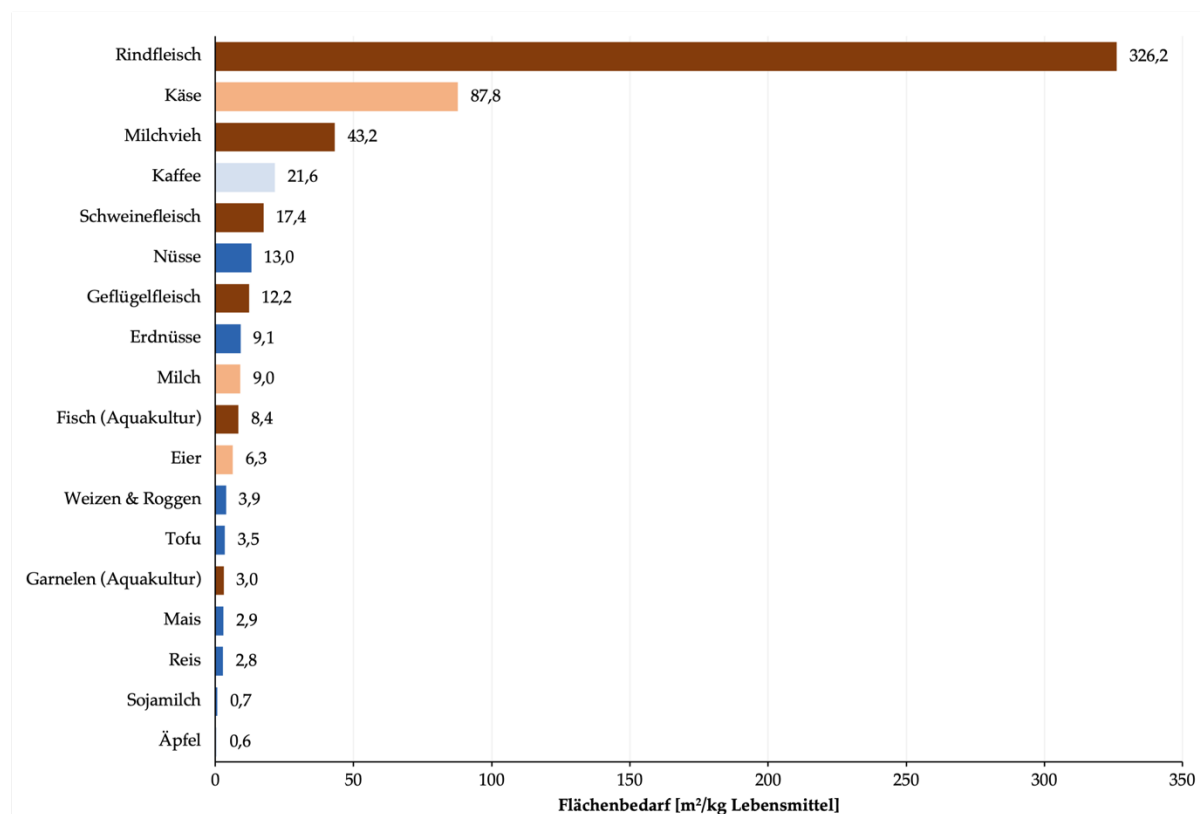


Abbildung 38: Durchschnittlicher Flächenbedarf ausgewählter Lebensmittel. In dunkelbraun sind Fleisch und Fisch, in hellbraun tierische Produkte (o. Fleisch und Fisch) dargestellt. In dunkelblau sind pflanzliche Produkte außer Obst und Gemüse, in hellblau Obst und Gemüse dargestellt. Eigene Darstellung nach (Poore & Nemecek, 2018).

Im Vergleich zu allen anderen dargestellten Lebensmitteln weist Rindfleisch einen besonders hohen Flächenbedarf auf. Dies liegt zum einen in der vergleichsweise großen Menge an Futtermitteln, die nötig ist, um Rinder zu züchten (vgl. Tabelle 20) und in der Art der Tierhaltung: Während andere Tiere wie Schweine und Geflügel überwiegend in Ställen und Mastanlagen gehalten werden, wird ein großer Teil von Rindern, die zur Fleischproduktion gezüchtet werden, auf Weideflächen gehalten. Dies erklärt auch den großen Unterschied zu Fleisch aus Milchvieh, welches oft bestallt gehalten wird und den hohen Flächenbedarf von Käse, der zumeist aus Kuhmilch, seltener aus Milch von anderen Tieren (z.B. Ziegen) produziert wird.

Gesamtbilanz

Im vorherigen Abschnitt wurden die Umweltverträglichkeit, der CO₂-Fußabdruck, der Wasserfußabdruck und der Flächenfußabdruck ausgewählter Lebensmittel verglichen. Eine Betrachtung dieser Parameter lässt eine Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeitsbilanz eines Lebensmittels zu. Poore und Nemecek haben in einer Review-Studie verschiedene Lebensmittel auf diese Parameter untersucht, wobei die Umweltverträglichkeit durch das Azidifikationspotential in g SO₂-e/kg Lebensmittel und das Eutrophierungspotential in g PO₄³⁻-e/kg Lebensmittel gemessen wurden (Poore & Nemecek, 2018).

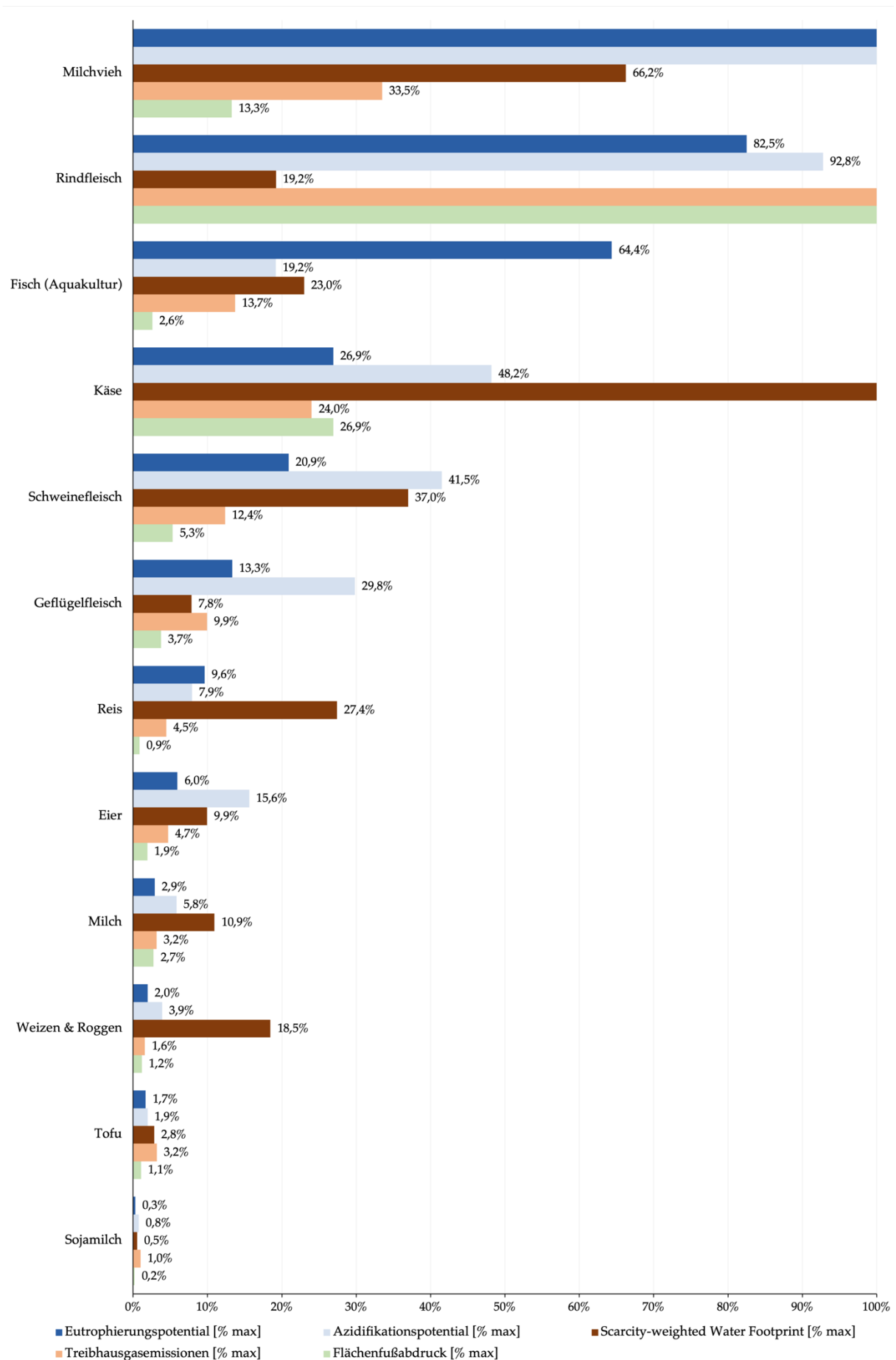


Abbildung 39: Gesamtumweltbilanz ausgewählter Lebensmittel. Die einzelnen Parameter sind normiert auf den Maximalwert innerhalb der dargestellten Lebensmittel. Eigene Darstellung nach (Poore & Nemecek, 2018).

In Abbildung 39 sind die ausgewählten Lebensmittel auf den für jeden Parameter innerhalb der Gruppe vorliegenden Maximalwert normiert, sodass eine Vergleichbarkeit der Lebensmittel für jeden einzelnen der Umweltparameter gegeben ist. Es ist zu erkennen, dass tierische Produkte die planetaren Grenzen zumeist stärker belasten als pflanzliche Produkte. Deutliche Unterschiede sind allerdings auch in der Art der tierischen Produkte zu erkennen. So führt eine vegetarische Ernährungsweise, bei der auf den Konsum von Fleisch und Fisch verzichtet wird, zu einer stark erhöhten Umweltverträglichkeit (Eutrophierungspotential und Azidifikationspotential) und zu einem reduzierten Flächen- und CO₂-Fußabdruck. Produkte von Rindern (Rindfleisch, Fleisch von Milchvieh, Milch) belasten die Umwelt hinsichtlich aller dargestellten Parameter besonders stark. Ein großer Unterschied liegt daher auch zwischen Produkten von Rindern und anderen tierischen Produkten (Schweine- und Geflügelfleisch, Fisch und Eier) vor. Eine vegane Ernährungsweise zeigt im Vergleich den geringsten ökologischen Fußabdruck. Von allen abgebildeten Lebensmitteln sind Produkte auf Basis von Sojamilch, Tofu (Soja) und Getreide am umweltschonendsten. Zu berücksichtigen ist der verhältnismäßig hohe Scarcity-weighted Water Footprint von Reis, der über dem Fußabdruck von Rindfleisch, Fisch, Geflügel, Eiern und Milch liegt.

Planetary Health Diet

Um eine Ernährung abzubilden, die sowohl ernährungsphysiologisch als vollwertig ist, aber auch mit den planetaren Belastbarkeitsgrenzen im Einklang steht, haben Willett et al. im Jahr 2019 die „Planetary Health Diet“ publiziert (Willett et al., 2019). Die Autor:innen fassen dabei zehn Ziele und Forderungen als Kernaussagen der Planetary Health Diet zusammen:

1. Eine ungesunde und nicht nachhaltige Ernährung stellt ein großes Risiko für alle Menschen dar. Die globale Lebensmittelproduktion ist der größte negative Einfluss auf die menschliche Gesundheit und die Intaktheit der Ökosysteme.
2. Die aktuellen Ernährungstrends werden zusammen mit der steigenden Weltbevölkerung die Risiken für Menschen und die Erde deutlich verschärfen.
3. Eine Transformation zu einer gesunden und nachhaltigen Ernährungsform ist notwendig, um die SDGs der Vereinten Nationen und das Pariser Klimaabkommen erfüllen zu können.
4. Eine gesunde Ernährung bedarf einer angemessenen Energiezufuhr und des Verzehrs vieler verschiedener pflanzenbasierter Lebensmittel, aber nur weniger tierbasierter Lebensmittel. Ungesättigte Fette sind gesättigten Fetten, raffiniertem Getreide, hochprozessierten Lebensmitteln und zugesetzten Zuckern vorzuziehen.
5. Um eine Transformation bis 2050 erreichen zu können, muss der weltweite Konsum ungesunder Lebensmittel mehr als halbiert und der Konsum gesunder Lebensmittel mehr als verdoppelt werden.
6. Eine Transformation hin zu einer gesunden Ernährung kann weltweit jährlich 10,8–11,6 Millionen Tode vermeiden, was einer Reduktion von 19,0–23,6 % gleichkommt.
7. Um eine nachhaltige Ernährung gewährleisten zu können, sollte die zukünftige Produktion trotz steigender Weltbevölkerung keine weiteren Flächen beanspruchen, die existierende Biodiversität schützen, den Wasserfußabdruck verringern, Stickstoff- und Phosphoreinträge vermeiden, *keinerlei* Kohlenstoffdioxid freisetzen und die freigesetzten Mengen an Methan und Stickoxiden nicht erhöhen.
8. Die Transformation zu einer nachhaltigen Ernährung bedarf bis 2050 einer Reduktion der sogenannten *Yield Gaps* (dt. Brachzeiten), einer weltweiten Neuverteilung der Stickstoff- und Phosphordünger, einer raschen Implementation von Kohlenstoffdioxid-vermeidender Landwirtschaft und einem fundamentalen Wechsel der Produktionsprioritäten.
9. Die Ziele einer gesunden und nachhaltigen Ernährung stehen in einer wechselseitigen Beeinflussung mit einer Erfüllung der SDGs.
10. Um eine gesunde und nachhaltige Ernährung zu erreichen, bedarf es substantieller Änderungen der Ernährungsweisen jedes Einzelnen, deutliche Verminderungen von Lebensmittelverlusten und -abfällen und deutliche Verbesserungen in der Lebensmittelproduktion. Eine rechtzeitige Umstellung auf eine gesunde und nachhaltige Ernährung kann noch erreicht werden.

(Willett et al., 2019)

Zur Erreichung dieser Ziele und Forderungen haben die Autor:innen eine Referenzernährung entwickelt, die zum einen vollwertig und gesund, zum anderen im Sinne der planetaren Belastbarkeitsgrenzen nachhaltig ist. Im Vergleich zu einer in den westlichen Ländern üblichen Ernährung ist eine

deutliche Verringerung des Fleischkonsums (allerdings kein vollständiger Verzicht) und eine deutliche Reduktion zugesetzter Zucker zu erkennen. Im Gegensatz dazu sollte die Zahl an verschiedenen Gemüsesorten und Früchten deutlich erhöht werden. Die in der Empfehlung angegebenen Mengen sind dabei Richtwerte für die tägliche Zufuhr und können ebenfalls im Durchschnitt erreicht werden. Die tatsächlichen Zufuhrmengen sind von der körperlichen und gesundheitlichen Verfassung, dem Alter, dem Geschlecht, möglichen Erkrankungen und der Qualität der Lebensmittel abhängig (Tabelle 21) (Willett et al., 2019).

Tabelle 21: Referenzwerte der Planetary Health Diet nach (Willett et al., 2019). Berechnet für eine Kalorienzufuhr von 2500 kcal/d.

Lebensmittel(-kategorie)	Makronährstoffzufuhr [g/d]	Kalorienzufuhr [kcal/d]
Vollkörner¹		
Reis, Weizen, Meis und andere	232	811
Knollen und stärkehaltige Gemüse		
Kartoffeln und Maniok	50 (0–100)	39
Gemüse		
Alle Gemüse (Gesamt)	300 (200–600)	↓
(Dunkel)Grünes Gemüse	100	23
Rotes und oranges Gemüse	100	30
Anderes Gemüse	100	25
Früchte		
Alle Früchte (Gesamt)	200 (100–300)	126
Milchprodukte		
Vollmilch oder Derivate als Äquivalent (z.B. Käse)	250 (0–500)	153
Proteinquellen²		
Rindfleisch und Lammfleisch	7 (0–14)	15
Schweinefleisch	7 (0–14)	15
Hühnerfleisch und Geflügelfleisch	29 (0–58)	62
Eier	13 (0–25)	19
Fisch und Meeresfrüchte (tierisch)	28 (0–100)	40
Trockenbohnen, Linsen und Erbsen (Leguminosen) ¹	50 (0–100)	172
Sojabasierte Lebensmittel (Leguminosen)	25 (0–50)	112
Erdnüsse (Leguminosen)	25 (0–75)	142
Nüsse	25	149
Zugesetzte Fette		
Palmöl	6,8 (0–6,8)	60
Ungesättigte Öle ³	40 (20–80)	354
Milchfette (bereits in Milchprodukten einbezogen)	0	0
Schmalz und Talg ⁴	5 (0–5)	36
Zugesetzte Zucker		
Alle Süßungsmittel (Gesamt)	31 (0–31)	120

¹Weizen, Reis, Trockenbohnen und Linsen berechnet als trocken und roh.

²Rindfleisch, Lammfleisch und Schweinefleisch können gegenseitig miteinander ausgetauscht werden. Hühnerfleisch und Geflügelfleisch ist austauschbar mit Fisch, Eiern und pflanzlichen Proteinquellen. Alle Leguminosen können gegenseitig miteinander ausgetauscht werden.

³Ungesättigte Öle sollten zu je 20 % aus Oliven-, Soja-, Raps-, Sonnenblumen- und Erdnussöl bestehen.

⁴Berechnet als zugesetzter oder rein verzehrter Schmalz und Talg. Nicht berücksichtigt werden Schmalz und Talg, die in Schweinefleisch oder Rind- und Lammfleisch enthalten sind.

3.2.6 Vegetarische und vegane Fleischersatzprodukte

Als Fleischersatzprodukte, Fleischersatz, Fleischalternative oder Fleischimitat werden Lebensmittel bezeichnet, die in ihren Eigenschaften Fleisch ähneln sollen, ohne aus Fleisch von Tieren produziert worden zu sein. Die Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission DLMBK, die dem BMEL untersteht, definiert die Beschaffenheitsmerkmale von Ersatzprodukten in ihrer Sensorik (Aussehen, Geruch, Geschmack, Textur/Konsistenz, Mundgefühl), ihrem Energie- und Nährstoffgehalt, ihrem Gehalt an ernährungsphysiologisch relevanten Inhaltsstoffen und anderen relevanten Stoffen, ihren verwendeten Zusatzstoffen und Aromen sowie ihrer Haltbarkeit als vergleichbar mit Produkten auf Fleischbasis (DLMBK, 2018). Vegetarische Fleischersatzprodukte enthalten oft als Proteinbasis Ei bzw. Eiklar von Hühnern, vegane Fleischersatzprodukte basieren oft auf Soja, Hülsenfrüchten oder Seitan bzw. deren Proteinisolate. Darüber hinaus gibt es Fleischersatz auf Basis von Insekten bzw. Insektenprotein sowie hybriden Fleischersatz, bei dem pflanzliche Produkte mit Fleisch gemischt („gestreckt“) werden. Beide Ersatzproduktarten stellen allerdings im engeren Sinne keinen vegetarischen oder veganen Fleischersatz dar. (Frezal et al., 2022)

Da Fleischersatzprodukte Fleischprodukte imitieren sollen, bietet der Markt für Fleischersatz auch verschiedene Produkte an, die in ihren jeweiligen Eigenschaften dem imitierten Fleischprodukt gleichkommen sollen. Um einen Verweis auf das jeweils imitierte Produkt zu schaffen, können Fleischersatzprodukte nach dem imitierten Produkt benannt werden, sofern ein Hinweis darauf gegeben wird, dass es sich um ein vegetarisches oder veganes Produkt handelt. Dabei ist die Bezeichnung der Fleischersatzprodukte mit gleichem Namen wie das imitierte Produkt nicht üblich, wenn das imitierte Produkt ein speziell gewachsenes Fleischstück (z.B. -Filet oder -Steak) oder aber eine spezifische Wurstware (z.B. Lyoner oder Salami) darstellt. Eine identische Benennung mit dem Vorwort „vegetarisch“ oder „vegan“ (oder der Proteinbasis, wie z.B. Tofu- oder Seitan-) ist hingegen üblich, sofern es sich um geschnittene Fleischstücke (z.B. -Schnitzel, -Gulasch oder -Geschnetzeltes) oder um gewolfte Fleischprodukte (z.B. -Frikadellen) handelt. Ebenfalls ist eine identische Benennung üblich, wenn nicht die spezifische Wurstware, sondern die Kategorie der Wurstware angeführt wird (z.B. -Streichwurst, -Bratwurst). Eine vergleichende Benennung ist immer dann erlaubt, wenn das Ersatzprodukt eine weitgehende sensorische Ähnlichkeit zum Fleischprodukt aufweist. Fleischersatzprodukte, deren Benennung nach einem Fleischprodukt unüblich ist, werden zumeist als z.B. „vegane Tofu-Wurst nach Salami-Art“ o.ä. genannt. (DLBMK, 2018)

Der Absatzmarkt für Fleischersatzprodukte ist in den letzten Jahren stark gestiegen. In den letzten Jahren betrug die jährliche Wachstumsrate zwischen 25 und 30 % (Heinrich Böll Stiftung et al., 2021; Leitzmann & Keller, 2020). In Deutschland ist der Umsatz mit Fleischersatzprodukten beispielsweise von 2012–2015 von 115,6 Millionen Euro auf 310,7 Millionen Euro gestiegen (Gesamtwachstum 169 %), während gleichzeitig der deutsche Absatzmarkt für Fleischprodukte im gleichen Zeitraum um 20 % gesunken ist (GfK, 2016). In den kommenden Jahren ist mit einem weiteren Anstieg des Absatzmarktes für Fleischersatzprodukte zu rechnen. Darüber hinaus steigt auch der Absatzmarkt für kultiviertes Fleisch, d.h. Fleisch, das *in vitro* erzeugt worden ist (z.B. als „Fleisch aus dem 3D-Drucker“). Gleichermaßen ist nach aktuellen Prognosen davon auszugehen, dass der Absatzmarkt für konventionelle Fleischprodukte weiterhin sinken wird (Abbildung 40).

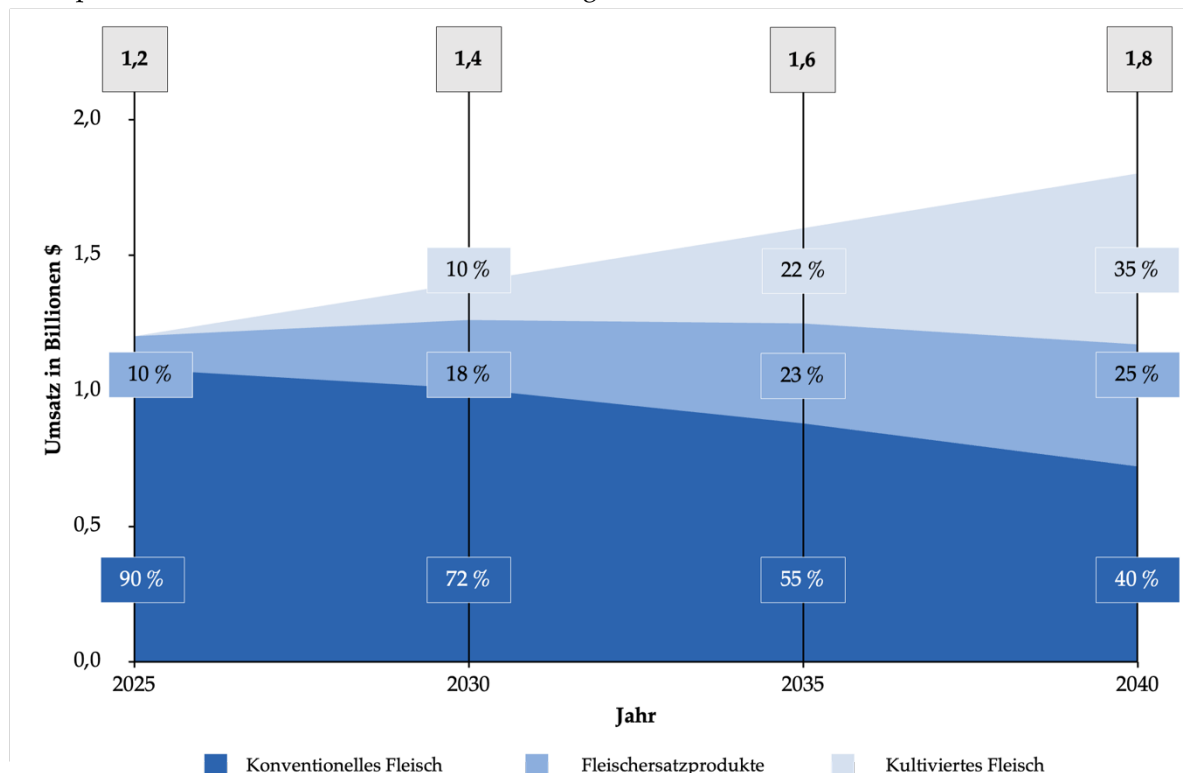


Abbildung 40: Prognostizierter Umsatz mit Fleisch, Fleischersatz und kultiviertem Fleisch bis 2040 (global). Eigene Darstellung nach (Heinrich Böll Stiftung et al., 2021).

Ungefähr 50 % der Deutschen haben angegeben, mindestens einmal Fleischersatzprodukte verzehrt zu haben. Damit hat auch ein großer Teil der omnivor bzw. flexitarisch lebenden Deutschen bereits auf Fleischersatzprodukte zurückgegriffen. Als Gründe für den Verzehr werden vorrangig Neugier (75 %), Gründe des Tierwohls (71 %), der Geschmack der Produkte (64 %) und der Klimaschutz (64 %) angegeben (BMEL, 2022). Viele Fleischersatzprodukte zählen zu den *Convenience-Produkten*, die einen

unmittelbaren Verzehr mit möglichst wenigen Verarbeitungs- und Zubereitungsstufen durch Endkonsument:innen ermöglichen. Da Convenience-Produkte aufgrund ihrer (namensgebenden) bequemen Zubereitung auch lange haltbar sein sollen, gehören sie zu den hochprozessierten Lebensmitteln, denen zumeist Zusatzstoffe zur Verbesserung verschiedener Eigenschaften zugesetzt werden (vgl. Kapitel 3.2.2). Häufig wird Fleischersatzprodukten ein ungesunder Charakter vorgeworfen, da der Einsatz von Zusatzstoffen, sowie ein hoher Energie- und Salzgehalt in Fleischersatzprodukten häufiger aufträte als in Produkten auf Fleischbasis. Eine Untersuchung, in welcher vegetarische und vegane Fleischersatzprodukte bezüglich ihres Energiegehaltes, ihrer Nährstoffzusammensetzung, ihres Salzgehaltes und der eingesetzten Zusatzstoffe untersucht und die Ergebnisse vergleichbaren Fleischprodukten gegenübergestellt worden sind, ergab, dass Fleischersatzprodukte im Mittel etwas geringere Energiegehalte, ähnliche Proteingehalte und geringere Gehalte an Gesamtfett und gesättigten Fettsäuren aufweisen. Bei beiden Typen wurde der gemessene Salzgehalt als zu hoch angesehen, fällt allerdings bei Ersatzprodukten im Mittel etwas höher als bei Fleischprodukten aus. Differenzierter fällt die Betrachtung der eingesetzten Zusatzstoffe aus: Weisen vegetarische Fleischersatzprodukte aus ökologischer Herstellung im Durchschnitt einen Zusatzstoff auf, sind es bei konventionellen vegetarischen Fleischersatzprodukten 2,5. Vegane Fleischersatzprodukte enthalten im Durchschnitt 3,5 Lebensmittelzusatzstoffe, bei Fleischprodukten werden im Schnitt ähnlich viele oder mehr Zusatzstoffe eingesetzt, sofern es sich um abgepackte, gepökelte Produkte (z.B. Wurstwaren) handelt (Huber & Keller, 2017). Insgesamt können allerdings sowohl Fleischprodukte als auch Fleischersatzprodukte aufgrund des hohen Prozessierungsgrades als eher ungesund betrachtet werden. Dies ist ebenfalls auf Kontaminierungen, besonders in Form von Erdölrückständen zurückzuführen, die sowohl in Fleisch als auch Fleischersatzprodukten auftreten (Ökotest, 2016).

3.3 Konzeption des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II

3.3.1 Grundlagen und Ablauf des Schülerlaborsettings

Das Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I wurde im Kontext des Schülerlabores GreenLab_OS von Walf und Budke konzipiert, erprobt und evaluiert (Budke et al., 2019; Walf, 2016). Der zentrale Fokus dieses Schülerlaborsettings liegt darauf, klassische Stofftrennverfahren und Nachweisreaktionen zu nutzen, um ein konventionelles und ein vegetarisches Fleisch- bzw. Fleischersatzprodukt differenzieren zu können. Das im Rahmen dieser Arbeit entwickelte Schülerlaborsetting adaptiert das Setting der Sekundarstufe I für die Sekundarstufe II und erweitert die zu untersuchenden Produkte um ein veganes Produkt. Der Fokus liegt dabei nicht mehr überwiegend auf Stofftrennverfahren, sondern quantitativen, halbquantitativen und qualitativen Analysemethoden aus der Lebensmittelchemie. Hierfür wurden zunächst ein konventionelles, ein vegetarisches und ein veganes Fleisch- bzw. Fleischersatzprodukt ausgewählt und untersucht. Die zunächst dazu verwendeten Produkte waren die Mortadella-Erzeugnisse der Firma *Rügenwalder Mühle* („Schinken Spicker Mortadella“ und „Vegetarischer Schinken Spicker Mortadella“). Als veganes Produkt wurde der „Vegane Aufschnitt nach Lyoner Art“ der Firma *EDEKA* verwendet (Abbildung 41). Die Produkte werden der Einfachheit halber im Folgenden als konventionelle, vegetarische und vegane Mortadella bzw. Wurst bezeichnet.



Abbildung 41: Zunächst im Schülerlabor verwendete Wurstprodukte. **A** Schinken Spicker Mortadella der Firma Rügenwalder Mühle, **B** Vegetarischer Schinken Spicker Mortadella der Firma Rügenwalder Mühle, **C** Vegane Aufschnitt nach Art Lyoner der Firma EDEKA.

Die Nährwertangaben und Inhaltsstoffe der verschiedenen Produkte unterliegen regelmäßigen produktionsbedingten Schwankungen, die für die Experimente im Rahmen des Schülerlabores allerdings keine oder nur eine unwesentliche Rolle spielen, da die Abweichungen meist $< 5\%$ betragen. In Abbildung 42 sind die Inhaltsstoffe und Nährwerte der drei verwendeten Produkte mit Stand Januar 2021 dargestellt. Die Inhaltsstoffe sind zur besseren Übersicht zum Teil vereinfacht, bzw. gekürzt. Im Rahmen der Entwicklung des Schülerlaborsettings ergab sich eine Änderung, da das vegetarische Produkt der Firma Rügenwalder vom Markt genommen wurde und durch ein veganes Ersatzprodukt ersetzt worden ist. Das vegane Ersatzprodukt zeigte ähnliche Inhaltsstoffe und Nährwertangaben wie das zuvor im Schülerlabor verwendete Produkt der Firma EDEKA. So sind beispielsweise der Salzgehalt und Gehalt an ungesättigten Fettsäuren identisch, der Brennwert nahezu gleich. Lediglich der Einsatz färbender Lebensmittel unterscheidet sich (vgl. Kapitel 3.3.5). Als vegetarisches Ersatzprodukt wurden verschiedene Produkte verwendet, da der Markt für diese Produkte einer recht starken Fluktuation unterliegt. Beispielsweise wurde dazu die vegetarische Mortadella der Firma Gutfried verwendet, die ähnliche Inhaltsstoffe und Nährwerte wie die vegetarische Mortadella der Firma Rügenwalder zeigt. Da die Lebensmittel aufgrund des Haltbarkeitsdatums nur bedarfsgerecht bezogen werden können, wurden die Arbeitsmaterialien für die Schüler:innen nicht angepasst und die Produkte unter den zuvor festgelegten Labeln benannt. Die Experimente mussten aufgrund der Änderungen nur in einem Fall angepasst werden, da alle weiteren Eigenschaften der substituierten Produkte nicht verändert worden sind. Für die Schüler:innen tritt somit keine Veränderung des Schülerlaborsettings ein, was im Hinblick auf eine Vergleichbarkeit in der Fragebogenstudie bewusst gewählt wurde. Das Schülerlaborsetting ist

– entsprechend des grundlegenden Aufbaus des Schülerlabores GreenLab_OS (vgl. Kapitel 3.1) – in drei Phasen unterteilt (Tabelle 22). Das Schülerlaborsetting ist insgesamt auf einen Schultag mit fünf Schulstunden ausgelegt.

Tabelle 22: Schematischer Ablauf des Schülerlaborsettings "Es geht um die Wurst" für die Sekundarstufe II. Die Dauer der jeweiligen Phasen beinhaltet Pausenzeiten für die Schüler:innen.

Phase	Dauer	Inhalt / Erwartetes Verhalten der Schüler:innen
Einführung und Blindverkostung	45'	Blindverkostung der drei Wurstprodukte und vermutete Identifikation der Produkte. Untersuchung der Inhaltsstoffe und Nährwerte. Planung von Experimenten zur Identifikation der Inhaltsstoffe. Sicherheitseinstellung.
Experimental- und Erarbeitungsphase	180'	Durchführung der sieben Experimentalstationen und der Bewertungsstation.
Abschlussbesprechung und Diskussion	45'	Erneute Identifikation der Produkte anhand der gewonnenen Erkenntnisse aus der Experimental- und Erarbeitungsphase. Diskussion der Nachhaltigkeit und Gesundheit der drei untersuchten Produkte.

Zu Beginn des Labortages entwickeln die Schüler:innen sensorische Kriterien, mit welchen sie das konventionelle, vegetarische und vegane Wurstprodukt voneinander unterscheiden können (Geschmack, Geruch, Optik, Konsistenz/Textur). Die Produkte werden den Schüler:innen als Wurstproben „A“, „B“ und „C“ vorgestellt, sodass eine direkte Zuordnung nicht möglich ist. Anschließend untersuchen die Schüler:innen anhand der von ihnen aufgestellten Kriterien die drei Produkte A, B und C und treffen anonym und individuell eine Entscheidung, welches der Produkte fleischig, welches vegetarisch und welches vegan ist (Blindverkostung). In der darauffolgenden Befragung wird erörtert, anhand welcher der Kriterien sich die Schüler:innen für welches Produkt entschieden haben und ob ihnen eine eindeutige Zuordnung möglich war. Meist ist eine eindeutige Zuordnung anhand der sensorischen Untersuchung nicht möglich, sodass im Folgenden die Nährwert- und Inhaltsstoffliste der drei Produkte gezeigt wird (vgl. Abbildung 42). Die Schüler:innen sollen zunächst Unterschiede und Gemeinsamkeiten in den Tabellen der drei Produkte finden und im Plenum mögliche Experimente skizzieren, die genutzt werden können, um die Produkte auf chemisch-analytischem Weg zu differenzieren. Die Schüler:innen werden bei der Planung der Experimente von Seiten der Betreuer:innen unterstützt.

<p>Schinken Spicker Mortadella</p> <p>100 g enthalten durchschnittlich:</p> <p>Brennwert 961 kJ</p> <p>Fett 20 g</p> <p>davon</p> <p>Gesättigte Fettsäuren 7,7 g</p> <p>Einfach ungesättigte Fettsäuren 9,7 g</p> <p>Mehrfach ungesättigte Fettsäuren 2,6 g</p> <p>Kohlenhydrate 1,0 g</p> <p>davon</p> <p>Zucker 1,0 g</p> <p>Eiweiß 12 g</p> <p>Salz 2,2 g</p> <p>Zutaten:</p> <p>74 % Schweinefleisch, Trinkwasser, Kochsalz, Traubenzucker, Glucosesirup, Gewürze, Gewürzextrakte, Stabilisator: Diphosphate; Antioxidationsmittel: Ascorbinsäure (Vitamin C); Konservierungsstoff: Natriumnitrit.</p>	<p>Vegetarische Schinken Spicker Mortadella</p> <p>100 g enthalten durchschnittlich:</p> <p>Brennwert 643 kJ</p> <p>Fett 15 g</p> <p>davon</p> <p>Gesättigte Fettsäuren 1,2 g</p> <p>Einfach ungesättigte Fettsäuren 9,5 g</p> <p>Mehrfach ungesättigte Fettsäuren 4,3 g</p> <p>Kohlenhydrate 2,1 g</p> <p>davon</p> <p>Zucker 1,7 g</p> <p>Stärke <0,5 g</p> <p>Eiweiß 7,8 g</p> <p>Salz 2,4 g</p> <p>Zutaten:</p> <p>Trinkwasser, 14 % Rapsöl, 9 % Eiklar, Ballaststoffe aus Zichorie und Mais, Kochsalz, Verdickungsmittel: Xanthan, Johannisbrotkernmehl, Tarakernmehl; natürliches Aroma, Zucker, Gewürze, Farbstoffe: Paprikaextrakt.</p>	<p>Vegane Aufschnitt Lyoner</p> <p>100 g enthalten durchschnittlich:</p> <p>Brennwert 487 kJ</p> <p>Fett 11,7 g</p> <p>davon</p> <p>Gesättigte Fettsäuren 0,9 g</p> <p>Einfach/mehrfach unges. Fettsäuren 10,8 g</p> <p>Kohlenhydrate 3,8 g</p> <p>davon</p> <p>Zucker 2,9 g</p> <p>Eiweiß 8,1 g</p> <p>Salz 2,7 g</p> <p>Zutaten:</p> <p>Wasser, Rapsöl, Sojaproteinisolat, Verdickungsmittel: Carrageen, Konjak, Guarkernmehl; fermentierte Zwiebel, Dextrose, Gewürze, Erbsenproteinisolat, jodiertes Speisesalz, Gewürzextrakte, Zucker, Aromen, Farbstoff: Anthocyane, Carotine.</p>
---	---	--

Abbildung 42: Nährwertangaben und Inhaltsstoffe (vereinfacht) der drei im Schülerlabor untersuchten Fleisch bzw. Fleischersatzprodukte.

Die Experimente werden in der anschließenden Experimental- und Erarbeitungsphase in Kleingruppen von den Schüler:innen durchgeführt, nachdem diese eine für die Versuche spezifische Sicherheitseinstellung erhalten haben. Die Experimente sind zusammen mit einer weiteren Station zur Förderung der Bewertungskompetenz in Form eines Stationenlernens aufgebaut, sodass alle Schüler:innen die

Möglichkeit haben, alle Stationen im Laufe dieser Phase zu bearbeiten. Zusätzlich erhalten die Schüler:innen in gedruckter oder in digitaler Form Arbeitsmaterialien, die zur Bearbeitung der Experimentalstationen dienen und auf der vertiefende Aufgaben zu bearbeiten sind. Die im Rahmen dieser Phase durchgeführten Stationen sind in Abbildung 43 dargestellt.



Abbildung 43: Übersicht der im Schülerlaborsetting "Es geht um die Wurst" für die Sekundarstufe II durchgeführte Experimental- und Bewertungsstationen.

Im Anschluss an die Experimental- und Erarbeitungsphase tragen die Schüler:innen zunächst ihre Ergebnisse in den Kleingruppen und darauffolgend im Plenum zusammen. Dabei sollen die Schüler:innen sowohl den durchgeführten Versuch als auch die zugrundeliegenden fachlichen Hintergründe erläutern. Die Schüler:innen stimmen im Folgenden erneut anonym und individuell ab, welches der Produkte fleischig, welches vegetarisch und welches vegan ist. Der Schülerlabortag schließt mit einer Diskussion, in welcher diskutiert wird, welches der Produkte für die Ernährung der Schüler:innen am besten geeignet hinsichtlich der davon ausgehenden Gesundheits- und Nachhaltigkeitsbilanz erscheint.

3.3.2 Experiment 1: Bestimmung des Brennwertes (Kalorimetrie)

Hintergründe des Versuches

Mithilfe des physiologischen Brennwertes wird die chemische Energie von Lebensmitteln angegeben, die der menschliche Körper durch die Zellatmung verfügbar machen kann (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Der physiologische Brennwert ist für Lebensmittel entsprechend der *Lebensmittel-Informationsverordnung* in allen Mitgliedsstaaten der EU verpflichtend vom Lebensmittelhersteller auf der Verpackung in den Einheiten Kilojoule (kJ) und Kilokalorien (kcal) anzugeben (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2011). Der angegebene physiologische Brennwert wird nicht experimentell bestimmt, sondern anhand der jeweiligen Brennwerte der einzelnen Makronährstoffe des Lebensmittels berechnet (Tabelle 23) (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2011). Einem Lebensmittel, das beispielsweise in Massenanteilen zu 30 % aus Kohlenhydraten, zu 20 % aus Fetten und zu 10 % aus Proteinen besteht, wird daher ein physiologischer Brennwert von 1420 kJ/100 g zugeordnet.

Tabelle 23: Physiologischer Brennwert ausgewählter Lebensmittelkomponenten nach (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2011).

Nährstoff	Brennwert [kJ/g]	Brennwert [kcal/g]
Kohlenhydrate	17	4
Fette	37	9
Proteine	17	4
Ballaststoffe	8	2
Ethanol (Alkohol)	29	7

Der physiologische Brennwert ist ein wichtiger Kennwert für Lebensmittel, da anhand dieses Wertes die durch die Nahrung umgesetzte Energiemenge abgeschätzt werden kann. Zusammen mit der vom Körper umgesetzten Energie im Ruhezustand („Grundumsatz“) und in körperlicher Aktivität („Leistungsumsatz“) kann berechnet werden, ob ein Kalorienüberschuss oder ein Kaloriendefizit vorliegt. Über einen längeren Zeitraum vereinfachend betrachtet, kann dies ein Kennwert sein, der angibt, ob eine Person an Körpermasse zunehmen oder abnehmen wird. Besonders vor dem Hintergrund steigender Zahlen an über- und mangelernährten Personen, spielt der physiologische Brennwert sowohl in der individuellen Betrachtung als auch für Gruppen eine große Rolle (vgl. Kapitel 3.2). So kann der

durchschnittliche Energieumsatz einer Nation beispielsweise als Indikator für Wohlstand oder auch als Kennzeichen für eine nationale Mangel- oder Überernährung aufgefasst werden: Während die Länder mit dem höchsten Pro-Kopf-Einkommen (1. Quartil) einen durchschnittlichen Kalorienverbrauch von 14359 kJ pro Tag aufweisen, liegen die Länder mit dem geringstem Pro-Kopf-Einkommen (4. Quartil) bei lediglich 9573 kJ pro Tag (FAO, 2022).

Die konventionelle, vegetarische und vegane Mortadella unterscheiden sich stark in ihren physiologischen Brennwerten ($H_{s,p}$): Bezogen auf 100 g des jeweiligen Lebensmittels weist die konventionelle Mortadella einen Brennwert von 961 kJ, die vegetarische Mortadella einen Brennwert von 743 kJ und die vegane Mortadella einen Brennwert von 487 kJ auf. Die stark unterschiedlichen Brennwerte lassen sich dabei vorrangig auf die Fettgehalte der jeweiligen Produkte zurückführen, die rechnerisch ungefähr 70 % des physiologischen Brennwertes der Lebensmittel ausmachen (Tabelle 24). Die konventionelle Wurst weist mit einem Massenanteil von 20,0 % einen höheren Fettgehalt als die vegetarische (14,0 %) bzw. die vegane Wurst (9,0 %) auf. Da vor allem Fette einen hohen Einfluss auf den physiologischen Brennwert besitzen (vgl. Tabelle 23), weist die konventionelle Mortadella den höchsten physiologischen Brennwert der drei Wurstprodukte auf. In Bezug auf die Leitlinie zur Nährstoffrelation der DGE, die einen Brennwertanteil von 30 % durch Fette empfiehlt (vgl. Tabelle 9), zeigen alle drei Lebensmittel einen deutlich zu hohen Fettanteil. Zu berücksichtigen ist allerdings, dass die Wurstprodukte zumeist als Aufschnitt verwendet werden, sodass der Fettanteil der Speise durch die Kombination mit Brot oder anderen vergleichbaren stärkebasierten Nahrungsmitteln vermutlich geringer ausfällt. Weitere Unterschiede zeigen sich vor allem im Kohlenhydrat- und Proteinanteil, der bei der konventionellen Mortadella deutlich geringer (Kohlenhydrate) bzw. deutlich höher (Proteine) ausfällt.

Tabelle 24: Zusammensetzung des physiologischen Brennwertes und Nährstoffrelation von konventioneller, vegetarischer und veganer Mortadella. w = Massenanteil, $H_{s,p}$ = physiologischer Brennwert pro 100 g Lebensmittel, $H_{s,p}$ (anteilig) = Anteil der Nährstoffes am physiologischen Gesamtbrennwert des Lebensmittels.

Nährstoff	Konventionell			Vegetarisch			Vegan		
	w	$H_{s,p}/100$ g	$H_{s,p}$ (anteilig)	w	$H_{s,p}/100$ g	$H_{s,p}$ (anteilig)	w	$H_{s,p}/100$ g	$H_{s,p}$ (anteilig)
F ¹	20,0 %	740 kJ	77 %	14,0 %	518 kJ	70 %	9,0 %	333 kJ	68 %
KHP ²	1,0 %	17 kJ	2 %	4,5 %	77 kJ	10 %	3,1 %	53 kJ	11 %
P ³	12,0 %	204 kJ	21 %	8,0 %	136 kJ	18 %	2,2 %	37 kJ	8 %
BS ⁴	0,0 %	0 kJ	0 %	1,5 %	12 kJ	2 %	8,0 %	64 kJ	13 %
Gesamt	33,0 %	961 kJ	100 %	28,0 %	743 kJ	100 %	22,3 %	487 kJ	100 %

¹Fett, ²Kohlenhydrate, ³Proteine, ⁴Ballaststoffe

Der physiologische Brennwert unterscheidet sich vom physikalischen Brennwert (H_s), welcher ein Maß für die in einem Stoff enthaltene chemische Energie ist. Der physikalische Brennwert ist somit identisch mit dem Betrag der Standardverbrennungsenthalpie ($\Delta_v H^0$), welche die bei einer vollständigen Verbrennung eines organischen Stoffes zu Kohlenstoffdioxid und Wasser freiwerdende Wärmemenge angibt. Da ein Teil der Nährstoffe, die der menschliche Körper umsetzt, nicht vollständig zu Kohlenstoffdioxid und Wasser umgesetzt wird, ist der physiologische Brennwert grundsätzlich ein wenig geringer als der physikalische Brennwert (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Der exakte physiologische Brennwert lässt sich ohne weiteres nicht experimentell bestimmen, da die Verstoffwechslung von Lebensmitteln auch von individuellen, körpereigenen Faktoren und der Zugänglichkeit der Nährstoffe im Lebensmittel abhängt. Eine (rechnerische) Bestimmung des physiologischen Brennwertes ist auch dann nicht möglich, wenn nicht alle Massenanteile der verstoffwechselbaren Nährstoffe bekannt sind. Im Gegensatz zum physiologischen Brennwert kann der physikalische Brennwert sowohl exakt berechnet als auch experimentell bestimmt werden. Da der physikalische Brennwert zumeist nur geringfügig höhere Enthalpien ergibt, kann er als gute Näherung für den physiologischen Brennwert verstanden werden. Eine experimentelle Bestimmung des physikalischen Brennwertes wird durch das Verfahren der *Kalorimetrie* ermöglicht. Um den physikalischen Brennwert von Lebensmitteln kalorimetrisch zu bestimmen, müssen diese zuvor getrocknet werden, da das in den Lebensmitteln enthaltene Wasser ein vollständiges Verbrennen verhindern würde. Bei der Kalorimetrie wird die Verbrennungsenthalpie eines Stoffes genutzt, um damit ein System mit definierter Masse und Wärmekapazität zu erwärmen. Anhand der durch die Verbrennung des Stoffes verursachten Temperaturänderung des Systems kann der physikalische Brennwert des Stoffes berechnet werden. Entsprechend des Ersten Hauptsatzes der Thermodynamik ist die bei der Verbrennung erzeugte Wärme Q identisch mit der chemischen Energie des untersuchten Stoffes, sofern das System keine Arbeit verrichtet.

Folglich gilt zur Berechnung des physikalischen Brennwertes die kalorimetrische Grundgleichung

$$Q = \Delta T * m * c$$

mit der Temperaturdifferenz des Systems ΔT , der Masse des Systems m und der spezifischen Wärmekapazität des Systems c (Mortimer & Müller, 2019). In den meisten Fällen erfolgt die Wärmeübertragung in Kalorimetern auf Wasser, sodass eine spezifische Wärmekapazität von $4,18 \text{ kJ} * \text{kg}^{-1} * \text{K}^{-1}$ angenommen werden kann. Darüber hinaus müssen die Masse und die spezifische Wärmekapazität des Kalorimeters berücksichtigt werden, da eine Wärmeübertragung auch auf dieses erfolgt. Da ein Kalorimeter ein geschlossenes oder sogar offenes, nicht aber ein isoliertes System darstellt, steht es im Wärmeaustausch (und Stoffaustausch) mit seiner Umgebung. Sofern das Kalorimeter während der Messung durch die Verbrennung wärmer als seine Umgebung wird, gibt es Wärmeenergie an diese ab. Um den Wärmeverlust an die Umgebung zu quantifizieren, werden bei kalorimetrischen Versuchen Abkühlkurven bestimmt, indem nach Beendigung der Verbrennung im Kalorimeter noch für einige Zeit die Temperaturänderung gemessen wird. Da davon auszugehen ist, dass die Wärmeabgabe des Kalorimeters während und nach der Verbrennung annähernd gleich ist, kann das bereinigte Temperaturmaximum durch Extrapolation der Abkühlkurve in die y-Achse bestimmt werden (Abbildung 44) (Atkins, 2002).

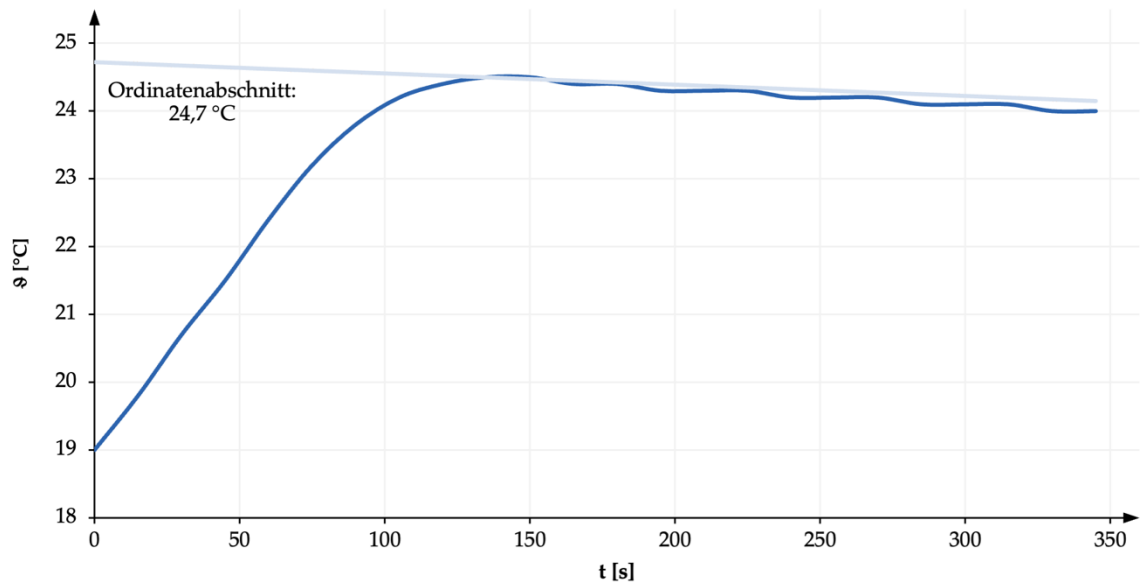


Abbildung 44: Beispielhaftes Temperatur-Zeit-Diagramm einer Kalorimetrie mit Extrapolation der Abkühlkurve.

Entwicklung des Versuches

Um den Versuch im Rahmen des Schülerlaborsettings durchführen zu können, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein. Die Schüler:innen müssen den Versuch mit den vorliegenden Materialien und Chemikalien sicher durchführen können, der Versuch muss eindeutige Ergebnisse liefern, zeitlich in das Schülerlaborsetting eingepasst werden können und motorisch sowie kognitiv angemessen sein. Letztlich müssen die Materialien aufgrund des mobilen Charakters des Schülerlabores sicher transportabel sein. Zur genauen Brennwertbestimmung werden in der physikalischen Chemie und der Lebensmittelchemie Bombenkalorimeter eingesetzt, die als nahezu vollständig adiabatisch mit der Umgebung angenommen werden können. In Bombenkalorimetern wird die zuvor getrocknete Substanz eingewogen und anschließend mit einem Lichtbogen oder einer Glühwendel entzündet. Um die eingesetzte Aktivierungsenergie nicht fälschlicherweise mit in die berechnete Wärmemenge einzubeziehen, wird diese durch die Elektronik des Bombenkalorimeters quantifiziert. Die Verbrennung im Bombenkalorimeter findet für gewöhnlich in einer reinen Sauerstoffatmosphäre mit einem Druck von 20–30 bar statt, sodass eine vollständige Verbrennung gewährleistet wird (Meister, 2012). Da die Anschaffungskosten für ein Bombenkalorimeter bei mehreren Tausend Euro bis hin zu 100.000 Euro liegen können, die Geräte aufgrund ihrer Masse und Empfindlichkeit nicht transportiert werden können und die Bedienung

ausschließlich durch Fachpersonal möglich ist, ist eine Arbeit mit einem solchen Gerät im Schülerlabor nicht möglich. Als Alternative kommen verschiedene sogenannte „Low-Cost-Kalorimeter“ in Frage. Als geeignet für den Versuch hat sich das Kalorimeter nach Theimann gezeigt, welches über die Firma Hedingger bezogen worden ist. Das Kalorimeter besteht aus einem Glaskorpus mit einer Ausbuchtung (Verbrennungskammer), in die ein Probenhalter mit der zu untersuchenden Probe geführt werden kann. Gleichzeitig kann die Verbrennungskammer mit Sauerstoff gespült werden, um eine bessere Verbrennung zu gewährleisten. Die entstehenden Verbrennungsgase (Kohlenstoffdioxid und Wasserdampf) werden durch eine gewundene Glasröhre geleitet, die durch den Korpus verläuft. Der mit Wasser gefüllte Korpus wird durch die direkte Verbrennung und die Wärme der Verbrennungsgase erwärmt. Die Temperaturänderung des Wassers wird über ein Thermometer kontrolliert (Abbildung 45). Im Vergleich zu einem professionellen Bombenkalorimeter liefert ein derartiges Low-Cost-Kalorimeter ungenauere Werte und ist anfälliger für fehlerhafte Bedienungen. Aufgrund der stark unterschiedlichen Brennwerte der drei Wurstprodukte ist eine exakte Bestimmung des Brennwertes allerdings nicht von Nöten, um eine Differenzierung der Wurstprodukte zu ermöglichen. Darüber hinaus gibt es weitere, stärker vereinfachte Kalorimetervarianten, die zunächst für diesen Versuch verworfen worden sind. Diese ermöglichen eine rein qualitative Aussage über die Verbrennungsenthalpie bzw. lassen keine eindeutige Quantifizierung zu. Da die Berechnung der Verbrennungsenthalpie integraler Bestandteil des entwickelten Versuches ist, wurde das Verbrennungskalorimeter nach Theimann als für den Versuch geeignet angenommen. Um eindeutige Versuchsergebnisse erzielen zu können, muss eine für das Kalorimeter geeignete Masse der getrockneten Proben ausgewählt werden. Eine zu geringe Masse erzeugt keine ausreichenden Unterschiede zwischen den verschiedenen Proben und begünstigt Messfehler, da beispielsweise der Einfluss der durch die Entzündung zugeführte Aktivierungsenergie anteilig größer ist. Eine zu große Masse stellt aufgrund des Umgangs mit Sauerstoff aus einer Druckgasflasche ein Sicherheitsrisiko dar und kann zu einer Überladung der Verbrennungskammer führen. Der daraus resultierende Ausstoß noch nicht vollständig abgekühlter Verbrennungsgase kann ebenfalls einen Messfehler erzeugen. Als eine für den Versuchsaufbau geeignete Masse der Wurstproben wurden 5,0 g der frischen Wurst ermittelt, die im Anschluss getrocknet wurden. Die Trocknung der Wurstproben sollte schonend erfolgen, um kein in den Lebensmitteln enthaltenes Fett durch die Trocknung zu verbrennen oder aus der Wurstprobe zu treiben. Nach Walf wird die Trocknung daher über Nacht bei 38 °C durchgeführt. Alternativ kann eine Trocknung bei 80 °C für drei Stunden erfolgen (Walf, 2016).

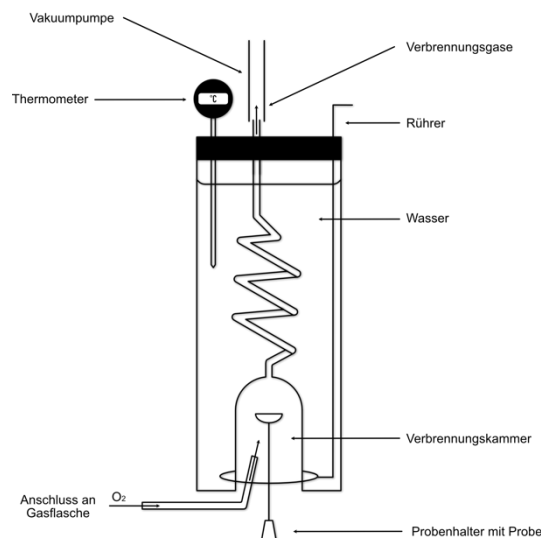


Abbildung 45: Skizze des Kalorimeters nach Theimann zur Brennwertbestimmung von Lebensmitteln.

Da für die Durchführung einer Kalorimetrie Sauerstoff aus einer Druckgasflasche verwendet werden sollte, bedarf es einer geeigneten Möglichkeit, eine Gasflasche sicher und ohne großen Aufwand zu transportieren. Der Umgang mit Sauerstoffdruckgasflaschen ist (Stand 2023) für Schüler:innen ab der 5. Klasse grundsätzlich erlaubt, sollte allerdings mit einer entsprechenden Gefahrenminimierung einhergehen (DGUV, 2023). Zu diesem Zweck wurde eine Druckgasflasche für medizinischen Sauerstoff der Firma Linde gewählt, mit der der Sauerstoffstrom über ein Stellrad sicher und einfach reguliert werden kann. Darüber hinaus ist die Flasche im Vergleich zu anderen Druckgasflaschen leicht, da sie auf den Transport ausgelegt ist. Um die Druckgasflasche vor Umstürzen zu sichern, wurde durch die

Feinmechanische Werkstatt der Universität Osnabrück ein Gestell entwickelt, das ebenfalls als Leichtbaukonstruktion ausgeführt worden ist (Abbildung 46).



Abbildung 46: Druckgasflasche für medizinischen Sauerstoff der Firma Linde mit Leichtbaugestell der Feinmechanischen Werkstatt der Universität Osnabrück.

Versuchsbeschreibung

Materialien:

Konventionelle, vegetarische und vegane Mortadella (Wurstproben A, B und C), Waage (zwei Nachkommastellen), 3 Petrischalen, Trockenschrank/Ofen, Verbrennungskalorimeter nach Theimann, Stativmaterial, Glaswinkelrohr, Schlauchmaterial, Spatel, Pinzette, Feuerzeug/Flambierbrenner, Messzylinder (500 mL), Vakuumpumpe/Wasserstrahlpumpe, Thermometer, Stoppuhr/Handy bzw. digitales Messwerterfassungssystem

Chemikalien:

Wasser, Sauerstoff (Druckgas)

Sicherheitshinweise:



Sauerstoff (aus Druckgasflaschen) ist stark brandfördernd. Alle nicht für den Versuch benötigten Zündquellen und Reduktionsmittel müssen sich in sicherem Abstand zum Versuchsaufbau befinden. Von Druckgasflaschen geht bei falscher Bedienung eine erhebliche Gefahr durch schnell ausströmendes Gas aus. Es gelten die Richtlinien zum sicheren Umgang mit Druckgasflaschen der DGUV.

Zeitlicher Rahmen:

Der Versuch nimmt in der Durchführung durch die Schüler:innen in etwa 20 Minuten Zeit in Anspruch, sofern die Schüler:innen lediglich eine der drei Wurstproben untersuchen. Die Dauer des Versuches erhöht sich um ca. 15 Minuten je weiterer untersuchter Wurstprobe. Für die Bearbeitung der Arbeitsmaterialien inklusive der Berechnung der Verbrennungsenthalpien benötigen die Schüler:innen ungefähr 15 Minuten. Der Gesamtaufwand liegt daher zwischen 35 und 65 Minuten.

Versuchsdurchführung:

Für den Versuch müssen die drei zu untersuchenden Wurstproben zunächst wie zuvor beschrieben getrocknet werden. Dazu werden genau 5,0 g jeder Wurstprobe in je eine Petrischale eingewogen. Dies läuft im Vorfeld des Schülerlabores durch Betreuer:innen ab, zum Schülerlabor werden die getrockneten Wurstproben mitgeführt. Das Kalorimeter wird von den Schüler:innen wie in Abbildung 45 aufgebaut und mit genau 450 mL Wasser befüllt. Die Vakuumpumpe/Wasserstrahlpumpe und die Sauerstoffdruckgasflasche werden angeschlossen. Eine der Wurstproben wird in den Probenhalter des Kalorimeters überführt und die Sauerstoffgasflasche auf einen möglichst schwachen Gasstrom eingestellt. Mithilfe des Feuerzeuges/Flambierbrenners wird nun die Wurstprobe im Probenhalter so entzündet,

dass diese von selbst brennt. Mit dem Entzünden wird auch die Stoppuhr gestartet und in Intervallen von 15 s bei gleichzeitigem Rühren die Wassertemperatur gemessen. Alternativ kann die Temperatur mithilfe eines geeigneten digitalen Messwerterfassungssystems ermittelt werden (z.B. Phywe® Cobra SMARTsense). Wenn die Probe nicht mehr brennt, muss noch für weitere vier Minuten der Temperaturverlauf erhoben werden. Anschließend können der Sauerstoffstrom geschlossen und die Vakuumpumpe abgeschaltet werden.

Im Rahmen des Schülerlabores untersuchen die Schüler:innen eine der drei Wurstproben und teilen die berechnete Verbrennungsenthalpie in der Nachbesprechung ihren Mitschüler:innen mit. Sollte genug Zeit vorhanden sein, können die Schüler:innen auch alle drei Wurstproben untersuchen.

Auswertung:

Die maximale Temperatur T_{max} wird durch Extrapolation der Abkühlkurve bestimmt und die Temperaturdifferenz ΔT als Differenz zwischen Maximal- und Starttemperatur berechnet:

$$\Delta T = T_{max} - T_0$$

Die erhaltenen Temperaturdifferenzen sind in Tabelle 25 dargestellt. Das im Versuch verwendete Kalorimeter hat eine Masse von 430 g. Es kann zur Berechnung vereinfachend angenommen werden, dass es nur aus Glas besteht. Die bei der Kalorimetrie auf das System übertragene Wärmemenge lässt sich daher mit der kalorimetrischen Grundgleichung berechnen:

$$Q = \Delta T * m * c$$

$$Q = \Delta T (m_{Kalorimeter} * c_{Glas} + m_{Wasser} * c_{Wasser})$$

$$Q = \Delta T \left(430 \text{ g} * 0,9 \frac{\text{J}}{\text{g} * \text{K}} + 450 \text{ g} * 4,18 \frac{\text{J}}{\text{g} * \text{K}} \right)$$

$$Q = \Delta T * 2268 \frac{\text{J}}{\text{K}}$$

Um das erhaltene Ergebnis mit dem auf der Verpackung angegebenen Brennwert vergleichen zu können, muss es auf 100 g des Lebensmittels hochgerechnet werden:

$$H_s = \frac{Q}{e} * 100$$

mit dem physikalischen Brennwert H_s in [J/100 g] und der Einwaage e in [g].

Tabelle 25: Experimentell durch Kalorimetrie bestimmte Temperaturdifferenzen beim Einsatz von 5,0 g konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst und einem Kalorimetervolumen von $V = 450 \text{ mL}$.

Wurstprobe	ΔT [K] <i>experimentell</i>
Konventionell	20,8
Vegetarisch	16,1
Vegan	10,3

Die experimentell bestimmten Brennwerte im Vergleich zu den herstellerbedingten physiologischen Brennwerten auf der Lebensmittelverpackung sind in Tabelle 26 dargestellt.

Tabelle 26: Experimentell bestimmte physikalische Brennwerte und physiologische Brennwerte nach Herstellerangaben der konventionellen, vegetarischen und veganen Wurst im Vergleich.

Wurstprobe	H_s [kJ] <i>experimentell</i>	$H_{s,p}$ [kJ] <i>Herstellerangabe</i>	Abweichung
Konventionell	943	961	-1,9 %
Vegetarisch	730	743	-1,7 %
Vegan	467	487	-3,3 %

Diskussion:

Mithilfe der Kalorimetrie können die Brennwerte der drei untersuchten Wurstprodukte näherungsweise gut bestimmt werden. Es ergeben sich Abweichungen von unter -5 % zwischen dem experimentell ermittelten physikalischen und dem berechneten physiologischen Brennwert. Hierbei muss berücksichtigt werden, dass der theoretische physikalische Brennwert über dem berechneten physiologischen Brennwert liegen müsste. Die tatsächlich vom exakten physikalischen Brennwert zu erwartende Abweichung wird daher größer ausfallen. Gründe für die auftretenden Abweichungen liegen vor allem darin, dass es sich beim verwendeten Kalorimeter um ein Low-Cost-Kalorimeter handelt, das als offenes System fungiert. Durch den bedingt stattfindenden Stoff- und Energieaustausch mit der Umgebung können die erhaltenen Brennwerte geringer ausfallen als rechnerisch zu erwarten. Darüber hinaus ist es möglich, dass die Wurstprobe nicht vollständig abgebrannt ist und möglicherweise erneut entzündet werden müsste. Der sich positiv auf den Brennwert auswirkende Fehler der Energiezufuhr durch das Feuerzeug kann in der Berechnung vernachlässigt werden. Die Abweichungen vom Literaturwert sind für die Eindeutigkeit des Versuches nicht hinderlich. Durch die großen Unterschiede im physiologischen Brennwert der drei Mortadellasorten ergeben sich trotz der Abweichungen klare Zuordnungen zu den jeweiligen Sorten. Auch die Feststellung, dass die konventionelle Mortadella einen im Vergleich deutlich höheren Brennwert aufweist, kann anhand der Ergebnisse getroffen werden. Der Versuch ist durch die Bedienung der Druckgasflasche, durch das kontinuierliche Erheben von Messwerten und den Versuchsaufbau für Schüler:innen als verhältnismäßig anspruchsvoll zu bewerten. Soll der physikalische Brennwert nicht exakt berechnet werden, bietet sich eine einfachere Kalorimetrie an, die im Folgenden vorgestellt werden soll.

Entsorgung:

Bei einer vollständigen Verbrennung ist keine Entsorgung von Nöten. Rückstände können in den Haushaltsabfall entsorgt werden.

Alternative zum Versuch

Eine Vereinfachung der kalorimetrischen Brennwertbestimmung kann durch ein Dosenkalorimeter ermöglicht werden. Hierzu wird in eine Getränkedose aus Aluminium oder Edelstahl eine definierte Menge Wasser gefüllt und ein Thermometer gestellt. Nun kann die zu untersuchende Probe unmittelbar unter der Dose verbrannt und die Temperaturänderung gemessen werden (Abbildung 47).

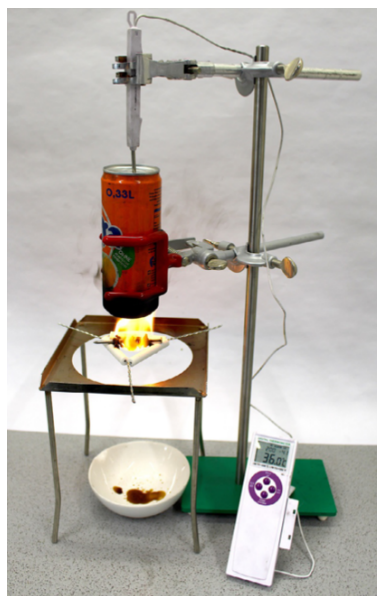


Abbildung 47: Qualitative Brennwertbestimmung dem Dosenkalorimeter nach (Walf, 2016).

Anhand der ermittelten Temperaturdifferenzen können in einem vergleichenden Ansatz Rückschlüsse auf den Brennwert geschlossen werden. Zur Untersuchung der konventionellen, vegetarischen und veganen Mortadella können zunächst 5,0 g der Proben auf jeweils einen Nagel gespießt und im

Trockenschrank getrocknet werden (über Nacht, 38 °C). Die Nägel mit der getrockneten Wurst können nun direkt unter dem Dosenkalorimeter entzündet werden und die Temperaturdifferenz

$$\Delta T = T_{max} - T_0$$

bestimmt werden. Die erhaltenen Temperaturdifferenzen beim Einsatz von 100 mL und einem Abstand der Wurstprobe zum Dosenboden von ca. 5 cm sind in Tabelle 27 dargestellt.

Tabelle 27: Experimentell ermittelte Temperaturdifferenzen mit dem Dosenkalorimeter nach (Walf, 2016)

Wurstprobe	ΔT [K] <i>experimentell</i>
Konventionell	29
Vegetarisch	18
Vegan	10

Die konventionelle Wurst zeigt im Vergleich zur vegetarischen und veganen eine deutlich höhere Temperaturdifferenz. Auch die vegetarische und vegane Wurst lassen sich durch die Temperaturdifferenzen eindeutig zuordnen, sodass auch mit dem Dosenkalorimeter eine Differenzierung der drei Wurstorten möglich ist. Da für diesen Versuch nur 100 mL Wasser eingesetzt werden, fallen die Temperaturdifferenzen höher als beim Low-Cost-Kalorimeter nach Theimann aus. Eine sinnvolle Berechnung der Verbrennungsenthalpien kann anhand der Messwerte des Dosenkalorimeters kaum vorgenommen werden, da die Wärmeverluste an die Umgebung groß sind. Zusätzlich kann eine vollständige Verbrennung nicht gewährleistet werden, da im Gegensatz zu anderen Kalorimetern nicht in einer Sauerstoffatmosphäre gearbeitet wird, sondern der Luftsauerstoff die Verbrennung ermöglicht. Aufgrund der deutlichen Zeitersparnis (ca. 15 Minuten für drei Proben) und der einfacheren Handhabung ist der Versuch eine Alternative, sofern eine rein qualitativ-differenzierende ausreicht und keine quantitative Betrachtung des Brennwertes von Nöten ist.

Didaktische Reduktion

Energetik und mit dem Themenfeld „Energie“ verbundene Begriffe wie z.B. Enthalpie und Entropie stellen Schüler:innen sowohl in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II vor große Herausforderungen. Problematisch ist vor allem, dass die mit Energie und Energieumwandlung verwandten Konzepte nicht auf stofflicher Ebene beobachtet werden können und so schwer vorstellbar sind. Probleme treten auch auf, wenn Schüler:innen erklären sollen, dass durch chemische Reaktionen die innere Energie eines Stoffes in andere Energieformen umgewandelt wird. Auch das Verständnis darüber, dass Energieformen lediglich ineinander umgewandelt, Energie aber nicht erzeugt oder vernichtet werden kann, ist mit vielen Präkonzepten der Schüler:innen behaftet (Barke, 2006). Darüber hinaus treten Schwierigkeiten in der Berechnung energetischer Prozesse auf, da die Zahlenwerte für die Schüler:innen oft abstrakt sind und somit keine Kontrolle erfolgen kann, inwiefern die erhaltenen Ergebnisse sinnvoll in den Kontext einzuordnen sind. Das Verfahren der Kalorimetrie stellt demnach für einige Schüler:innen ein Problem dar, da es sowohl das Konzept der Energieumwandlung (innere Energie in thermische Energie) anwendet und der sichtbare Verbrennungsprozess eine vermeintliche Energieentwertung nahelegt (Barke, 2006). Die anschließende Berechnung anhand der kalorimetrischen Grundgleichung stellt Schüler:innen teilweise vor mathematische Schwierigkeiten, da für die Berechnung eine Umformung des Terms notwendig ist.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen des Versuches einige Vereinfachungen vorgenommen, die einen niederschweligen Zugang zur Thematik ermöglichen sollen. Zunächst wurde mit dem Kalorimeter nach Theimann ein Aufbau gewählt, der durch die Transparenz des Glasgefäßes ein Nachvollziehen der chemischen Reaktion und die daraus resultierende Temperaturänderung verdeutlicht. Auf diesem Wege kann ein direkter Zusammenhang zwischen dem Verbrennungsprozess, der Energieumwandlung und Energieübertragung auf das Kalorimeter hergestellt werden. Die schrittweise, detaillierte Anleitung ermöglicht den Schüler:innen eine größere Kontrolle über den Versuchsablauf, sodass mögliche Unklarheiten in der für sie recht anspruchsvollen Durchführung (vgl. *Hintergründe des Versuches*) minimiert werden können. Das Arbeitsmaterial klärt darüber hinaus in einem für Schüler:innen der Sekundarstufe II fachsprachlich angepassten Text über Hintergründe zum Versuch auf und verzichtet dabei auf die Betrachtung weitergehender Konzepte (Verrichten von Arbeit, Entropieänderung). Zusätzlich steht ein:e Betreuer:in für die gesamte Zeit des Versuches den Schüler:innen zur Verfügung, um zum

einen die Einhaltung der Sicherheitsanweisungen zu überwachen, zum anderen die Schüler:innen bei der Handhabung und der Berechnung der Verbrennungsenthalpien zu unterstützen. Durch den Vergleich des experimentell ermittelten Ergebnisses mit der Herstellerangabe ist darüber hinaus implizit eine Kontrolle möglich, da bei einer korrekten Durchführung die erhaltenen Werte ähnlich zu den Literaturwerten sind. Dies ermöglicht – im Gegensatz zu anderen energetischen Berechnungen – eine Kontrolle durch das Versuchsdesign selbst.

Curriculare Legitimation

Der Versuch ist in das Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe für das Land Niedersachsen im Fach Chemie eingebettet. Konkret können anhand des Versuches folgende Kompetenzen erarbeitet werden:

Sachkompetenz:

Die Lernenden...

- nennen den ersten Hauptsatz der Thermodynamik.
- erklären die Enthalpieänderung als ausgetauschte Wärme bei konstantem Druck.

Erkenntnisgewinnungskompetenz:

Die Lernenden...

- führen Experimente zur Ermittlung von Reaktionsenthalpien in einfachen Kalorimetern durch und reflektieren ihre Ergebnisse.

Bewertungskompetenz:

Die Lernenden...

- beurteilen ökologische und ökonomische Aspekte herkömmlicher und alternativer Energieträger.

(Niedersächsisches Kultusministerium, 2022)

3.3.3 Experiment 2: Bestimmung des Kochsalzgehaltes (Konduktometrie)

Hintergründe des Versuches

Nahezu alle Lebensmittel enthalten natürlicherweise Natriumchlorid (Speisesalz, Kochsalz). Oft wird Natriumchlorid zusätzlich als Geschmacksverstärker oder als Verarbeitungshilfsstoff bzw. als Konservierungsmittel in prozessierten Lebensmitteln eingesetzt (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Durch die Aufnahme von Kochsalz werden dem Körper Natrium-Kationen (Na^+) und Chlorid-Anionen (Cl^-) verfügbar gemacht, die an lebenswichtigen Prozessen im Körper beteiligt sind. Dazu gehören beispielsweise die Erregungsweiterleitung in Nervenzellen, die Aufrechterhaltung des osmotischen Drucks der Zellmembran und die Absorption von Aminosäuren und Vitaminen. Die DGE empfiehlt eine Aufnahme von 3,8 g Kochsalz pro Tag, was einer Menge von 1,5 g Natrium entspricht. Der maximal empfohlene Zufuhrwert von 6,0 g/d wird dennoch von den meisten Deutschen überschritten. (DGE et al., 2019). Aufgrund des hohen Gehaltes an Kochsalz in vielen Speisen sind Mangelerscheinungen in der westlichen Welt äußerst selten und treten zumeist nur im Zusammenhang mit Krankheiten, die den Natrium- oder den Chloridstoffwechsel betreffen, auf (z.B. Mukoviszidose) (Elmadfa & Leitzmann, 2019). Eine zu hohe Kochsalzzufuhr ist vor allem in Bezug auf den zu hohen Natrium-Spiegel im Serum bedenklich, da dieser vermutlich zu Bluthochdruck (Hypertonie) führt. Exzessive Zufuhren von Kochsalz führen aufgrund des deutlich zu hohen Natrium-Spiegels zu Störungen des Elektrolythaushaltes und damit zu Dehydratation und der Bildung von Ödemen bis hin zu Schwindel, Erbrechen und Herzversagen (EFSA Panel on Nutrition et al., 2019).

Besonders in abgepackten Fleisch- und Wurstwaren sowie entsprechenden Ersatzprodukten werden hohe Kochsalzkonzentrationen eingesetzt, um den Geschmack des Produktes zu verstärken und die Konsistenz der Produkte zu verbessern. Die konventionelle Wurst weist mit einem Kochsalzgehalt von 2,2 g/100 g den geringsten Kochsalzgehalt der drei Produkte auf. Die vegetarische Wurst enthält 2,4 g/100 g, die vegane Wurst 2,7 g/100 g. In Bezug auf die Aufnahmeempfehlungen der DGE sind alle drei Produkte als zu salzig zu bezeichnen, da eine Portion/Scheibe (ca. 20 g) mit einem Salzgehalt von 0,44–0,54 g bereits zwischen ca. 12 % und 14 % der empfohlenen Tagesdosis ausmacht. In Kombination mit Brot und Butter, die ebenfalls Kochsalz enthalten, wird durch den Verzehr einer Scheibe Brot bereits ca. 20 % der empfohlenen Tagesdosis an Kochsalz aufgenommen (EFSA Panel on Nutrition et al., 2019).

Der Nachweis von Natriumchlorid erfolgt im Rahmen dieses Versuchs konduktometrisch. Dazu wird eine Silbernitratlösung zu der entsprechenden Kochsalzlösung bei gleichzeitiger Messung der Leitfähigkeit titriert. Die auch als Leitfähigkeitstitration bezeichnete Konduktometrie oder Potentiometrie macht sich die unterschiedliche elektrische Leitfähigkeit elektrisch geladener Teilchen (Ionen) zunutze. Die elektrische Leitfähigkeit κ ist ein Maß dafür, wie gut ein elektrischer Strom geleitet werden kann und ist somit der Kehrwert des spezifischen elektrischen Widerstandes ρ , sodass zwischen beiden Einheiten

$$\kappa = \frac{1}{\rho} \quad (\text{Formel 3.3.3.1})$$

gilt. Die elektrische Leitfähigkeit wird in der Einheit Siemens [S] gemessen, sodass für die Einheit der elektrischen Leitfähigkeit

$$S = \frac{1}{\Omega \cdot m} \quad (\text{Formel 3.3.3.2})$$

mit dem elektrischen Widerstand in Ohm [Ω] und der Strecke in Metern [m] gilt (Paul & Paul, 2019). Die elektrische Leitfähigkeit in Lösungen wird als elektrolytische Leitfähigkeit bezeichnet und ist von der Ionenkonzentration c , der molaren Grenzleitfähigkeit der gelösten Ionen Λ_m , der Temperatur des Wassers T und dem Abstand der Elektroden d abhängig. Da im Laufe der Konduktometrie das Messgerät einheitlich bleibt, kann der Elektrodenabstand als konstant angesehen werden. Moderne Konduktometer berücksichtigen die Temperatur der Lösung, sodass diese für den Versuch ebenfalls vernachlässigt werden kann. Die Leitfähigkeit während der Konduktometrie ist demnach abhängig von der Konzentration und spezifischen Leitfähigkeit der gelösten Teilchen (Paul & Paul, 2019). Jedes elektrisch geladene Teilchen besitzt eine molare Grenzleitfähigkeit, die spezifisch für das Teilchen ist. Die molare Grenzleitfähigkeit wird auch als Äquivalentleitfähigkeit bezeichnet und gilt strenggenommen nur für unendliche Verdünnungen. Die Äquivalentleitfähigkeit entspricht dem Quotienten der elektrischen Leitfähigkeit und der Äquivalentkonzentration c_e , sodass

$$\Lambda_m = \frac{\kappa_i}{c_e} = \frac{\kappa_i}{c \cdot z} \quad (\text{Formel 3.3.3.3})$$

mit der Wertigkeit des Ions z und der Gesamtleitfähigkeit aller Ionen einer Ionensorte in Lösung κ_i gilt. Für die Gesamtleitfähigkeit aller Ionen einer Ionensorte in Lösung gilt

$$\kappa_i = F \cdot z \cdot c \cdot b_i \quad (\text{Formel 3.3.3.4})$$

mit der Faraday-Konstante F und der spezifischen Beweglichkeit des Ions b_i . Durch Einsetzen von Formel 3.3.3.4 in Formel 3.3.3.3 ergibt sich für die Äquivalentfähigkeit

$$\Lambda_m = F \cdot b_i \quad (\text{Formel 3.3.3.5}).$$

Es ist zu erkennen, dass die Äquivalentfähigkeit unabhängig von der Konzentration und Wertigkeit des spezifischen Ions ist. Da mit steigender Konzentration die Äquivalentleitfähigkeiten abnehmen, sollten konduktometrische Messungen nur in verdünnten Lösungen durchgeführt werden (Paul & Paul, 2019). Die Leitfähigkeit einer Lösung ergibt sich aus der Summe der Leitfähigkeit aller Ionen in Lösung:

$$\kappa = \sum \kappa_{i,a}, \kappa_{i,b}, \dots, \kappa_{i,z} \quad (\text{Formel 3.3.3.6})$$

Folglich kann die Äquivalentleitfähigkeit eines Salzes als Summe der Äquivalentkonzentrationen seiner Ionen aufgefasst werden:

$$\Lambda_m = v^+ \cdot \Lambda_m^+ + v^- \cdot \Lambda_m^- \quad (\text{Formel 3.3.3.7})$$

mit den stöchiometrischen Faktoren des Kations v^+ und des Anions v^- .

Für den Versuch kann vereinfachend angenommen werden, dass die einzigen Ladungsträger, die aus den Wurstsorten isoliert werden, Natrium-Ionen und Chlorid-Ionen sind. Zusätzlich werden durch die Zugabe von Silbernitrat-Lösung Silber-Ionen (Ag^+) und Nitrat-Ionen (NO_3^-) zur Lösung hinzugefügt. Die Äquivalentleitfähigkeiten der am Versuch beteiligten Ionen sind in Tabelle 28 dargestellt.

Tabelle 28: Äquivalentleitfähigkeiten der am Versuch beteiligten Ionen bei 25 °C in destilliertem Wasser nach (Bader, 2017).

Kation	$\Lambda_m^+ [\text{S}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}]$	Anion	$\Lambda_m^- [\text{S}\cdot\text{cm}^2\cdot\text{mol}^{-1}]$
Natrium (Na^+)	50,1	Chlorid (Cl^-)	76,4
Silber (Ag^+)	61,9	Nitrat (NO_3^-)	71,5

Beispiel: Entsprechend Formel 3.3.3.7 und Tabelle 28 besitzt Natriumchlorid (stöchiometrische Faktoren = 1) folgende Äquivalentleitfähigkeit:

$$\Lambda_m = 1 * 50,1 \frac{\text{S}\cdot\text{cm}^2}{\text{mol}} + 1 * 76,4 \frac{\text{S}\cdot\text{cm}^2}{\text{mol}} = 126,5 \frac{\text{S}\cdot\text{cm}^2}{\text{mol}} \quad (\text{Formel 3.3.3.8})$$

Eine 0,1-molare Natriumchlorid-Lösung ($c = 0,1 \frac{\text{mol}}{1000 \text{ cm}^3}$) besitzt daher eine elektrolytische Leitfähigkeit von

$$\kappa_{\text{NaCl}} = c * \Lambda_m = 0,1 \frac{\text{mol}}{1000 \text{ cm}^3} * 126,5 \frac{\text{S}\cdot\text{cm}^2}{\text{mol}} = 0,01265 \frac{\text{S}}{\text{cm}} = 12,65 \frac{\text{mS}}{\text{cm}} \quad (\text{Formel 3.3.3.9}).$$

Die in diesem Versuch ablaufende konduktometrische Titration ist eine Fällungstitration, bei der die Chlorid-Ionen durch Zugabe von Silber-Ionen als unlösliches Silberchlorid ausgefällt werden:

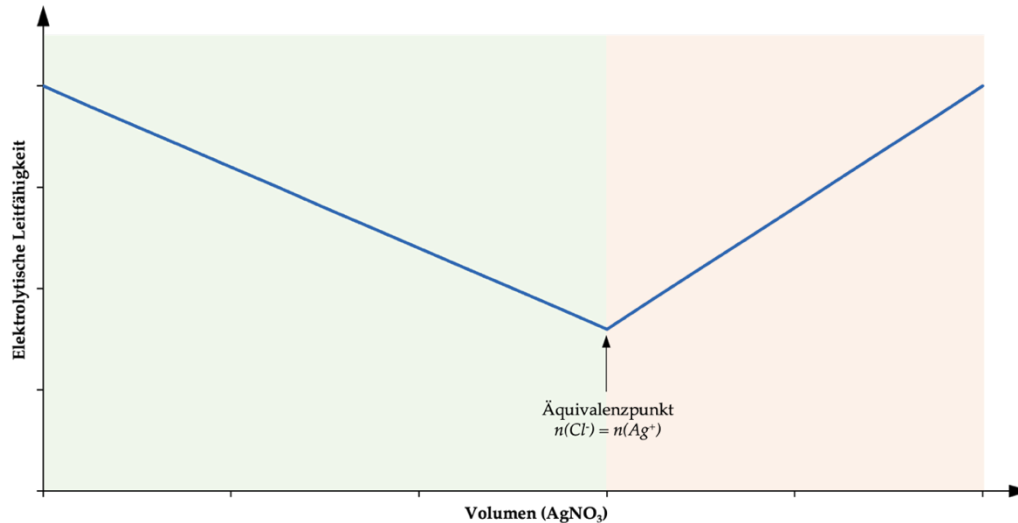
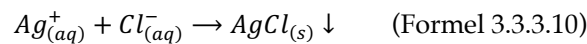


Abbildung 48: Allgemeines Volumen-Leitfähigkeits-Diagramm einer potentiometrischen Fällungstitration mit Natriumchlorid gegen Silbernitrat.

Im Laufe der Titration werden daher in Lösung befindliche Chlorid-Ionen durch die Zugabe von Silber-Ionen aus der Lösung ausgefällt. Die ausgefällten Chlorid-Ionen liegen nun ionisch gebunden vor und haben folglich keinen Einfluss auf die elektrolytische Leitfähigkeit. Gleichzeitig werden durch die Zugabe von Silbernitrat-Lösung Nitrat-Ionen in Lösung gegeben. Da das stöchiometrische Verhältnis zwischen den Chlorid-Ionen, den Silber-Ionen und den Nitrat-Ionen 1:1:1 ist, wird für jedes ausgefällte Chlorid-Ion ein Nitrat-Ion in Lösung gegeben. Da die Stoffmenge der Natrium-Ionen konstant bleibt, ändert sich die Stoffmenge der in Lösung befindlichen Ionen so lange nicht, bis alle Chlorid-Ionen durch Silber-Ionen gefällt worden sind. Der Punkt, an dem alle Chlorid-Ionen der Ausgangslösung durch Silber-Ionen gefällt worden sind, markiert gleichzeitig den Äquivalenzpunkt (ÄQP) der Titration. Da die Äquivalentleitfähigkeit der Nitrat-Ionen geringer ist als die Äquivalentleitfähigkeit der Chlorid-Ionen,

sinkt die elektrolitische Leitfähigkeit der Lösung bis zum ÄQP und hat dort ihr Minimum. Nach Erreichen des ÄQP nimmt die elektrolitische Leitfähigkeit zu, da durch weitere Zugabe von Silbernitrat-Lösung die Konzentration der in Lösung befindlichen Silber-Ionen und Nitrat-Ionen zunimmt (Abbildung 48 und Abbildung 49).

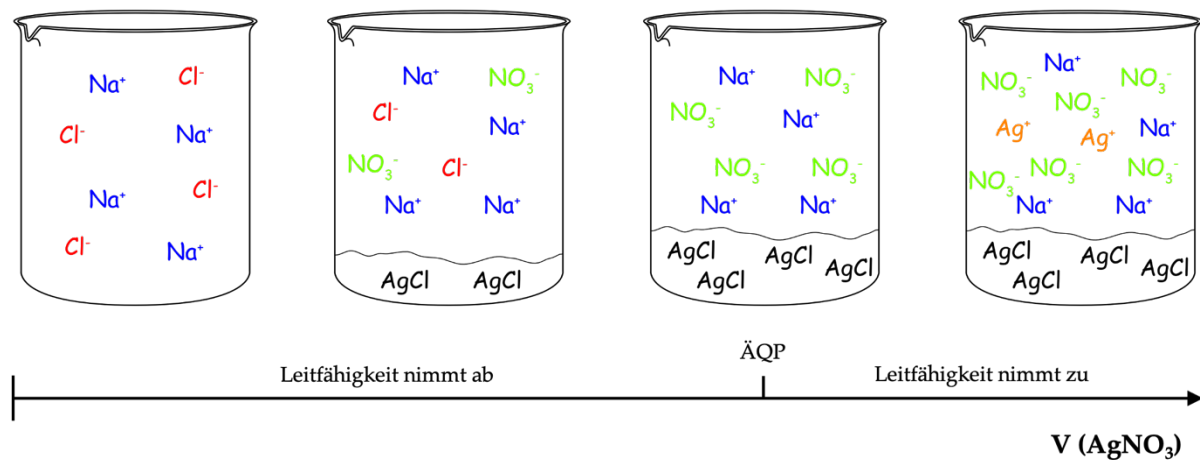


Abbildung 49: Visualisierung der potentiometrischen Titration von Natriumchlorid gegen Silbernitrat auf Teilchenebene.

Da für das im Versuch vorliegende System am ÄQP $n(\text{NaCl}) = n(\text{AgNO}_3)$ gilt, kann darüber der Kochsalzgehalt einer vorliegenden Probe berechnet werden.

Entwicklung des Versuches

Zur Entwicklung des Versuches wurden zunächst verschiedene Methoden geprüft, Kochsalz quantitativ und möglichst genau nachzuweisen. Problematisch ist dabei, dass sich die Herstellerangaben auf der Lebensmittelverpackung für „Salz“ dabei auf den Gehalt an Natrium-Ionen in einem Lebensmittel beziehen und von diesem Gehalt auf den Salzgehalt hochgerechnet wird (Salz = Natrium-Ionen-Gehalt $\times 2,5$). Dies führt dazu, dass auch andere Natriumquellen (wie z.B. Natriumascorbat oder Saccharin-Natrium) auf der Lebensmittelverpackung als „Salz“ berechnet werden (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2011). Der quantitative Nachweis selbst erfolgt in der Lebensmittelanalytik atomspektroskopisch/flammenphotometrisch über die Natrium-Doppellinie bei 588,99 nm und 589,59 nm (Matissek et al., 2018). Eine quantitative Flammenspektroskopie ist für den Einsatz im Schülerlabor allerdings sowohl von der Handhabung, der Bereitstellung der Geräte als auch vom Anspruch für die Schüler:innen ausgeschlossen. Nasschemische Nachweise für Natrium-Ionen sind aufgrund der Löslichkeitseigenschaften von Alkalimetall-Ionen mit Ausnahme der Fällung über das toxische Natriumhexahydroxoantimonat(V) ebenfalls nicht möglich, sodass ein Nachweis im Rahmen des Schülerlabores lediglich indirekt über das Chlorid-Ion erfolgen kann. In diesem Falle muss davon ausgegangen werden, dass die Stoffmenge der Chlorid-Ionen im Lebensmittel identisch oder zumindest ähnlich groß ist wie die Stoffmenge der Natrium-Ionen. Der quantitative Nachweis von Chlorid-Ionen ist über verschiedene Nachweisreaktionen möglich, die im Rahmen der Versuchsplanung evaluiert worden sind. Lebensmittelanalytisch erfolgt ein quantitativer Nachweis zumeist über die Methode nach Mohr, bei der Chlorid-Ionen mit Silbernitrat in Gegenwart von Kaliumchromat titriert werden. Kaliumchromat fungiert bei diesem Nachweis als Indikator, da sich, sobald der ÄQP der Reaktion erreicht ist, rotbraunes Silberchromat bildet (Matissek et al., 2018). Da Chromate in die CMR-Kategorie 1 (krebserzeugend und mutagen, besonders besorgniserregend) fallen, ist der Einsatz in Schulen untersagt (DGUV, 2023). Eine Alternative zur Methode nach Mohr ist die Chloridbestimmung nach Fajans, die analog zur Methode nach Mohr abläuft. Anstelle von Kaliumchromat wird Fluorescein eingesetzt, welches als Adsorptionsindikator dient. Da das sich bei der Titration bildende Silberchlorid kolloidal ausfällt und unmittelbar nach dem ÄQP positiv geladen ist, binden einige Farbstoffe wie Eosin oder Fluorescein an das Kolloid (Fajans & Wolff, 1924). Problematisch ist, dass der Farbumschlag im Vergleich zu anderen, den Schüler:innen besser bekannten Titrationen schwer zu erkennen ist und eine zu rasche Zugabe von Silbernitratlösung die Kolloidgröße von Silberchlorid verfälscht. Für Schüler:innen ist die Methode daher nur mit hohem Aufwand und einiger Übung möglich, was sie für das Schülerlabor

ausschließt. Für die Bestimmung von Chloriden in Wurstwaren ist zusätzlich bedeutsam, dass die Silber-Ionen ebenfalls mit Phosphaten unlösliches Silberphosphat bilden. Zu diesem Zweck sind mit der Titration nach Volhard und der Titration mit Quecksilber(II)-nitrat in der Lebensmittelanalytik zwei weitere Titrationsmethoden auf Basis von Silbernitrat möglich, die aber im ersten Fall mit einem enorm hohen zeitlichen Aufwand durch vorherige Proteinfällung und im zweiten Fall zumindest durch den Einsatz von Quecksilberverbindungen in der Schule ausgeschlossen sind (DGUV, 2023; Matissek et al., 2018). Als weitere Möglichkeit bleibt die in den Hintergründen des Versuches beschriebene potentiometrische Bestimmung von Chloriden durch Titration mit Silbernitrat. Wenngleich die potentiometrische Titration vor ähnlichen Herausforderungen wie die anderen Messmethoden (Anwesenheit von Phosphaten und anderen Halogeniden) steht, ist sie verhältnismäßig einfach umzusetzen und in Bezug auf die eingesetzten Chemikalien weniger bedenklich.

Im Laufe der Versuchskonzeption wurden zunächst 5,0 g der jeweiligen Wurstproben in 50 mL Wasser gemörsert und anschließend bei gleichzeitiger Messung der elektrolytischen Leitfähigkeit titriert. Es konnte gezeigt werden, dass je nach Sorgfalt des Zerkleinerns die Abweichungen zum Literaturwert bei $< -10,0\%$ bis $< -2,0\%$ lagen. Da die Salzgehalte in den drei Mortadellsorten mit 2,2 g, 2,4 g und 2,7 g allerdings recht nah aneinander liegen, ist ein ausgiebiges Mörsern der Wurstproben von Nöten, um ein eindeutiges Ergebnis zu erhalten. Da sich der im Schüler:innenversuch gezeigt hat, dass das Zerkleinern der Wurstproben recht viel Zeit in Anspruch nimmt, wurden den Schüler:innen im Folgenden Kochsalzlösungen mit entsprechender Konzentration bereitgestellt. Dazu wurden Schnappdeckelgläser mit 10 mL einer Kochsalzlösung mit einer Massenkonzentration von 11,00 g/L (konventionell), 12,00 g/L (vegetarisch) und 13,50 g/L (vegan) befüllt, sodass in den Gläsern eine effektive Masse von 0,110 g, 0,120 g bzw. 0,135 g Kochsalz enthalten ist. Dies entspricht der Masse an Kochsalz in 5,0 g der jeweiligen Wurstsorten.

Zur weiteren Zeitersparnis führen die Schüler:innen nur eine der drei Titrations durch und vergleichen die erhaltenen Ergebnisse in der Abschlussbesprechung mit ihren Mitschüler:innen. Durch den auf der Lebensmittelverpackung angegebenen Salzgehalt ist eine direkte Zuordnung auch ohne Vergleichswerte möglich.

Versuchsbeschreibung

Materialien:

Schnappdeckelglas mit Wurstextrakt der konventionellen, vegetarischen und veganen Wurst (entspricht 5,0 g der jeweiligen Wurstsorte), Messzylinder (100 mL), Bürette (25 mL), 2 Bechergläser (50 mL, 250 mL), Konduktometer, Magnetrührer und Rührfisch, Schwermetallhaltiger Abfall, Feststoffabfall, Spreadsheet-Programm zur Datenaufzeichnung. *Anstelle von Konduktometer und Spreadsheet-Programm kann auch eine digitale Messwerterfassung mithilfe eines Drop-Counters und eines Konduktometers verwendet werden, z.B. Phywe® COBRA SMARTsense.*

Chemikalien:

Silbernitrat-Maßlösung (0,1 M), Destilliertes Wasser

Sicherheitshinweise:



Silbernitratlösung ist ätzend und hinterlässt auf der Haut schwarze Flecken. Das Tragen von Schutzhandschuhen ist empfohlen. Silbernitratlösung und Silberchlorid sind umweltschädlich und müssen in den schwermetallhaltigen Abfall bzw. den Feststoffabfall entsorgt werden.

Zeitlicher Rahmen:

Der Versuch nimmt in der Durchführung durch die Schüler:innen in etwa 25 Minuten Zeit in Anspruch, sofern die Schüler:innen lediglich eine der drei Wurstproben untersuchen. Die Dauer des Versuches erhöht sich um ca. 20 Minuten pro weiterer untersuchter Wurstprobe. Für die Bearbeitung der Arbeitsmaterialien inklusive der Berechnung des Kochsalzgehaltes der untersuchten Wurstprobe benötigen die Schüler:innen ungefähr 15 Minuten. Der Gesamtaufwand liegt daher zwischen 40 und 80 Minuten. Es ist zu empfehlen, im Rahmen des Schülerlabores nur eine Wurstprobe untersuchen zu lassen.

Versuchsdurchführung:

Der Inhalt eines Schnappdeckelgläschens (10 mL) wird mithilfe von ca. 40 mL destilliertem Wasser in ein 250 mL Becherglas vollständig überführt. Die Bürette wird mit 0,1 M Silbernitratlösung auf die 0 mL Marke aufgefüllt. Das Konduktometer wird eingeschaltet und die potentiometrische Titration gestartet. Dazu wird zunächst in 1,0 mL Schritten, ab einer Volumenzugabe von 12 mL in 0,5 mL Schritten titriert. Die Werte werden in einer vorbereiteten Tabelle in ein Spreadsheet-Programm (z.B. Microsoft Excel®) übertragen. Die Titration wird nach einer Zugabe von 25 mL Silbernitratlösung beendet (Abbildung 50).



Abbildung 50. Potentiometrische Fällungstitration zur Bestimmung des Kochsalzgehaltes mithilfe des digitalen Messwertersystems Phywe® Cobra SMARTsense.

Auswertung:

Die Berechnung der Kochsalzgehalte der konventionellen, vegetarischen und veganen Wurst erfolgt über die Volumenzugabe an Silbernitratlösung am ÄQP. Für die konventionelle Wurst ergibt sich ein Volumen von (gemittelt) 18,75 mL Silbernitratlösung am ÄQP, bei der vegetarischen Wurst liegt die Volumenzugabe bei 20,5 mL und bei der veganen Wurst bei 23,0 mL am ÄQP (Abbildung 51). Da am ÄQP

$$n(\text{AgNO}_3) = n(\text{NaCl}) \quad (\text{Formel 3.3.3.11})$$

gilt, kann die Stoffmenge an Kochsalz über die Volumenzugabe berechnet werden:

$$c(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3) = n(\text{NaCl}) \quad (\text{Formel 3.3.3.12}).$$

Die erhaltene Stoffmenge an Kochsalz kann über die molare Masse von Natriumchlorid ($M = 58,44 \text{ g/mol}$) in die Masse umgerechnet werden:

$$m(\text{NaCl}) = c(\text{AgNO}_3) \cdot V(\text{AgNO}_3) \cdot M(\text{NaCl}) \quad (\text{Formel 3.3.3.13})$$

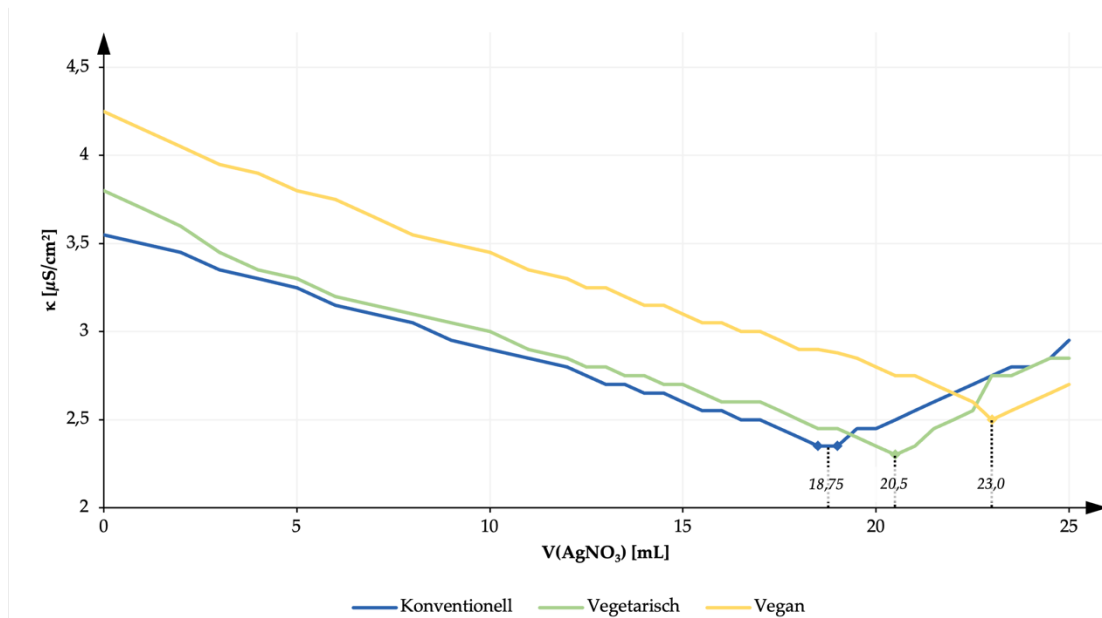
Die errechneten Massen an Kochsalz beziehen sich auf eine Einwaage von 5,0 g der jeweiligen Wurstorten und sollten auf eine Masse von 100 g bezogen werden, um einen direkten Vergleich mit den Herstellerangaben auf der Lebensmittelverpackung zu ermöglichen:

$$m_{100\text{g}}(\text{NaCl}) = \frac{100 \text{ g} \cdot m(\text{NaCl})}{5 \text{ g}} \quad (\text{Formel 3.3.3.13})$$

Die Ergebnisse der potentiometrischen Titration der drei Wurstproben sind in Tabelle 29 und Abbildung 51 dargestellt.

Tabelle 29: Übersicht der Ergebnisse der potentiometrischen Fällungstitation zur Bestimmung des Kochsalzgehaltes in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst.

	Konventionell	Vegetarisch	Vegan
V(AgNO ₃ , ÄQP)	18,75 mL	20,5 mL	23,0 mL
m(NaCl, 5 g)	0,110 g	0,120 g	0,134 g
m(NaCl, 100 g)	2,20 g	2,40 g	2,68 g
Abw. d. Lit.	0 %	0 %	-0,7 %

**Abbildung 51:** Volumen-Leitfähigkeits-Diagramm der potentiometrischen Fällungstitation von konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst (Einwaage je 5,0 g).

Diskussion:

Die potentiometrische Chloridbestimmung ist eine Möglichkeit, den Kochsalzgehalt der drei Wurstproben zuverlässig und genau zu bestimmen. Dabei erlaubt das Verfahren der Potentiometrie, die drei Produkte trotz eines recht ähnlichen Salzgehaltes reproduzierbar voneinander zu differenzieren. Fehler in der Durchführung treten nur dann auf, wenn nicht die komplette Kochsalzlösung verwendet wird, oder aber Ungenauigkeiten bei der Titration auftreten. Der Versuch lässt sich sowohl mit der Einwaage von Wurst und dem anschließenden Mörsern/Pürieren ermöglichen als auch über die Verwendung einer Kochsalzlösung. Wenngleich der Einsatz der Wurstprodukte ein höheres Maß an Authentizität für den Versuch zulässt, überwiegt der positive Effekt der Zeitersparnis im Schülerlabor beim Einsatz einer vorbereiteten Kochsalzlösung.

Entsorgung:

Überschüssige Silbernitratlösung kann entweder wiederverwendet werden, sofern diese lichtgeschützt aufbewahrt wird oder muss in den schwermetallhaltigen Abfall entsorgt werden. Bei der Entsorgung in den schwermetallhaltigen Abfall ist zur Vermeidung der Bildung von Silberazid (toxisch, explosiv) auf ein saures Milieu zu achten. Das entstandene Silberchlorid kann abfiltriert und in den Feststoffabfall entsorgt werden.

Didaktische Reduktion

Der vorliegende Versuch kombiniert verschiedene den Schüler:innen der Sekundarstufe II bereits bekannte Konzepte und Methoden des Faches Chemie. Damit die Schüler:innen die theoretischen Hintergründe des Versuches durchdringen können, ist ein Vorwissen in bestimmten Themengebieten von Nöten. Dies sind die Methode der Titration, die elektrische Leitfähigkeit von Ionen in wässriger Lösung, Fällungsreaktionen zum Nachweis bestimmter Verbindungen oder Ionen und das molare Rechnen. Diese Themengebiete werden entsprechend der curricularen Vorgaben in verschiedenen Jahrgangsstufen unterrichtet. Letztlich ist die Methode der Potentiometrie im Kerncurriculum der Sekundarstufe II im Land Niedersachsen für die Untersuchung von Säuren und Basen selbst nicht vorgesehen, kann allerdings im Rahmen der Säure-Base-Titrationen durchgeführt werden (Niedersächsisches

Kultusministerium, 2022). Der Versuch ist für die Schüler:innen als anspruchsvoll anzunehmen, da wie zuvor beschrieben ein hohes Maß an Vorwissen aktiviert werden muss und ein Übergreif verschiedener curricularer Themenschwerpunkte erfolgt. Schwierigkeiten treten vor allem im Verständnis des Zusammenhangs zwischen der Fällungsreaktion und der sich ändernden Leitfähigkeit auf: Da durch die Fällungsreaktion zwischen Silber-Ionen und Chlorid-Ionen festes Silberchlorid entsteht, wird bei vielen Schüler:innen der Anschein erweckt, dass die Leitfähigkeit aufgrund der sinkenden Anzahl an Ionen in Lösung ebenfalls sinkt. Sowohl die in Lösung gegebenen Nitrat-Ionen als auch die unterschiedlichen Äquivalentleitfähigkeiten von Chlorid-Ionen und Nitrat-Ionen werden von den Schüler:innen nicht berücksichtigt oder nicht erkannt. Zu diesem Zweck sind die Schüler:innen im Rahmen der Bearbeitung des Arbeitsmaterials aufgefordert, die in Lösung vorliegenden Teilchen zu verschiedenen Zeitpunkten der Titration zu skizzieren. Dies soll das Verständnis über die ablaufenden Prozesse erhöhen und verdeutlicht zeitgleich, dass bis zum ÄQP keine Änderung der Gesamtstoffmenge aller in Lösung befindlichen Ionen eintritt.

Um eine zusätzliche Vereinfachung zu schaffen, verzichtet das Arbeitsmaterial auf die Betrachtung weiterer an der Reaktion beteiligter Ionen, wie z.B. Phosphat-Ionen, die in Anwesenheit von Silber-Ionen als unlösliches Silberphosphat gefällt werden. Sowohl in der Untersuchung der wässrig aufgeschlossenen Wurstproben als auch in der Untersuchung eigens hergestellter Kochsalzlösungen fallen die Unterschiede zum angegebenen Literaturwert so gering aus, dass eine Vernachlässigung dieser Nebenreaktionen auch aus fachwissenschaftlicher Sicht hinnehmbar ist.

Schwierigkeiten treten darüber hinaus bei der Berechnung der Kochsalzmenge auf, da das dafür benötigte molare Rechnen (Stöchiometrie) für viele Schüler:innen schwer zugänglich ist. Zu diesem Zweck ist das Arbeitsmaterial in Bezug auf die zum Berechnen benötigten Werte vorstrukturiert und die Betreuer:innen sind angehalten, die Schüler:innen bei der Berechnung zu unterstützen.

Curriculare Legitimation

Der Versuch ist in das Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe für das Land Niedersachsen im Fach Chemie eingebettet. Konkret können anhand des Versuches folgende Kompetenzen erarbeitet werden:

Sachkompetenz:

Die Lernenden...

- berechnen die Stoffmengenkonzentration einer Probelösung (eA)
- erklären und berechnen charakteristische Punkte von Titrationskurven [...] (eA)

Erkenntnisgewinnungskompetenz:

Die Lernenden...

- ermitteln die Stoffmengenkonzentration [von Säuren und Basen] durch Titration
- wenden Nachweisreaktionen (Chlorid-, Bromid-, Hydronium/Oxonium-Ionen) zur Produktidentifikation an

Kommunikationskompetenz:

Die Lernenden...

- beschreiben das Prinzip von Fällungsreaktionen zum Nachweis von Halogenid-Ionen (eA)

Bewertungskompetenz:

Die Lernenden...

- erkennen und beschreiben die Bedeutung maßanalytischer Verfahren in der Berufswelt*
- erkennen die Bedeutung maßanalytischer Verfahren in der Berufswelt (eA)*

(Niedersächsisches Kultusministerium, 2022)

* Diese Kompetenz wird im Kerncurriculum in leicht veränderter Form zweimal genannt und ist aus diesem Grunde hier doppelt aufgeführt.

3.3.4 Experiment 3: Qualitativer Nachweis von Ascorbinsäure (Vitamin C)

Hintergründe des Versuches

Ascorbinsäure (Vitamin C) ist ein für den Körper essentielles Vitamin, das an zahlreichen Prozessen im Körper beteiligt ist (vgl. Kapitel 3.2.1). Gleichzeitig wird es aufgrund seiner reduzierenden Wirkung als Antioxidationsmittel in Lebensmitteln eingesetzt. In abgepackten Fleischprodukten wird Ascorbinsäure oft eingesetzt, um das darin enthaltene tierische Fett vor dem Ranzigwerden (Oxidation der Fette) zu schützen. Ascorbinsäure verhindert die Fettoxidation, indem es selbst oxidiert wird. Darüber hinaus dient es als Umrötungshilfsmittel, das die umrötende Wirkung von Natriumnitrit bzw. Pökelsalz unterstützt (vgl. Kapitel 3.3.7). In Lebensmitteln darf so viel Ascorbinsäure wie nötig eingesetzt werden, um eine entsprechende Wirkung zu erzielen („quantum satis“), eine gesetzlich festgelegte Höchstmenge gibt es folglich nicht (Bundesministerium der Justiz, 1998). Eine Tagesdosis von 100 mg sollte nach Angaben der EFSA nicht überschritten werden (EFSA Panel on Dietetic Products & Allergies, 2013). Im Gegensatz zur konventionellen Mortadella, enthalten das vegetarische und das vegane Fleischersatzprodukt keine Ascorbinsäure.

Im Versuch im Schülerlabor erfolgt der Nachweis von Vitamin C qualitativ über die Methode nach Tauber, die genutzt wird, um Ascorbinsäure in Mehl nachzuweisen. Für den Nachweis werden zwei Reagenzien, Reagenz nach Tauber I und Reagenz nach Tauber II benötigt. Tauber Reagenz I enthält Eisen(III)-Ionen und *ortho*-Phosphorsäure in wässriger Lösung. In Tauber Reagenz II ist Kaliumhexacyanidoferrat(III) (rotes Blutlaugensalz) in Wasser gelöst. Die Herstellung von Tauber Reagenz I kann entweder über das Lösen von Eisen(III)-chlorid (oder anderen löslichen Eisen(III)-Salzen) erfolgen oder aber durch das Lösen von Eisen(II)-sulfat und anschließende Oxidation durch Kaliumpermanganat zu Eisen(III)-Ionen erfolgen. Dies ist besonders dann von Bedeutung, wenn die Anwesenheit von Chlorid-Ionen andere Nachweisreaktionen stört. Werden beide Lösungen zusammen auf ein ascorbinsäurehaltiges Lebensmittel gegeben, werden Eisen(III)-Ionen aus Tauber Reagenz I und Eisen(III)-Ionen aus dem Hexacyanidoferrat(III)-Anion zu Eisen(II)-Ionen reduziert, wobei Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure oxidiert wird (Abbildung 52). Es entsteht ein polymeres Gerüst aus Hexacyanidoferrat(III)-Anionen und Hexacyanidoferrat(II)-Anionen, die über das Cyanid-Anion verbunden sind. Diese Verbindung ist besser bekannt als *Berliner Blau* und weist eine intensiv blaue Farbe auf. Formal weist *Berliner Blau* eine Oxidationsstufe des Eisen-Ions von II-III mit variablen Anteilen auf.

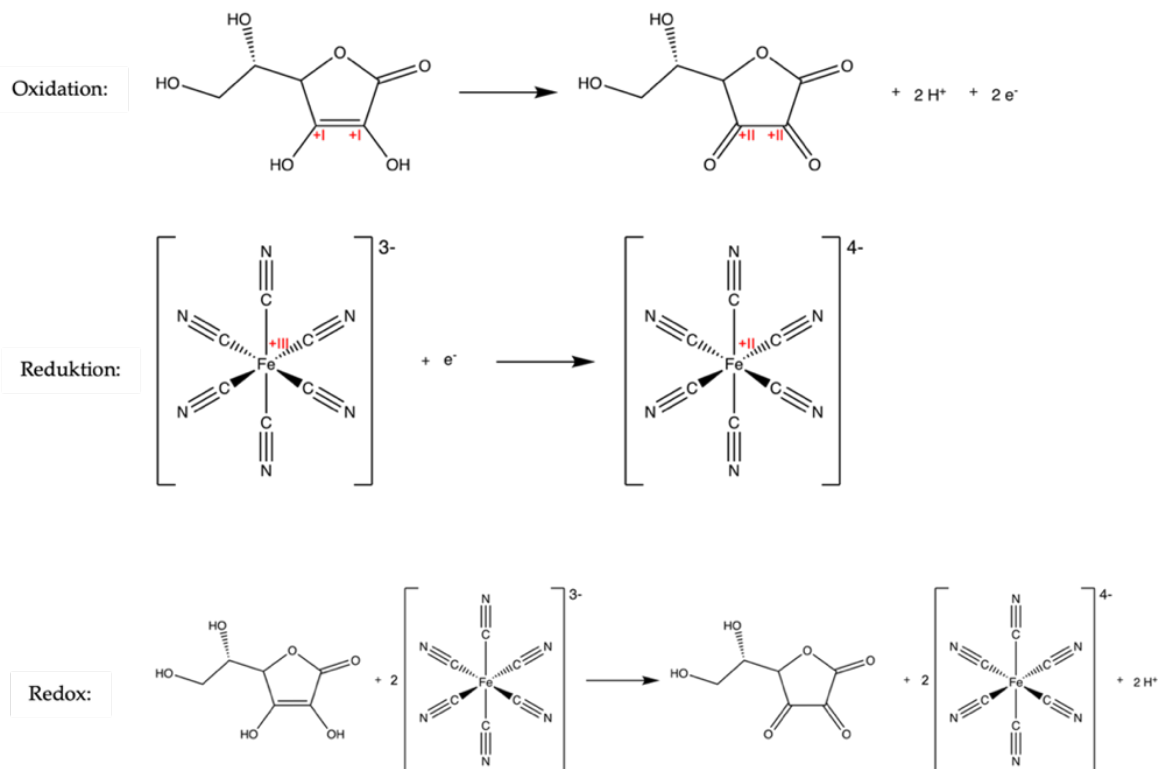


Abbildung 52: Redoxreaktion zwischen Hexacyanidoferrat(III) und Ascorbinsäure. Vereinfachte Darstellung ohne Berücksichtigung der Reduktion nicht komplexierter Eisen(III)-Ionen und ohne Darstellung des Komplexes *Berliner Blau*.

Da Taubers Reagenz I farblos oder leicht rosa, Taubers Reagenz II leicht gelb ist, ergibt sich mit dem Farbumschlag zu blau ein visuell eindeutiger Nachweis. Zwischen Eisen(II)-Ionen und Eisen(III)-Ionen liegt im Komplex *Berliner Blau* ein Gleichgewicht vor, sodass sich der Farbstoff bildet, sobald beide Ionenpezies und Hexacyanidoferrat-Anionen in beliebiger Oxidationsstufe vorhanden sind. Dies führt dazu, dass jedes Reduktionsmittel, das in der Lage ist, Eisen(III)-Ionen zu Eisen(II)-Ionen zu reduzieren, die Bildung von *Berliner Blau* initiieren kann. Im vorliegenden Nachweis über die Methode nach Tauber wird dies durch die Anwesenheit von *ortho*-Phosphorsäure verhindert bzw. eingeschränkt. Da viele Reduktionsmittel im stark sauren Milieu durch Protonierung oder Oxidation nicht mehr aktiv sind, kann durch die Anwesenheit der *ortho*-Phosphorsäure eine Reduktion durch zahlreiche in Lebensmitteln vorkommenden Reduktionsmittel vermieden werden. Durch die in Ascorbinsäure vorkommende Endiol-Gruppe ist eine reduzierende Wirkung auch im sauren Milieu möglich. Da für die Bildung von *Berliner Blau* eine vergleichsweise hohe Stoffmenge an Eisen(II)-Ionen vorliegen muss, ist der Nachweis im Vergleich zu anderen Nachweisreaktionen für Ascorbinsäure wenig sensitiv. Die Nachweismethode nach Tauber ist daher nicht selektiv für Ascorbinsäure, kann aber aufgrund der recht geringen Sensitivität in Lebensmittel als spezifischer Nachweis verwendet werden.

Entwicklung des Versuches

Der Nachweis von Ascorbinsäure (Vitamin C) in Wurst sollte als qualitativer Nachweis entwickelt werden, da die konventionelle Mortadella als einzige der drei Wurstsorten Ascorbinsäure als Antioxidationsmittel enthält. Ein qualitativer Nachweis ist daher für die Determination des konventionellen Produktes suffizient.

Der Nachweis von Ascorbinsäure ist über verschiedene Methoden möglich. Ein quantitativer, in der Lebensmittelanalytik angewandter Nachweis ist die Methode nach Tillmans, bei der der Nachweis über 2,6-Dichlorphenolindophenol-Natrium (DCPIP, Tillmans Reagenz) erfolgt. Das Reagenz, das tiefblaue Lösungen erzeugt, wird durch Ascorbinsäure in seine Leuko-Form (Leuko-DCPIP) überführt, sodass ein deutlicher Farbumschlag von blau zu farblos zu erkennen ist (Matissek et al., 2018). Der Nachweis ermöglicht über eine Redoxtitration eine quantitative Bestimmung, kann allerdings auch für qualitative Nachweis eingesetzt werden. Für einen qualitativen Nachweis ergeben sich im Umgang mit den drei Wurstsorten vorrangig zwei Schwierigkeiten: Die Menge des eingesetzten DCPIP muss auf die (den Schüler:innen unbekannte) Menge an Ascorbinsäure in der konventionellen Wurst angepasst sein, da bei Zugabe einer zu großen Menge keine Entfärbung erfolgt und die Nachweisreaktion für die konventionelle Wurst falsch negativ wäre. Außerdem verfärbt sich das DCPIP durch Anwesenheit von Säuren (wie auch Ascorbinsäure) als Säure-Base-Indikator rötlich, sodass der Farbumschlag in sauren Medien nicht von blau zu farblos, sondern von pink zu farblos erfolgt. Dieser Farbumschlag ist auf den ohnehin pink gefärbten Wurstprodukten kaum zu erkennen, bzw. erweckt den Anschein, dass alle drei Wurstsorten ein falsch positives Ergebnis erzeugen. Die Nachweismethode nach Tillmans wurde daher im Rahmen der Versuchsentwicklung verworfen.

Weitere Nachweismethoden beruhen ebenfalls auf der reduzierenden Wirkung von Ascorbinsäure. Beispielsweise kann Ascorbinsäure iodometrisch, d.h. über die Zugabe von Iod quantitativ und qualitativ nachgewiesen werden. Der Nachweis beruht auf der Entfärbung von Iod-Lösungen, da Iod durch Ascorbinsäure unter Bildung von Dehydroascorbinsäure zu Iodid reduziert wird (Matissek et al., 2018). Da Iod bei Raumtemperatur nur durch starke Reduktionsmittel (wie z.B. Hydroxid-Ionen, Ascorbinsäure und Thiosulfat-Ionen) reduziert wird, ist der Nachweis in Lebensmitteln recht spezifisch. In Bezug auf eine Anwendung im Schülerlabor ist der Nachweis aus drei Gründen ungeeignet: Der Farbumschlag erfolgt von bräunlich zu farblos, was auf den rötlich-pink gefärbten Wurstwaren zum Teil schlecht erkannt werden kann (bzw. deutlich schlechter zu erkennen ist als ein Farbumschlag von farblos zu dunkelblau). Außerdem ist, analog zur Methode nach Tillmans, die Zugabe von zu viel Iod-Lösung kritisch, da dies zu einem „Overshoot“ des Reagenz und damit einer ausbleibenden Entfärbung führen kann. Letztlich ist auch der Einsatz von Iod im Schülerlabor zwar grundsätzlich möglich, allerdings gelten im Umgang mit Halogenen besondere Sicherheitsvorkehrungen wie das Arbeiten unter einem Abzug (DGUV, 2023). Da mit der Methode nach Tauber ein unbedenklicher Versuchsablauf zur Verfügung steht, kann der iodometrische Nachweis verworfen werden.

Weitere Nachweise für Ascorbinsäure wie beispielsweise polarimetrische Bestimmungen konnten aufgrund der benötigten Geräte und der Komplexität des Versuchsaufbaus für Schüler:innen ebenfalls verworfen werden. Der Nachweis nach Tauber wurde als vorteilhaft für das Schülerlabor angesehen, da er resistent gegen Fehler in der Handhabung ist, nur wenig Zeit in Anspruch nimmt, eindeutige visuelle

Ergebnisse hervorruft und die zugrundeliegenden fachchemischen Hintergründe von den Schüler:innen nachvollzogen werden können.

Versuchsbeschreibung

Materialien:

Konventionelle, vegetarische und vegane Mortadella, 5 Uhrgläser, 3 Schneidemesser, 3 Pinzetten

Chemikalien:

Tropfflasche mit 0,1 M Ascorbinsäure-Lösung, Tropfflaschen mit Tauber Reagenz I und II, Tropfflasche mit destilliertem Wasser

Sicherheitshinweise:



Tauber Reagenz I enthält *ortho*-Phosphorsäure (10–15 w%) und ist daher ätzend. Das Tragen von Nitril-Schutzhandschuhen ist empfohlen.

Zeitlicher Rahmen:

Der Versuch nimmt für die Untersuchung aller drei Wurstproben durch die Schüler:innen ungefähr 5 Minuten in Anspruch. Für die Bearbeitung der Arbeitsmaterialien inklusive des Aufstellens einer Redoxgleichung benötigen die Schüler:innen ungefähr 10 Minuten. Der Gesamtaufwand für die Schüler:innen ist daher mit 15 Minuten einzuschätzen.

Versuchsdurchführung:

Auf das erste Uhrglas werden einige Tropfen destilliertes Wasser (Blindprobe), auf das zweite Uhrglas einige Tropfen der Ascorbinsäure-Lösung (Vergleichsprobe) gegeben. Auf die drei verbleibenden Uhrgläser wird ein ca. 2x2 cm großes Stück der konventionellen (3), vegetarischen (4) bzw. veganen (5) Wurst gegeben (für jede Probe ein eigenes Messer und eigene Pinzette benutzen). Anschließend wird auf alle fünf Uhrgläser je ein Tropfen Tauber Reagenz I und ein Tropfen Tauber Reagenz II gegeben (Abbildung 53).

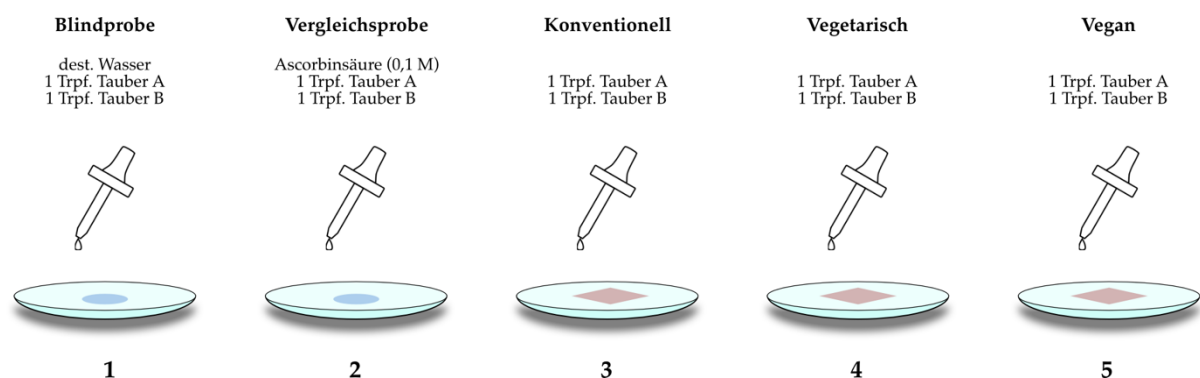


Abbildung 53: Schema zur Versuchsdurchführung des Ascorbinsäurenachweises in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst.

Auswertung:

Während Uhrglas zwei und drei eine intensiv blaue Färbung zeigen, nachdem Tauber Reagenz I und II hinzugegeben wurde, sind die Uhrgläser eins, vier und fünf nur leicht gelblich gefärbt (Abbildung 54). Die leicht gelbliche Farbe ist auf das in Tauber Reagenz II enthaltene Kaliumhexacyanidoferrat(III) zurückzuführen. Der Nachweis zeigt, dass die konventionelle Wurst Ascorbinsäure enthält, die die in beiden Reagenzien enthaltenen Eisen(III)-Ionen zu Eisen(II)-Ionen reduziert und somit die Bildung des Pigments *Berliner Blau* hervorruft. Zum Teil lässt sich eine leicht rötliche Verfärbung der veganen Wurst feststellen, was auf die Anwesenheit von Anthocyanen in saurem Milieu (*ortho*-Phosphorsäure) zurückzuführen ist (vgl. Kapitel 3.3.5).

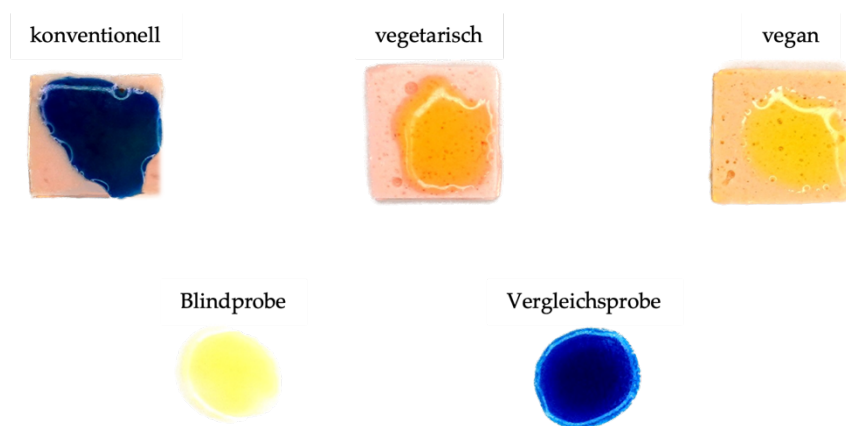


Abbildung 54: Ascorbinsäure-Nachweis in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst nach Tauber.

Diskussion:

Der Versuch ist zuverlässig und robust gegen Abweichungen beispielsweise in der Menge der eingesetzten Reagenzien, wodurch er sich von anderen Nachweisen für Ascorbinsäure unterscheidet. Es sollte lediglich darauf geachtet werden, dass jede der Wurstproben mit einem eigenen Messer geschnitten und mit einer eigenen Pinzette transportiert wird, da sich aufgrund der Sensitivität des Nachweises ansonsten auch an den anderen Wurstproben die Schnittkanten nach einiger Zeit blau verfärben. Da die konventionelle Wurst von den drei untersuchten Produkten die einzige ist, der Ascorbinsäure zugesetzt worden ist, reicht der qualitative Nachweis aus, um eine eindeutige Zuordnung zu gewährleisten. Ein quantitativer Nachweis ist wie zuvor beschrieben beispielsweise über Tillmans Reagenz möglich. Da es allerdings in Fleischwaren keine Mengenbegrenzung für den Einsatz von Ascorbinsäure in Lebensmitteln gibt (quantum satis), ist ein quantitativer Nachweis auch aus Sicht der Lebensmittelkontrolle nicht gewinnbringend.

Entsorgung:

Alle Wurstproben können in den Haushaltsmüll entsorgt werden. Die Urhrläser, Messer und Pinzetten können mit Wasser gereinigt und wieder verwendet werden.

Didaktische Reduktion

Der Versuch ist von der Handhabung und vom Versuchsdesign für Schüler:innen der Sekundarstufe II als eher simpel anzusehen. Durch die Robustheit des Versuches ist eine Ergebnisauswertung auch dann möglich, wenn die Schüler:innen von den auf den Arbeitsmaterialien angegebenen Mengenangaben abweichen.

Die Arbeitsmaterialien unterstützen die Schüler:innen beim Verständnis der fachchemischen Inhalte. Wenngleich das Thema der Redoxchemie fester Bestandteil der Sekundarstufe II ist, ist das Erkennen von Redoxpaaren und das Aufstellen von Redoxgleichungen für viele Schüler:innen eine Herausforderung (Sommer et al., 2018). Zu diesem Zweck strukturiert das Arbeitsmaterial die Redoxgleichung vor, indem Edukte und Produkte benannt werden. Als Produkt wird im Sinne einer didaktischen Reduktion durch Simplifikation das entstehende Reaktionsprodukt nicht als *Berliner Blau*, sondern als Hexacyanidoferrat(II)-Anion dargestellt. Die Betrachtung des Pigments *Berliner Blau* ist durch seinen Aufbau als Mischoxid aus Eisen(II)-Ionen und Eisen(III)-Ionen recht anspruchsvoll und für das Verständnis des Versuches nicht von Nöten. Im Arbeitsmaterial werden die Schüler:innen darauf hingewiesen, dass das entstehende Pigment sowohl aus Eisen(II)-Ionen als auch Eisen(III)-Ionen besteht, eine Redoxgleichung aber nur für die Reduktion von Eisen(III) zu Eisen(II) aufgestellt werden sollte. Auf diesem Wege kann trotz der Simplifikation eine falsche Vorstellung des Pigments vermieden werden.

Curriculare Legitimation

Der Versuch ist in das Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe für das Land Niedersachsen im Fach Chemie eingebettet. Konkret können anhand des Versuches folgende Kompetenzen erarbeitet werden:

Sachkompetenz:

Die Lernenden...

- erläutern Redoxreaktionen als Elektronenübertragungsreaktionen.
- beschreiben mithilfe der Oxidationszahlen korrespondierende Redoxpaare.
- stellen Redoxgleichungen in Form von Teil- und Gesamtgleichungen auf.
- wenden das Donator-Akzeptor-Konzept an.

Erkenntnisgewinnungskompetenz:

Die Lernenden...

- prüfen unter Anwendung von Oxidationszahlen, ob eine Redoxreaktion vorliegt.
- wenden Nachweisreaktionen zur Produktidentifikation an.

Kommunikationskompetenz:

Die Lernenden...

- beschreiben Redoxreaktionen als Donator-Akzeptor-Reaktionen.

Bewertungskompetenz:

Die Lernenden...

- beurteilen den Einsatz und das Auftreten von Redoxreaktionen in Alltag und Technik.
(Niedersächsisches Kultusministerium, 2022)

3.3.5 Experiment 4: Qualitativer Nachweis von Anthocyanen (Natürliche Farbstoffe)

Hintergründe des Versuches

Fleischersatzprodukten werden oft Farbstoffe hinzugefügt, um die Optik der Fleischprodukte zu imitieren. Entsprechend der Vorgaben für Fleischersatzprodukte ist dies nicht nur wünschenswert, sondern verpflichtend: Ähneln Fleischersatzprodukte nicht in allen Sinneseindrücken (Geschmack, Geruch, Haptik, Konsistenz, Optik) den imitierten Fleischprodukten, dürfen sie formal nicht als Fleischersatzprodukte bezeichnet werden (DLBMK, 2018). Ohne eine Färbung der Ersatzprodukte würden diese zumeist eine gräulich-gelbe Farbe aufweisen, was auf die Emulsion des enthaltenen Speiseöls und Wassers bzw. Hühnereis zurückzuführen ist. Produzent:innen vegetarischer und veganer Ersatzprodukte ist freigestellt, ob sie zum Färben natürliche, naturidentische oder synthetische Farbstoffe einsetzen (DLBMK, 2018). Die eingesetzten Farbstoffe gelten als Zusatzstoffe und müssen entsprechend der Positivliste für Zusatzstoffe für das jeweilige Lebensmittel in der Menge zugelassen sein (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2008). Eine Ausnahme gilt bei natürlichen Farbstoffen dann, wenn diese aus dem Lebensmittel direkt (als Saft bzw. Konzentrat oder in getrockneter Pulverform) eingesetzt werden und beispielsweise den Geschmack des Lebensmittels beeinflussen sollen. Dies gilt nicht, wenn die Farbstoffe zunächst aus dem Naturprodukt isoliert werden mussten und dann eingesetzt werden. Diese Isolate gelten zwar weiterhin als natürliche Farbstoffe, müssen aber entsprechen der Vorgaben des Europäischen Parlamentes und des Rates der Europäischen Union explizit zugelassen werden (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2008).

Die konventionelle Mortadella erhält ihre charakteristische Farbe durch den Einsatz von Nitritpökelsalz. Die darin enthaltenen Nitrite und Nitrate reagieren mit dem roten Muskelfarbstoff Myoglobin zu Stickoxid-Myoglobin (Stickoxid-Myochromogen). Dieser Prozess wird auch als *Umröten* bezeichnet. Gleichzeitig wird so die Bildung von Metmyoglobin unterbunden, welches durch Oxidation von Myoglobin entsteht und eine graue Farbe besitzt (vgl. Kapitel 3.3.7) (Matissek, 2019). Die Produzent:innen verschiedener Ersatzprodukte greifen zum Färben auf verschiedene Farbstoffe zurück, um die Farbe von gepökeltm Fleisch zu imitieren. Das ursprünglich im Schülerlabor verwendete vegetarische Produkt der Firma Rügenwalder enthielt zunächst Anthocyane und wurde ab dem Jahr 2021 nicht mehr auf dem Markt angeboten (vgl. Kapitel 3.3.1). Stattdessen wurde ein veganes Ersatzprodukt auf den Markt gebracht, welches Anthocyane als natürlichen Farbstoff enthält. Da die Firma Rügenwalder als einzige Firma auf dem deutschen Markt Anthocyane als färbende Lebensmittel einsetzt, konnten verschiedene vegetarische Ersatzprodukte eingesetzt werden, die keine Anthocyane enthalten. Neben Anthocyanen enthält das vegane Ersatzprodukt Carotine als Farbstoff.

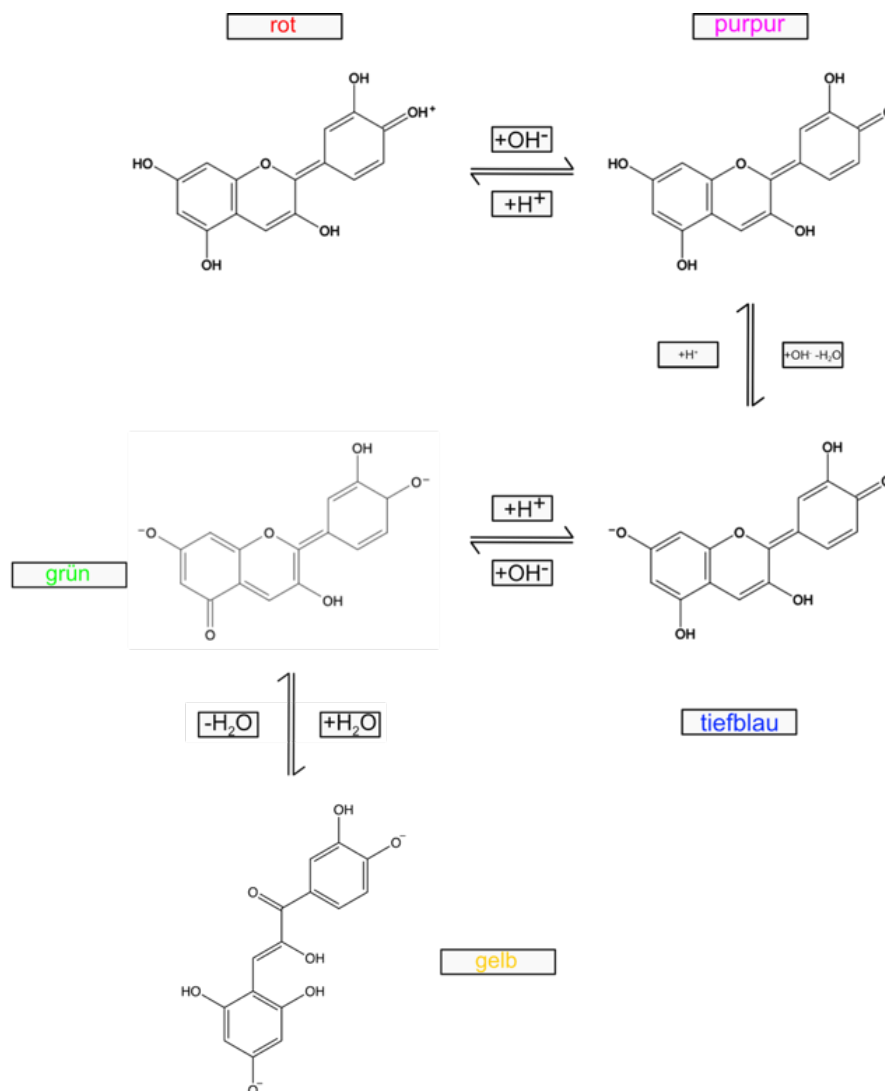


Abbildung 55: Farbänderungen des Cyanidin in saurem, neutralem und basischem Milieu. Vereinfachte Darstellung der Mesomerien und Isomeren.

Sowohl Carotine (*E160*) als auch Anthocyane (*E163*) sind natürliche Farbstoffe, die in vielen Pflanzen, vorrangig deren Blüten und Früchten vorkommen. Das bekannteste Anthocyan ist Cyanidin, welches beispielsweise Rotkohl seine charakteristische Färbung gibt. Der Einsatz von Anthocyanen als auch Carotinen gilt als grundsätzlich unbedenklich, auch wenn diese nicht als Saft bzw. Konzentrat, sondern in isolierter Form eingesetzt werden. Folglich ist für beide Stoffklassen keine Mengengrenzung vorgesehen (Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, 2008). Anthocyane und somit auch Cyanidin sind natürliche pH-Indikatoren, die den pH-Wert der umgebenden Lösung in einem breiten Farbspektrum anzeigen. In saurer Umgebung liegt Cyanidin vollständig protoniert vor und erzeugt in Lösungen eine rote Farbe. Mit steigendem pH-Wert wird Cyanidin schrittweise deprotoniert, sodass sich zunächst eine blaue Farbe (pH 7-8), dann eine grüne Farbe (pH 8-10) und schließlich eine gelbe Farbe (pH >11) einstellt (Abbildung 55).

Entwicklung des Versuches

Der Versuch zum Nachweis von Anthocyanfarbstoffen in konventioneller und vegetarischer Wurst wurde bereits von Walf und Budke für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe I entwickelt (Beeken et al., 2018; Walf, 2016). Im Rahmen dieses Schülerlabores wurde auf zwei Stücke der konventionellen und zwei Stücke der vegetarischen Wurst Salzsäure oder Natronlauge mit einer Konzentration von 1 mol/L gegeben. Da sich das Schülerlabor in der Sekundarstufe I auf die Differenzierung eines konventionellen und eines vegetarischen Produktes beschränkt hat, wurde der Versuch für das Schülerlabor der Sekundarstufe II um das vegane Produkt ergänzt.

Wie bereits beschrieben, hat sich durch den Wechsel des Produktangebotes der Firma Rügenwalder die Auswertung des Versuches geändert. Während bis zum Januar 2021 von der Firma Rügenwalder ein anthocyanhaltiges, vegetarisches Ersatzprodukt vertrieben wurde, wurde dieses Produkt durch ein veganes Ersatzprodukt getauscht. Dieses vegane Ersatzprodukt enthält analog zum vegetarischen Produkt Anthocyane als färbenden Inhaltsstoff. Aus diesem Grund wurden die Arbeitsmaterialien entsprechend angepasst.

Letztlich weist der Versuch sowohl in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II nur die Anwesenheit von Indikatoren im Lebensmittel, nicht allerdings direkt von Anthocyanen nach. Hierzu wäre entweder ein Lösen der färbenden Lebensmittel und Aufnahme eines Absorptionsspektrums zur eindeutigen Bestimmung oder aber eine massenspektrometrische Analyse der isolierten Farbstoffe von Nöten. Da anhand der Inhaltsstofflisten der drei Wurstprodukte die Anwesenheit weiterer pH-sensitiver Stoffe ausgeschlossen werden kann, ist die angewendete Nachweismethode zur Identifikation der veganen Mortadella hinreichend.

Versuchsbeschreibung

Materialien:

Konventionelle, vegetarische und vegane Mortadella, 6 Uhrgläser, ein Schneidemesser, eine Pinzette

Chemikalien:

Tropfflasche mit Salzsäure (1 M), Tropfflasche mit Natronlauge (1 M)

Sicherheitshinweise:



Salzsäure (1 M) und Natronlauge (1 M) sind ätzend und greifen daher die Haut an und können schwere Augenschäden verursachen. Das Tragen von Nitril-Schutzhandschuhen ist empfohlen.

Zeitlicher Rahmen:

Der Versuch nimmt für die Untersuchung aller drei Wurstproben durch die Schüler:innen ungefähr 5 Minuten in Anspruch. Für die Bearbeitung der Arbeitsmaterialien inklusive der Erstellung der Übersicht der Anthocyane benötigen die Schüler:innen ungefähr 5 Minuten. Der Gesamtaufwand ist daher mit 10 Minuten einzuschätzen.

Versuchsdurchführung:

Alle drei Wurstproben werden zu je zwei kleinen Quadraten (ca. 2x2 cm) zugeschnitten und auf sechs Uhrgläser verteilt. Anschließend wird wie in Abbildung 56 gezeigt ein Tropfen Salzsäure bzw. Natronlauge hinzugefügt.

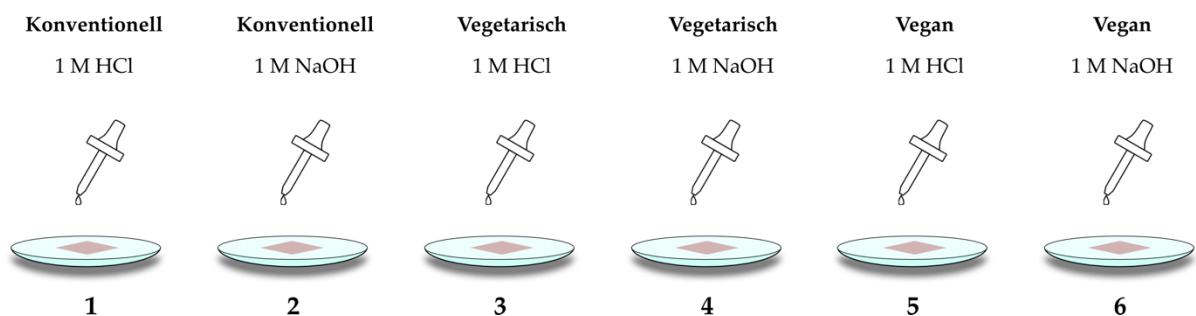


Abbildung 56: Schema zur Versuchsdurchführung des Anthocyanachweises in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst.

Auswertung:

In Anwesenheit der Salzsäure färbt sich die vegane Wurst rötlich, in Anwesenheit von Natronlauge grün-gelb. Die konventionelle und vegetarische Wurst zeigen hingegen keine Verfärbung (Abbildung 57).

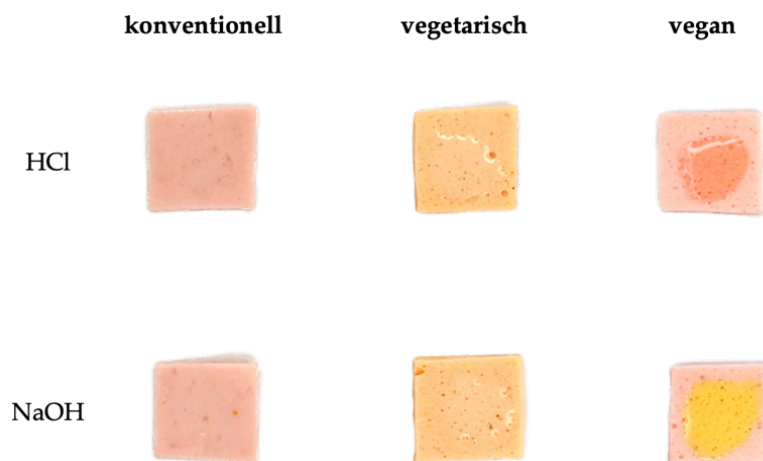


Abbildung 57: Anthocyanachweis in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst. Der Nachweis ist ausschließlich bei der veganen Wurst positiv.

Diskussion:

Der qualitative Nachweis von Anthocyanfarbstoffen ist für Schüler:innen simpel und äußerst robust gegen Fehler. Da die pH-sensitiven Farbstoffe nur in der veganen Wurst, nicht aber in der konventionellen und vegetarischen Wurst nachgewiesen werden können, ergibt sich eine eindeutige Nachweisreaktion für das vegane Produkt. Eine Differenzierung der eingesetzten Anthocyane ist mit diesem Nachweis nicht möglich, allerdings auch nicht von Nöten.

Zum Teil werden in vegetarischen Ersatzprodukten Rettichsaft oder Rote-Bete-Saft als Inhaltsstoff ausgewiesen. Sofern diese in Form des Saftes oder des Konzentrats eingesetzt werden, müssen diese entsprechend der Vorgaben des Europäischen Parlamentes und des Europäischen Rates nicht als Farbstoffe deklariert werden. Für die Durchführung des Experimentes ist von Bedeutung, dass Rettichsaft und Rote-Bete-Saft Anthocyane enthalten, sodass sich ein positiver Anthocyanachweis ergibt. Im Vorfeld sollten daher immer die eingesetzten Zutaten überprüft werden, um einen eindeutigen Nachweis gewährleisten zu können oder mögliche Arbeitsmaterialien entsprechend anzupassen.

Entsorgung:

Alle Wurstproben können in den Haushaltsmüll entsorgt werden. Die Uhrgläser, Messer und Pinzetten können mit Wasser gereinigt und wieder verwendet werden.

Didaktische Reduktion

Der Versuch zum Nachweis von Anthocyanen stellt Schüler:innen der Sekundarstufe II bezüglich der Durchführung und Auswertung zumeist nicht vor Probleme. Die Durchführung kann als simpel angesehen werden und ist äußerst robust gegenüber Fehlern wie beispielsweise der Verwendung einer größeren Menge an Salzsäure bzw. Natronlauge. Indikatoren sind den Schüler:innen gut bekannt, da diese im Chemieunterricht sowohl in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II wiederkehrend thematisiert werden. Vereinzelt treten Schwierigkeiten im Verständnis auf, dass im vorliegenden Versuch nicht die Säure oder Lauge mit einem Indikator, sondern die Anthocyane in ihrer pH-sensitiven Wirkung mit Säuren und Laugen nachgewiesen werden.

Aus Gründen der didaktischen Reduktion wird auf dem Arbeitsmaterial vereinfachend angenommen, dass der eingesetzte Farbstoff nur aus Cyanidin besteht. Da ein natürlicher Farbstoff eingesetzt wird, ist davon auszugehen, dass es sich um ein Gemisch verschiedener Anthocyane (und möglicherweise anderer Farbstoffe) handelt. Die Betrachtung der Anthocyane als Stoffgemisch unter Berücksichtigung verschiedener Molekülstrukturen stellt für den vorliegenden Versuch keinen Mehrwert hinsichtlich der Auswertung und des Verständnisses durch die Schüler:innen dar, sodass das Material bewusst simplifiziert worden ist.

Curriculare Legitimation

Der Versuch ist in das Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe für das Land Niedersachsen im Fach Chemie eingebettet. Konkret können anhand des Versuches folgende Kompetenzen erarbeitet werden:

Sachkompetenz:

Die Lernenden...

- beschreiben die Funktion von Säure-Base-Indikatoren [bei Titrationsen].

Erkenntnisgewinnungskompetenz:

Die Lernenden...

- führen die Nachweisreaktion von Hydronium/Oxonium- und Hydroxid-Ionen mit Indikatoren durch.

Bewertungskompetenz:

Die Lernenden...

- beurteilen den Einsatz von Säuren und Basen [sowie Neutralisationsreaktionen] in Alltags-, Technik- und Umweltbereichen.

(Niedersächsisches Kultusministerium, 2022)

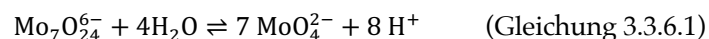
3.3.6 Experiment 5: Halbquantitativer Nachweis von Phosphaten und Diphosphaten (Stabilisatoren)

Hintergründe des Versuches

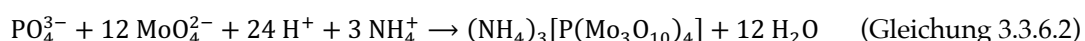
Das in der konventionellen Mortadella verwendete Fleisch besteht nicht aus einem Muskelstrang, sondern aus gekutterten bzw. gewolften Fleischstücken. Durch das Kuttern/Wolfen werden die Muskelfasern des Fleisches zerstört. Um das Fleischprodukt auch bei längerer Lagerung vor dem Austrocknen zu schützen, werden Diphosphate (*E 450*) eingesetzt, die das in den Muskelfasern enthaltene Wasser binden. Zusatzstoffe, die die Eigenschaften (z.B. Konsistenz, Optik oder Aroma) von Lebensmitteln erhalten, werden als Stabilisatoren bezeichnet. Die wasserbindende Fähigkeit von Phosphaten ist dabei überwiegend auf die Bindung von Calcium-Ionen und damit osmotische Effekte sowie die Dissoziation von Actomyoglobin in Actin und Myoglobin zurückzuführen (Matissek, 2019). Für den Einsatz von Diphosphaten darf in Fleischerzeugnissen eine Konzentration von 5 g/kg nicht überschritten werden (Bundesministerium der Justiz, 1998). Da Phosphate und Diphosphate im Verdacht stehen, allergische Reaktionen und Osteoporose auslösen zu können, gelten sie als kritischer Lebensmittelzusatzstoff. Eine Tagesdosis von 40 mg/kg Körpergewicht sollte nicht überschritten werden, was einer Aufnahme von 2,8 g für eine 70 kg schwere Person entspricht (EFSA Panel on Food Additives et al., 2019).

Im Schülerlabor werden Phosphate und Diphosphate halbquantitativ mithilfe eines Test-Kits nachgewiesen. Der Nachweis erfolgt über die Reaktion von Phosphaten mit Ammoniummolybdat. Das Test-Kit selbst besteht aus einem Teststreifen, auf dem Ammoniumheptamolybdat aufgetragen ist und einer Lösung, die Schwefelsäure und Ascorbinsäure enthält (Merck Supelco, 2021). Der Nachweis basiert auf der Bildung des Farbstoffes Molybdänblau, dessen Farbintensität in Kombination mit einer Farbskala auf dem Test-Kit eine halbquantitative Bestimmung der Phosphat- und Diphosphatkonzentration ermöglicht.

In wässrigen Lösungen liegt ein chemisches Gleichgewicht zwischen Heptamolybdaten und Molybdaten vor (Strähle & Schweda, 1995):



Im sauren Milieu werden die in der konventionellen Wurst enthaltenen Diphosphate zu Phosphaten hydrolysiert. Diese reagieren im sauren Milieu mit den Molybdat-Ionen unter Bildung von Ammoniumphosphomolybdat (Strähle & Schweda, 1995):



In Anwesenheit eines geeigneten Reduktionsmittels (z.B. Ascorbinsäure) reagiert das Ammoniumphosphomolybdat zum charakteristisch blau-grün gefärbten Molybdänblau. Molybdänblau ist eine Sammelbezeichnung für Molybdänoxidhydroxide mit einer Oxidationsstufe zwischen +V und +VI. Beispielhaft ist die Reduktion des Molybdänatoms auf die Oxidationsstufe +V durch Ascorbinsäure in

folgender Reaktionsgleichung dargestellt (HAsc = Ascorbinsäure, DHA = Dehydroascorbinsäure). Weitere Reaktionen mit anderen Molybdän-Spezies sind jedoch ebenfalls möglich.



Da die Farbintensität des Testfeldes proportional zur Phosphat-/Diphosphatkonzentration erfolgt, kann auf die Konzentration rückgeschlossen werden.

Neben dem Einsatz von Phosphaten als Lebensmittelzusatzstoff kommen diese auch natürlicherweise in jedem Lebensmittel vor. Dies ist auf die in jedem Lebewesen vorhandenen Phosphate, beispielsweise in den Nukleotiden der DNA zurückzuführen.

Entwicklung des Versuches

Der Nachweis für Phosphate und Diphosphate musste als quantitative oder halbquantitative Methodik entwickelt werden, da alle drei Produkte Phosphate enthalten. Durch den Einsatz von Diphosphaten in der konventionellen Wurst war davon auszugehen, dass die Phosphat-/Diphosphatkonzentration hier höher ausfällt als bei den Imitaten.

Quantitative Bestimmungen des Phosphatgehaltes beruhen zumeist auf der in diesem Versuch über das Test-Kit angewandten Bildung von Ammoniumphosphomolybdat bzw. Molybdänblau. Eine Bestimmung erfolgt hier zumeist über das Verfahren der Dünnschichtchromatographie. Die Durchführung dieses Verfahrens erwies sich als sehr zeitaufwändig und schwer handhabbar. Alternativ kann zur Messung ein komplett klares Filtrat erzeugt werden, das anschließend photometrisch gegen eine Eichkurve gemessen wird (Matissek et al., 2018). Auch die photometrische Bestimmung bedeutete einen hohen zeitlichen Aufwand und einen für das Schülerlabor nicht umsetzbaren Gerätebedarf. Da für die photometrische Messung ein vollständig klares Filtrat benötigt wird, wäre eine Zentrifugation der Probelösungen von Nöten gewesen. Alternativ kann die Phosphatbestimmung qualitativ über einen nasschemischen Nachweis im Reagenzglas geschehen, welcher ebenfalls auf der Entstehung von Molybdänblau beruht. Allerdings zeigte dieser Nachweis zum einen keinen verlässlich positiven Nachweis für das konventionelle Produkt, zum anderen konnten aufgrund der natürlich vorkommenden Phosphate teilweise auch positive Nachweise für die Imitate festgestellt werden, die allerdings aufgrund der mangelnden Reproduzierbarkeit hinsichtlich der Farbintensität nicht vom konventionellen Produkt differenziert werden konnten. Aus diesem Grund wurde ein halbquantitatives Nachweis-Kit gewählt, das eine auch für die Schüler:innen simple Nachweismethode ermöglicht. Wenngleich ein Nachteil von Nachweis-Kits die fehlende Transparenz der fachchemischen Hintergründe ist, überwiegen hier die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse und die einfache Handhabung bei gleichzeitiger Unbedenklichkeit der Versuchsdurchführung. Im Rahmen der Versuchsentwicklung konnte der Versuch durch das vorherige Pürieren der Wurstproben optimiert werden, sodass die durch das Test-Kit angezeigten Phosphat-/Diphosphatkonzentration mit den Literaturwerten übereinstimmten. Wurden die Wurstproben lediglich gemörsert oder aber das Teststäbchen nur auf die Wurstprobe aufgedrückt, konnte zwar ebenfalls eine Differenzierung der Proben gewährleistet werden, die allerdings keinen Rückschluss auf die tatsächlichen Konzentrationen zuließ. Aufgrund des unwesentlich höheren Arbeitsaufwandes wurde für das Schülerlabor die Versuchsvariante mit zuvor pürierten Wurstproben ausgewählt.

Versuchsbeschreibung

Materialien:

Konventionelle, vegetarische und vegane Mortadella, Waage (eine Nachkommastelle), 3 Bechergläser (600 mL), 3 Bechergläser (100 mL), Becherglas (1000 mL), Messzylinder (50 mL), Pürierstab, Messer, Pinzette, Phosphat-Test-Kit (Merck Supelco MQuant®, 10–500 mg/L)

Chemikalien:

Destilliertes Wasser

Sicherheitshinweise:



Das Phosphat-Test-Kit enthält Schwefelsäure. Diese ist ätzend und greift daher die Haut an und kann schwere Augenschäden verursachen. Das Tragen von Nitril-Schutzhandschuhen ist empfohlen. Von

Pürierstäben geht durch die offene, schnell drehende Klinge ein Verletzungsrisiko aus. Schüler:innen sind im Vorfeld über die Gefahren von Pürierstäben aufzuklären.

Zeitlicher Rahmen:

Der Versuch nimmt für die Untersuchung aller drei Wurstproben durch die Schüler:innen ungefähr 15 Minuten in Anspruch. Für die Bearbeitung der Arbeitsmaterialien inklusive der Erstellung benötigen die Schüler:innen ungefähr 5 Minuten. Der Gesamtaufwand ist daher mit 20 Minuten einzuschätzen.

Versuchsdurchführung:

5 g der konventionellen Mortadella werden in ein 600 mL Becherglas gegeben, 50 mL destilliertes Wasser hinzugefügt und anschließend mit dem Pürierstab fein püriert. Der Pürierstab wird anschließend gespült (1000 mL Becherglas etwa zur Hälfte mit Leitungswasser füllen und Pürierstab darin spülen). Der Inhalt des 600 mL Becherglases wird in ein 100 mL Becherglas dekantiert. Dieses Vorgehen wird für die vegetarische und vegane Wurst wiederholt. Der Phosphatgehalt wird nun mithilfe des Phosphat-test-Kits halbquantitativ bestimmt, indem das Teststäbchen für eine Sekunde in die jeweilige Probesuspension gehalten wird und die saure Ascorbinsäure-Lösung (Bestandteil des Test-Kits) auf das Testfeld getropft wird. Nach einer Minute kann das Testfeld abgelesen und der Phosphatgehalt bestimmt werden.

Auswertung:

Während sich für die konventionelle Wurst ein experimentell bestimmter (Di-)Phosphatgehalt von 250–500 mg/L ergibt, liegt der Wert für die vegetarische und vegane Wurst mit ca. 25 mg/L deutlich geringer (Abbildung 58).

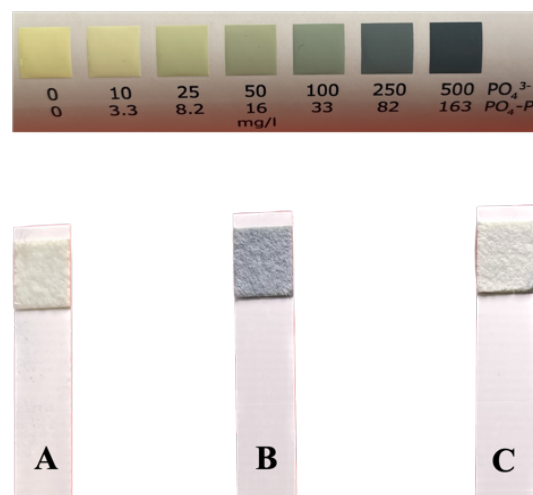


Abbildung 58: Phosphatnachweis in vegetarischer (A), konventioneller (B) und veganer (C) Wurst.

Aufgrund der im Versuch gewählten Mengen kann der gemessene (Di-)Phosphatgehalt direkt auf 100 g der jeweiligen Wurstsorten bezogen werden. 100 g der konventionellen Wurst enthalten daher 250–500 mg (Di-)Phosphate (berechnet als Phosphat), die vegetarische und vegane Wurst jeweils ca. 25 mg pro 100 g. Dies entspricht im Falle der konventionellen Wurst der maximal erlaubten Phosphatkonzentration von 5 g/kg.

Diskussion:

Wie bereits zuvor erwähnt, müssen die Wurstproben zuvor kräftig püriert werden, um die erhaltenen Werte in Relation zum Literaturwert setzen zu können. Es ist davon auszugehen, dass sich die in den Wurstproben befindlichen (Di-)Phosphate nahezu vollständig im Wasser lösen, da die erhaltenen Messwerte näherungsweise mit den zulässigen Höchstmengen übereinstimmen. Der Nachweis ist – besonders vor dem Hintergrund des Einsatzes eines Test-Kits – sehr robust gegenüber Fehlern und liefert eindeutige Ergebnisse. Soll der Versuch beschleunigt werden, kann anstatt des Pürierens der Wurstproben auch das Teststäbchen direkt auf die Probe aufgedrückt werden. Eine halbquantitative Betrachtung ist dann nicht mehr möglich.

Entsorgung:

Die Suspension mit der pürierten Wurst kann unter Zugabe von viel Wasser in den Abguss gespült werden. Die Teststäbchen können nach dem Gebrauch im Haushaltsmüll entsorgt werden.

Didaktische Reduktion

Wenngleich die Versuchsdurchführung aufgrund des Einsatzes eines Test-Kits für die Schüler:innen gut handhabbar ist, sind die fachchemischen Hintergründe recht anspruchsvoll. Die oftmals als „Black-box“ für Schüler:innen fungierenden fertigen Test-Kits und Lösungen tragen ebenfalls dazu bei, die im Teststäbchen ablaufende Reaktion nicht nachvollziehen zu können. Da mit dem Test lediglich (Di-)Phosphate nachgewiesen werden sollen, wurde bewusst auf eine Betrachtung der auf dem Testfeld ablaufenden Redoxreaktionen verzichtet. Im Arbeitsmaterial werden die Schüler:innen ohne Verwendung von Summenformeln oder Strukturen auf die Farbreaktion zur Bildung von Molybdänblau hingewiesen, müssen diese allerdings nicht weiter auswerten.

Curriculare Legitimation

Der Versuch ist nicht direkt über das Kerncurriculum des Landes Niedersachsen legitimiert. Eine Legitimation des Versuches erfolgt über die Bildungsstandards der KMK:

Sachkompetenz:

Die Lernenden...

- S3: interpretieren Phänomene der Stoff- und Energieumwandlung bei chemischen Reaktionen.

Erkenntnisgewinnungskompetenz:

Planung und Durchführung von Untersuchungen; Auswertung, Interpretation und methodische Reflexion zur Widerlegung bzw. Stützung zur Hypothese sowie zur Beantwortung der Fragestellung.

Die Lernenden...

- E4: planen, ggf. unter Berücksichtigung der Variablenkontrolle, experiment- oder modellbasierte Vorgehensweisen, auch zur Prüfung von Hypothesen, Aussagen oder Theorien.
- E5: führen qualitative und quantitative experimentelle Untersuchungen – den chemischen Arbeitsweisen und Sicherheitsregeln entsprechend – durch, protokollieren diese und werten diese aus.
- E9: diskutieren Möglichkeiten und Grenzen von Modellen

Kommunikationskompetenz:

Die Lernenden...

- K8: strukturieren und interpretieren ausgewählte Informationen und leiten Schlussfolgerungen ab.

(KMK, 2020)

Darüber hinaus fordert die KMK für die Ausgestaltung der Inhalte im Chemieunterricht der Sekundarstufe II im Inhaltsbereich 2.6.3 „Arbeitsweisen“ den Nachweis von Ionen und funktionellen Gruppen, wobei nicht weiter aufgeschlüsselt ist, welche Ionen nachgewiesen werden sollen (KMK, 2020).

3.3.7 Experiment 6: Qualitativer Nachweis von Nitritpökelsalz (Konservierungsstoffe)

Hintergründe des Versuches

Fleisch kann durch die Behandlung mit Pökelsalz, einer Mischung aus Natriumchlorid, Natrium-/Kaliumnitrat und Natrium-/Kaliumnitrit haltbar gemacht werden (konserviert werden). Die konservierende Wirkung beruht vor allem auf der Fähigkeit, Wasser zu binden (Natriumchlorid, Natrium-/Kaliumnitrat) und bakterielles Wachstum, vor allem von *Clostridium botulinum*, zu hemmen (Matissek, 2019). Zur Konservierung kann anstelle eines Gemisches auch lediglich Natriumnitrit (E 250) oder Kaliumnitrit (E 249) verwendet werden. Dies ist auch in der konventionellen Mortadella der Fall.

Neben der konservierenden Wirkung werden Wurstwaren gepökelt, da sie Fleischprodukte „umröten“. Das in Muskelfasern enthaltene Myoglobin gibt frischem Fleisch seine charakteristisch rote Farbe. Im Myoglobin-Molekül ist ein Eisen(II)-Ion komplex an vier äquatorial in der Ebene liegende Stickstoff-

Atome eines Porphyrin-Ringsystems gebunden. In axialer Position erfolgt über ein Stickstoffatom des Imidazol-Systems der Aminosäure Histidin eine fünfte koordinative Bindung zum Eisen(II)-Ion. Die Aminosäure Histidin ist im Myoglobin Bestandteil des Globulins. Die weitere, freie axiale Bindungsstelle kann durch einen weiteren Liganden besetzt werden. Diese Bindungsstelle dient beispielsweise zum Transport von Sauerstoffmolekülen. Neben Sauerstoff können allerdings auch weitere Moleküle, wie beispielsweise Wasser, Stickstoffmonoxid oder Kohlenstoffmonoxid binden. Durch längere Lagerung an der Luft kann das zentrale Eisen(II)-Ion zu einem Eisen(III)-Ion oxidiert werden, wodurch sich eine grau-braune Farbe ergibt. Dieses Molekül wird als Metmyoglobin bezeichnet. Durch die Zugabe von Nitriten entsteht Stickstoffmonoxid, das hochaffin an das Eisen(II)-Ion bindet und somit die Oxidation zum Eisen(III)-Ion hemmt. In diesem Zustand wird das Molekül als Nitrosylmyoglobin oder Stickoxidmyoglobin bezeichnet (Abbildung 59). (Matissek, 2019)

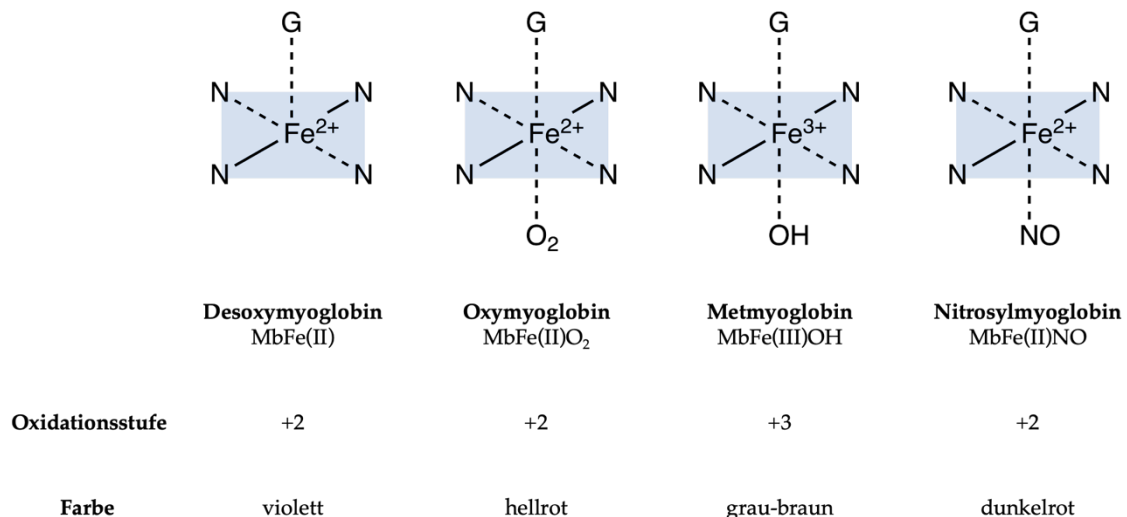


Abbildung 59: Strukturen, Namen und Farben verschiedener Myoglobin-Derivate nach (Millar et al., 1996) und (Killday et al., 2002).

Da besonders durch Erhitzen von ungepökeltem Fleisch die Bildung von Metmyoglobin gefördert wird, erhält dieses schnell eine dunkle Farbe. Die Farbe von Nitrosylmyoglobin ist auch beim Erhitzen stabil. Das Umröten wird daher aus optischen Gründen angewandt, um die Farbe frischen Fleisches erhalten zu können.

Für den Einsatz von Nitriten gilt ein ADI von 0,06 mg/kg Körpergewicht pro Tag, sodass eine maximale Konzentration von 50 mg/kg in Fleischprodukten eingesetzt werden darf (Bundesministerium der Justiz, 1998). Aufgrund der akut toxischen Wirkung von Nitriten gilt im Vergleich zu anderen Lebensmittelzusatzstoffen eine vergleichsweise geringe Höchstdosis. Die akute Toxizität ist durch die Bildung von Methämoglobin und Nitrosylhämoglobin begründet, da das entstehende Stickstoffmonoxid mit einer höheren Bindungsaffinität an das Hämoglobin-Molekül bindet und dieses blockiert bzw. das zentrale Eisen-Ion oxidiert, sodass ein Transport von Sauerstoff nicht mehr möglich ist. Dieses Krankheitsbild wird als Methämoglobinämie bezeichnet. Neben der akuten Toxizität gilt bei Nitriten vor allem die Bildung von Nitrosaminen als bedenklich, die beim Erhitzen von gepökelten und proteinreichen Lebensmitteln entstehen können. Nitrosamine sind kanzerogen und entstehen bei der Reaktion von Nitriten mit primären oder sekundären Aminen. Generell gilt ein Gesundheitsrisiko durch Nitrite für Erwachsene bei gelegentlichem Konsum gepökelter Fleischwaren allerdings als gering. Da Säuglinge Nitrite aufgrund der deutlich verringerten Enzymaktivität der *Cytochrom b₅-Reduktase* deutlich langsamer abbauen, ist für sie die erlaubte Höchstdosis weitaus geringer. Säuglinge und Kleinkinder sollten daher keine gepökelten Wurstwaren konsumieren (EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain, 2010).

Im Rahmen des Schülerlabores erfolgt der Nachweis von Nitriten über ein für halbquantitative Bestimmungen zugelassenes Test-Kit der Marke Merck Supelco MQuant®. Er beruht auf der Bildung eines Azofarbstoffes aus dem Diazonium-Salz des Sulfanilamids und *N*-(1-Naphthyl)ethylendiamin (Grieß-Reagenz). In Anwesenheit von Nitriten reagiert Sulfanilamid wie in Abbildung 60 dargestellt zum Diazonium-Salz.

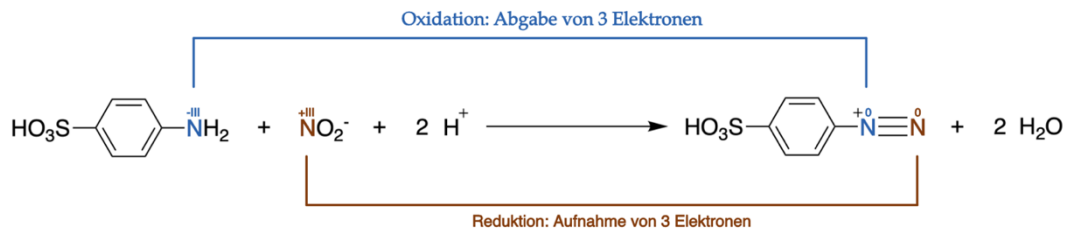


Abbildung 60: Komproportionierung von Sulfanilamid und Nitrit zum Diazonium-Ion des Sulfanilamids.

Das Diazonium-Salz reagiert in Folge einer Azokopplung mit *N*-1(Naphthyl)ethylendiamin zu einem roten Azofarbstoff (Abbildung 61).

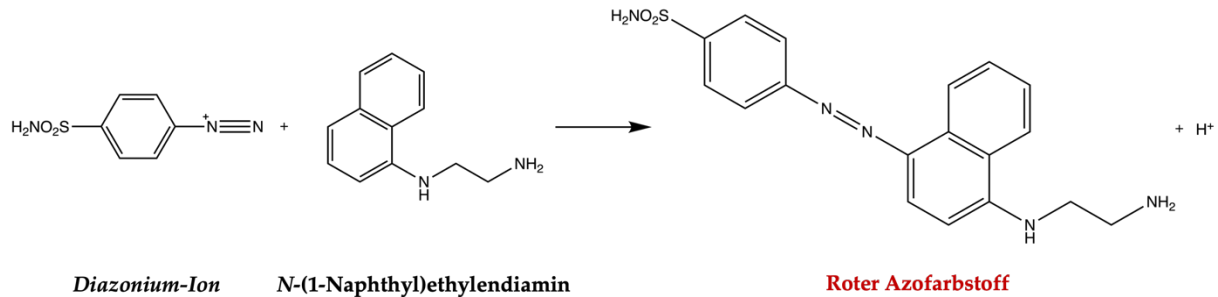


Abbildung 61: Azokopplung der Grieß-Reaktion. Aus dem Diazonium-Ion des Sulfanilamids und *N*-(1-Naphthyl)ethylendiamin bildet sich ein roter Azofarbstoff.

Je größer die Konzentration der Nitrit-Ionen in der vorliegenden Probe ist, desto intensiver färbt sich das Testfeld auf dem Teststäbchen rot. Der Nitrit-Gehalt kann dann halbquantitativ bestimmt werden.

Entwicklung des Versuches

Die konventionelle Mortadella ist als einzige der drei Wurstproben mit Natriumnitrit gepökelt. Da die Nitrit-Konzentration in der vegetarischen und veganen Mortadella unter der Nachweisgrenze des Test-Kits liegen, ist ein qualitativer Nitrit-Nachweis suffizient. Im Rahmen des Schülerlabores für die Sekundarstufe I wurde Natriumnitrit über ein Test-Kit der Marke JBL für aquaristische Zwecke nachgewiesen, das Nitrite ebenfalls über die Grieß-Reaktion halbquantitativ bestimmt. Da es sich um ein Tropfreagenz handelt, mussten die Nitrite zunächst wässrig aufgeschlossen werden (Walf, 2016). Je nach Akribie der Schüler:innen konnten mitunter keine eindeutigen Ergebnisse erzielt werden. Dies ist vermutlich auf einen unzureichenden Aufschluss zurückzuführen, sodass die Nachweisgrenze im Tropftest unterschritten worden ist. Zu diesem Zweck sollte für die Sekundarstufe II ein verlässlicherer und robusterer Nachweis entwickelt werden. Zunächst wurden dazu der mit herkömmlichen Nachweisreagenzien geringst mögliche Konzentrationsbereich ausgewählt, der bei den Teststäbchen von Merck Supelco MQuant® zwischen 0,5–10,0 mg/L liegen. Darüber hinaus wurde auf einen wässrigen Aufschluss verzichtet, sodass die Teststreifen direkt auf die jeweilige Wurstprobe aufgedrückt werden können. Es zeigte sich, dass der Nachweis auf diesem Wege sowohl äußerst simpel als auch robust gegenüber Fehl-anwendungen (z.B. in der Intensität des Aufdrückens sowie der Dauer des Aufdrückens) und verlässlich von den Schüler:innen anwendbar ist.

Versuchsbeschreibung

Materialien:

Konventionelle, vegetarische und vegane Mortadella, 3 Uhrgläser, Messer, Pinzette, Nitrit-Test-Kit (Merck Supelco MQuant®, 0,5–10,0 mg/L)

Sicherheitshinweise:

Keine

Zeitlicher Rahmen:

Der Versuch nimmt für die Untersuchung aller drei Wurstproben durch die Schüler:innen ungefähr 5 Minuten in Anspruch. Für die Bearbeitung der Arbeitsmaterialien inklusive der Erstellung einer

Redoxgleichung benötigen die Schüler:innen ungefähr 10 Minuten. Der Gesamtaufwand ist daher mit 15 Minuten einzuschätzen.

Versuchsdurchführung:

Von allen drei Wurstsorten wird ein kleines Quadrat (ca. 2x2 cm) zugeschnitten und auf ein Uhrglas platziert. Anschließend wird je ein Nitrit-Teststäbchen auf jede Wurstprobe für eine Minute leicht aufgedrückt (Abbildung 62).

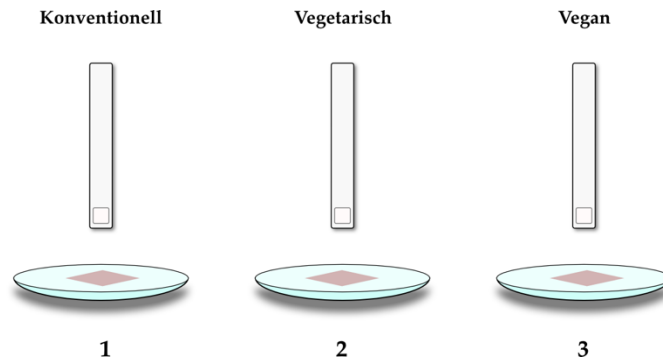


Abbildung 62: Schema zur Versuchsdurchführung des Nitrit-Nachweises in konventioneller, vegetarischer und veganer Wurst.

Auswertung:

Nach Aufdrücken der Teststäbchen ergibt sich für die konventionelle Mortadella ein Nitrit-Gehalt von ca. 2 mg/L, während für die vegetarische und vegane Wurst keine Verfärbung des Testfelds erkennbar ist (Abbildung 63).

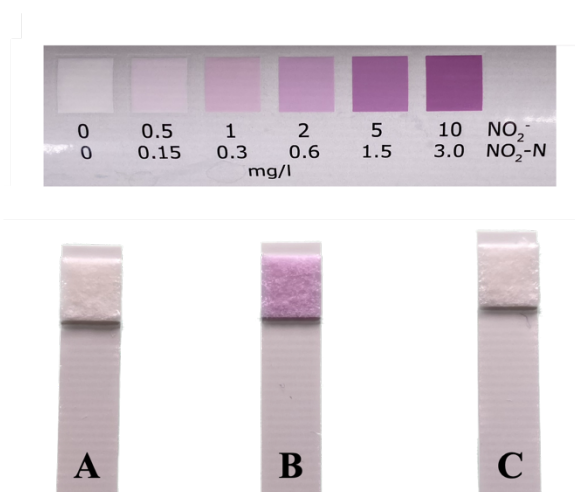


Abbildung 63: Nitrit-Nachweis in vegetarischer (A), konventioneller (B) und veganer (C) Mortadella.

Der für die konventionelle Mortadella erhaltene Messwert darf nicht zum Literaturwert in Bezug gesetzt werden, da die Versuchsdurchführung lediglich einen qualitativen Nachweis ermöglicht. Es kann gezeigt werden, dass die konventionelle Mortadella im Gegensatz zu dem vegetarischen und veganen Imitat Nitrite enthält.

Diskussion:

Wenngleich das vorliegende Test-Kit wie bereits erwähnt eine halbquantitative Bestimmung der Nitrit-Ionen-Konzentration im Bereich von 0,5–10,0 mg/L ermöglicht, lassen die im Versuch ermittelten Konzentrationen keine Rückschlüsse auf die tatsächlich in der Mortadella eingesetzten Mengen an Natriumnitrit zu. Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass das in der konventionellen Mortadella enthaltene Natriumnitrit nicht vollständig durch das Teststäbchen wässrig aufgeschlossen wird und die Wurstprobe im Vorfeld nicht gewogen und in eine definierte Menge an destilliertem Wasser überführt wird. Aus diesem Grund erfolgt der Nachweis qualitativ. Im Rahmen einer qualitativen Probe ist der Versuch robust und zuverlässig.

Entsorgung:

Alle Wurstproben und die Teststäbchen können in den Hausmüll entsorgt werden. Die Uhrgläser, Messer und Pinzetten können mit Wasser gereinigt und wieder verwendet werden.

Didaktische Reduktion

Der Versuch stellt die Schüler:innen der Sekundarstufe II vor keinerlei Probleme hinsichtlich der Durchführung und Auswertung. Da der Test für konventionelle Wurst als einziger der drei Tests positiv ausfällt, schließen die Schüler:innen eindeutig auf das richtige Wurstprodukt zurück. Vereinzelt treten entsprechend des Vorwissens der Schüler:innen Probleme beim Aufstellen der Redoxreaktion auf dem Arbeitsmaterial auf. Hier sind die Schüler:innen aufgefordert, die Komproportionierung von Sulfanilamid mit einem Nitrit-Ion zum Diazonium-Salz aufzustellen. Da die Strukturen des Sulfanilamids und des Diazonium-Salzes den Schüler:innen unbekannt sind, sind diese auf dem Arbeitsmaterial angegeben. Darüber hinaus ist im Material die Summenformel des Nitrit-Ions (NO_2^-) angegeben, sodass von den Schüler:innen erwartet wird, die Oxidationszahlen aller Atome bestimmen zu können und den Ort der Oxidation und Reduktion zu erkennen. Problematisch ist hierbei, dass es sich bei der ablaufenden Redoxreaktion um den Sonderfall der Komproportionierung handelt, bei der zwei Atome einer Spezies mit unterschiedlichen Oxidationszahlen die gleiche Oxidationszahl annehmen. Als Visualisierungshilfe sind die Schüler:innen daher auf dem Arbeitsmaterial beauftragt, den Ort der Oxidation und den Ort der Reduktion in den Edukten und dem Produkt farbig zu markieren.

Da im Kerncurriculum der Sekundarstufe II im Land Niedersachsen keine Farbstoffchemie und damit auch keine Azofarbstoffe vorgesehen sind, verzichtet das Arbeitsmaterial auf eine Betrachtung der farbgebenden Reaktion. Diese wird im Text erwähnt und in Abhängigkeit der Nitrit-Ionen-Konzentration gestellt.

Curriculare Legitimation

Der Versuch ist in das Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe für das Land Niedersachsen im Fach Chemie eingebettet. Konkret können anhand des Versuches folgende Kompetenzen erarbeitet werden:

Sachkompetenz:

Die Lernenden...

- erläutern Redoxreaktionen als Elektronenübertragungsreaktionen.
- beschreiben mithilfe der Oxidationszahlen korrespondierende Redoxpaare.
- stellen Redoxgleichungen in Form von Teil- und Gesamtgleichungen auf.
- wenden das Donator-Akzeptor-Konzept an.

Erkenntnisgewinnungskompetenz:

Die Lernenden...

- prüfen unter Anwendung von Oxidationszahlen, ob eine Redoxreaktion vorliegt.
- wenden Nachweisreaktionen zur Produktidentifikation an.

Kommunikationskompetenz:

Die Lernenden...

- beschreiben Redoxreaktionen als Donator-Akzeptor-Reaktionen.

Bewertungskompetenz:

Die Lernenden...

- beurteilen den Einsatz und das Auftreten von Redoxreaktionen in Alltag und Technik.

(Niedersächsisches Kultusministerium, 2022)

3.3.8 Experiment 7: Bestimmung des Gehalts an ungesättigten Fettsäuren (Iodzahlbestimmung)

Hintergründe des Versuches

Die konventionelle, vegetarische und vegane Wurst unterscheiden sich hinsichtlich der eingesetzten Fette/Öle. In der konventionellen Wurst ist natürlicherweise Schweinefett enthalten, während den beiden Imitaten als Fettbasis Rapsöl hinzugegeben wird. Dadurch unterscheiden sich die Produkte sowohl hinsichtlich ihres absoluten Fettgehaltes als auch in der Zusammensetzung der Fette (Tabelle 30).

Tabelle 30: Fettzusammensetzung der konventionellen, vegetarischen und veganen Mortadella.

100 g enthalten	Konventionell	Vegetarisch	Vegan
Fett (Gesamt)	20 g	15 g	11,7 g
Gesättigte Fettsäuren	7,7 g	1,2 g	0,9 g
Einfach ungesättigte Fettsäuren	9,7 g	9,5 g	10,8 g
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	2,6 g	4,3 g	

Die in den Imitaten verwendeten pflanzlichen Öle weisen im Vergleich zum konventionellen Produkt einen höheren Anteil ungesättigter Fettsäuren auf. Das Verhältnis zwischen ungesättigten und gesättigten Fettsäuren beträgt beim konventionellen Produkt ca. 1,6:1, beim vegetarischen und veganen Produkt ungefähr 12:1. Das Verhältnis an ungesättigten zu gesättigten Fettsäuren ist aus ernährungsphysiologischen Gründen von Bedeutung, da mit dem übermäßigen Verzehr gesättigter Fettsäuren potentielle Gesundheitsrisiken verbunden sind (vgl. Kapitel 3.2.1 und 3.2.4).

Der Gehalt an ungesättigten Fettsäuren lässt sich indirekt über die Iodzahl (IZ), eine der bedeutsamsten Fettkennzahlen der Lebensmittelanalytik, ermitteln. Die IZ ist ein Maß für die Anzahl an Doppelbindungen pro Fetteinheit. Je größer die IZ ist, desto mehr Doppelbindungen enthält die untersuchte Fettprobe. Damit kann auf den Gehalt an ungesättigten Fettsäuren rückgeschlossen werden. Eine Differenzierung zwischen einfach und mehrfach ungesättigten Fettsäuren sowie die Identifikation von Fettbegleitstoffen mit Doppelbindungen (z.B. Sterine) ist über die Bestimmung der IZ allerdings nicht möglich (Matissek et al., 2018).

Zur Bestimmung der Iodzahl wird das zu untersuchende Fett zunächst in einem geeigneten unpolaren Lösungsmittel gelöst (z.B. Chloroform oder Cyclohexan) und mit einem Halogenierungsmittel versetzt, das in der Lage ist, elektrophil an die im Fettsäurerest enthaltenen Doppelbindungen zu addieren. Im Falle der im Schülerlabor verwendeten Methode nach Wijs wird dazu Iodchlorid-Lösung verwendet, die als Interhalogenverbindung in der Lage ist, eine elektrophile Addition an Doppelbindungen einzugehen (Abbildung 64).

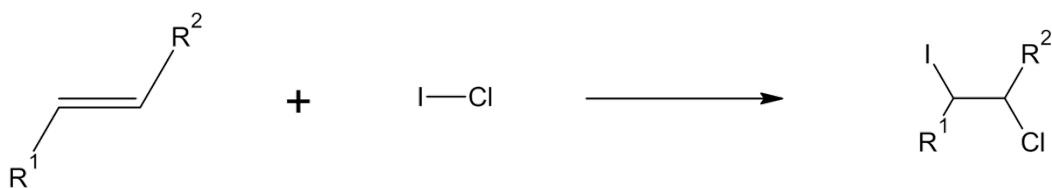


Abbildung 64: Elektrophile Addition des Iodchlorids an eine Doppelbindung im Fettsäurerest eines Fett-Moleküls.

Das im Versuch verwendete Iodchlorid wird als 0,1-molare Lösung in Eisessig verwendet. Ein Arbeiten im wasserfreien Medium ist notwendig, um die Hydrolyse des Iodchlorids zu verhindern. Die elektrophile Addition von Iodchlorid findet im Dunkeln statt, um ungewünschte Nebenprodukte durch eine konkurrierende radikalische Substitution zu verhindern. Das Wijs-Reagenz wird im Überschuss zum Reaktionsansatz gegeben, um die IZ bestimmen zu können. Folglich verbleibt – entsprechend der Menge an Doppelbindungen im Fett/Öl – eine definierte Menge an Iodchlorid unregiert im Reaktionsansatz. Zum Reaktionsansatz wird nun Kaliumiodid-Lösung im Überschuss zugegeben, welches mit dem übrigen Iodchlorid in einer Redoxreaktion Iod und Chlorid-Ionen bildet (Abbildung 65).

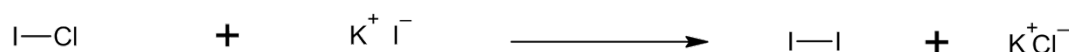


Abbildung 65: Redoxreaktion zwischen Iodchlorid und Kaliumiodid-Lösung.

Da zusätzlich Wasser zum Reaktionsgemisch gegeben wird, zeigt sich das entstehende Iod durch eine braun-violette Farbe. Es kann anschließend redoxtitrimetrisch mithilfe von Thiosulfat-Ionen zu Iodid-Ionen reduziert werden (Abbildung 66). Dazu wird eine 0,1-molare Natriumthiosulfat-Lösung eingesetzt.



Abbildung 66: Redoxreaktion zwischen Iod und Natriumthiosulfat-Lösung.

Da Iodid-Ionen in Lösungen farblos sind, wird das Reaktionsgemisch im Laufe schrittweise hellgelb und schließlich am ÄQP farblos. Da der Umschlagspunkt von hellgelb zu farblos mit bloßem Auge schwer zu erkennen ist, wird Stärke-Lösung als Indikator hinzugegeben. In die helicale Struktur von Stärke-Molekülen lagern sich Polyiodid-Ionen ein, die aus Iod und Iodid-Ionen gebildet werden. Der daraus entstehende Iod-Stärke-Komplex hat eine intensiv dunkelblau-violette Farbe. Der Iod-Stärke-Komplex steht im chemischen Gleichgewicht mit den in Lösung befindlichen Iod-Molekülen und Iodid-Ionen, sodass sich die Lösung entfärbt, sobald alle Iod-Moleküle reduziert worden sind. Die Zugabe von Stärke ermöglicht daher ein einfacheres Erkennen des Umschlagspunktes. Neben der Versuchsdurchführung für Fette/Öle muss parallel eine Blindprobe durchgeführt werden, da auch ohne Anwesenheit von Fetten/Ölen ein Teil des Iodchlorids im Laufe der Reaktion zu Iod reagiert. Der erhaltene Blindwert muss schließlich vom Versuchswert abgezogen werden.

Mithilfe des ÄQP kann die Stoffmenge an Iod in der Lösung bestimmt werden, die wiederum einen Rückschluss auf das überschüssig gebliebene Iodchlorid und damit letztlich auf die Menge an Doppelbindungen in Lösung ermöglicht. Dies wird über die IZ ausgedrückt, die wie folgt definiert ist:

$$IZ = \frac{m(I_2)[g] \cdot 100}{\text{Einwaage [g]}} \quad (\text{Gleichung 3.3.8.1})$$

Die IZ ist folglich dimensionslos. Die Formel zur Bestimmung der Iodzahl ist historisch gewachsen, da die Bestimmung wie beschrieben nicht über den Einsatz von Iod, sondern über geeignete Halogenierungsagens erfolgt (Iodchlorid, Iodbromid oder Brom). Wenngleich die Darstellung historisch ist, wird die IZ auch heute noch als Einwaage als Masse an addiertem Iod ($M_{I_2} = 253,8 \text{ g/mol}$) berechnet. Aus diesem Grund müssen die erhaltenen Ergebnisse in die Iodzahl umgerechnet werden. Zur Massenberechnung gilt daher:

$$m_{I_2} = n \cdot M_{I_2} \quad (\text{Gleichung 3.3.8.2})$$

Die Stoffmenge n ergibt sich aus der Differenz der Stoffmengen zwischen Blindversuch (B) und Hauptversuch (H):

$$m_{I_2} = (n_{B,I_2} - n_{H,I_2}) \cdot M_{I_2} \quad (\text{Gleichung 3.3.8.3})$$

Da die Redoxtitration zwischen Iod und Natriumthiosulfat-Lösung im Stoffmengenverhältnis 1:2 abläuft, gilt:

$$m_{I_2} = 0,5(n_{B,S_2O_3^{2-}} - n_{H,S_2O_3^{2-}}) \cdot M_{I_2} \quad (\text{Gleichung 3.3.8.4})$$

Die Stoffmenge an Thiosulfat-Ionen lässt sich anhand der Konzentration der Thiosulfat-Lösung bestimmen:

$$m_{I_2} = 0,5(V_B - V_H) \cdot c_{S_2O_3^{2-}} \cdot M_{I_2} \quad (\text{Gleichung 3.3.8.5})$$

Durch Einsetzen der Werte ergibt sich:

$$m_{I_2} = 0,5(V_B - V_H) \cdot 0,1 \frac{\text{mol}}{\text{L}} \cdot 253,8 \frac{\text{g}}{\text{mol}} \quad (\text{Gleichung 3.3.8.6})$$

Da die IZ auf eine Masse von 100 g des jeweiligen Fettes angegeben wird, kann die Formel bezogen auf die Einwaage e folgendermaßen gekürzt werden:

$$IZ = 1,269 * \frac{(V_B - V_H)[\text{mL}]}{e [\text{g}]} \quad (\text{Gleichung 3.3.8.7})$$

Schweinefett ist den Literaturwerten entsprechend eine IZ von 46–70, Rapsöl eine IZ von 105–120 zugeordnet. Die IZ von Rapsöl ist folglich ungefähr doppelt so groß wie die von Schweinefett. Rapsöl enthält daher ungefähr doppelt so viele ungesättigte Kohlenstoffatome wie Schweinefett.

Entwicklung des Versuches

Ziel der Versuchsentwicklung war es, eine Differenzierung zwischen dem im konventionellen Produkt enthaltenen Schweinefett und dem in den Imitaten eingesetzten Rapsöl zu ermöglichen. Im Schülerlabor der Sekundarstufe I wurde dazu das Fett mit Aceton extrahiert und die Färbung der Lösung betrachtet. So erzeugte das gelöste tierische Fett eine farblose, das Rapsöl eine gelbliche Lösung (Walf, 2016). Für die Sekundarstufe II sollte ein Versuch entwickelt werden, der an das Kerncurriculum für die gymnasiale Oberstufe angepasst ist. Zu diesem Zweck sollte der unterschiedliche Doppelbindungsgehalt in den Fetten der Wurstprodukte untersucht werden.

Der Nachweis von Doppelbindungen kann im Wesentlichen über zwei Methoden erfolgen: Zum einen können Doppelbindungen über die Baeyer-Probe mit Kaliumpermanganat nachgewiesen werden, zum anderen ist ein Nachweis über eine elektrophile Addition möglich. Ein Nachweis durch die Baeyer-Probe erwies sich als unzureichend, da diese zum einen lediglich qualitativ abläuft und dementsprechend auch für Schweinefett positiv ist. Zum anderen wird die Baeyer-Probe unter anderem durch Ascorbinsäure gestört, die im basischen Kaliumpermanganat zu Braunstein reduziert, was einen falschen positiven Nachweis anzeigt. Die Entwicklung des Versuches wurde daher über die elektrophile Addition weiterverfolgt. Problematisch für die Durchführung elektrophiler Additionen im Schüler:innenversuch ist vorrangig der Einsatz von Halogenen, die für die elektrophile Addition notwendig sind. Zumeist wird für elektrophile Additionen Brom genutzt, welches von Schüler:innen keinesfalls verwendet werden darf (DGUV, 2023). Als Alternative bleibt, wenngleich unter starken Einschränkungen, der Einsatz von Bromwasser, dessen Verwendung Schüler:innen in Konzentrationen $< 1 \text{ w}\%$ erlaubt ist (DGUV, 2023). Um das Gefahrenpotential weiter zu senken, sollte das Bromwasser durch Iod substituiert werden. Iod in seiner molekularen Form, ist allerdings nicht reaktiv genug, um elektrophile Additionen einzugehen. Stattdessen wurde Betaisodona®-Lösung verwendet, welche als Medikament zur Wundversorgung eingesetzt wird (Abbildung 67).



Abbildung 67: Betaisodona®-Lösung mit Povidon-Iod als Wirkstoff. Verändert nach (Mundipharma, 2023).

Wirkstoff in Betaisodona®-Lösung ist Povidon-Iod, ein wasserlöslicher Iod-Komplex, in dem das Iod in aktivierter Form vorliegt. In Povidon-Iod liegt Iod als I_3^- -Ion vor, welches ein geeignetes Elektrophil zur Addition an Doppelbindungen ist. Zu Versuchszwecken wurden 1:10 (10 mg/mL) und 1:25 (4 mg/mL) verdünnte Lösungen angefertigt, die zum Reaktionsansatz der Fette aus den Wurstprodukten in einem geeigneten Lösungsmittel (Cyclohexan) gegeben wurden. Mit Betaisodona®-Lösung konnten Doppelbindungen nachgewiesen werden, die allerdings nicht quantifiziert werden konnten. Somit ergab sich, ähnlich wie bei der Baeyer-Probe ein generell positiver Nachweis. Die Entfärbung der Povidon-Iod-Lösung erfolgt nicht reproduzierbar, sodass der Versuchsansatz verworfen wurde.

Der Versuch wurde dementsprechend mit der laboranalytischen Methode zum Nachweis von Doppelbindungen fortgeführt. Dazu wurde zunächst das Lösungsmittel Trichlormethan (Chloroform) durch Cyclohexan ausgetauscht, da der Einsatz von Chloroform in Schulen grundsätzlich untersagt ist (DGUV, 2023). Die nach der Substitution für den Versuch verwendeten Chemikalien (Cyclohexan, Wijs-Reagenz, Kaliumiodid-Lösung) sind im Schüler:innenexperiment unter Einhaltung von bestimmten Sicherheitsvorkehrungen (Schutzhandschuhe, Arbeiten unter dem Abzug) entsprechend der Vorgaben der DGUV einsetzbar (DGUV, 2023). Zur Minimierung von Risiken wurden die Chemikalien in Injektionsfläschchen gefüllt, aus denen die benötigten Kleinstmengen direkt mit einer Spritze entnommen werden, um einen direkten Kontakt zwischen den Schüler:innen und den Chemikalien zu verhindern. Aufgrund des für ein Schülerlaborsetting hohen Zeitaufwandes des Versuches wurde im Rahmen des Schüler:innenexperimentes nur eine der beiden Proben untersucht. Darüber hinaus wurde aus Zeitgründen auf die Isolation der Fette aus der Wurst verzichtet, sodass die Schüler:innen direkt mit Schweinefett (Schweineschmalz) und Rapsöl arbeiten. Zusätzlich wurde entgegen der genormten Nachweismethode nach Wijs die Reaktionszeit im Dunkeln von 30 Minuten auf 10 Minuten verkürzt. Zur Verdunkelung der Erlenmeyerkolben wurden Kunststoff-Blumentöpfe im Sinne einer Dunkelkammer verwendet.

Versuchsbeschreibung

Materialien:

Waage (zwei Nachkommastellen), 3 Erlenmeyerkolben (300 mL) mit Glasstopfen und Klammern, Pasteurpipetten, 3 Spritzen (2x 5 mL, 10 mL) mit Kanülen, 2 kleine Spatel, Bürette (25 mL), Heizmagnetrührer, 2 Bechergläser (50 mL, 250 mL), Permanentmarker, Dunkelkammer für Erlenmeyerkolben

Chemikalien:

Rapsöl, Schweinefett, Cyclohexan (in Injektionsfläschchen), Wijs-Reagenz (0,1 M Iodchlorid in Eisessig, in Injektionsfläschchen), Kaliumiodid-Lösung (100 g/L, in Injektionsfläschchen), Stärke-Lösung (0,5 g/L, in Tropfflasche), Natriumthiosulfat-Lösung (0,1 M), destilliertes Wasser

Sicherheitshinweise:



Wijs-Reagenz (0,1 M Iodchlorid in Eisessig) ist ätzend und leicht entzündlich. Es muss daher von offenen Zündquellen ferngehalten werden. Das enthaltene Iodchlorid verursacht Husten, Atemnot und Schleimhautreizungen. Cyclohexan ist leicht entzündlich, reizt die Haut, wirkt narkotisierend, ist stark umweltgefährdend; das Verschlucken ist lebensgefährlich. Kaliumiodid schädigt bei längerer oder wiederholter Exposition die Organe durch Verschlucken. Das beim Versuch entstehende Iod ist gesundheitsschädlich bei Verschlucken, bei Hautkontakt oder beim Einatmen und verursacht schwere Haut- und Augenreizungen. Es schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition durch Verschlucken und ist sehr giftig für Wasserorganismen. Für die im Versuch entstehenden Halogenalkane liegt keine dezidierte Gefährdungsdokumentation vor. Aliphatische Halogenalkane rufen allerdings oft bei wiederholter Exposition Organschädigungen hervor. Einige Halogenalkane stehen im Verdacht, karzinogen zu sein. Aufgrund der geschilderten Sicherheitshinweise ist der Versuch unter dem Abzug durchzuführen und es sind neben der generell verpflichtenden persönlichen Schutzausrüstung Nitril-Schutzhandschuhe zu tragen.

Zeitlicher Rahmen:

Der Versuch nimmt in der Durchführung durch die Schüler:innen in etwa 45 Minuten Zeit in Anspruch, sofern die Schüler:innen lediglich eine der beiden Fettproben untersuchen und eine Blindprobe durchführen. Die Dauer des Versuches erhöht sich um ca. 15 Minuten je weiterer untersuchter Wurstprobe. Für die Bearbeitung der Arbeitsmaterialien inklusive der Berechnung der Iodzahl des untersuchten Schweinefettes bzw. Rapsöles benötigen die Schüler:innen ungefähr 15 Minuten. Aufgrund der im Versuch vorgesehenen Wartezeit kann ein Teil der Bearbeitung der Arbeitsmaterialien während dieser Zeit erfolgen. Insgesamt ist daher ein zeitlicher Gesamtaufwand von 55–60 Minuten für die Schüler:innen einzuplanen.

Versuchsdurchführung:

Mithilfe der Waage werden 0,10 g Rapsöl oder 0,20 g Schweinefett in einen Erlenmeyerkolben eingewogen und die exakte Einwaage notiert. Der Erlenmeyerkolben wird mithilfe einer 5 mL Spritze mit 3 mL Cyclohexan befüllt. Ein weiterer Erlenmeyerkolben wird ebenfalls mit 3 mL Cyclohexan befüllt (Blindprobe). Sollte sich das Schweinefett nicht im Cyclohexan lösen, kann der Erlenmeyerkolben über einem Heizmagnetrührer bei 60 °C leicht erwärmt werden. In beide Erlenmeyerkolben wird nun mit einer Spritze möglichst genau 10 mL Wijs-Reagenz gegeben (Abbildung 68). Beide Kolben werden verschlossen, kräftig geschüttelt und für 10 Minuten in die Dunkelkammer gestellt. In der Wartezeit wird die Bürette mit 0,1-molarer Natriumthiosulfat-Lösung befüllt und ein Messzylinder mit 25 mL Wasser befüllt. Nach der Wartezeit wird eine der Proben aus der Dunkelkammer entnommen und mit 25 mL Wasser gespült. Anschließend werden mit einer Spritze 2 mL Kaliumiodid-Lösung hinzugegeben. Für den anderen Erlenmeyerkolben wird nun analog vorgegangen. Beide Ansätze werden im Anschluss nacheinander gegen die Natriumthiosulfat-Lösung titriert. Kurz vor dem Umschlagspunkt werden wenige Tropfen Stärke-Lösung hinzugegeben, um den Umschlagspunkt deutlich sichtbarer zu machen.

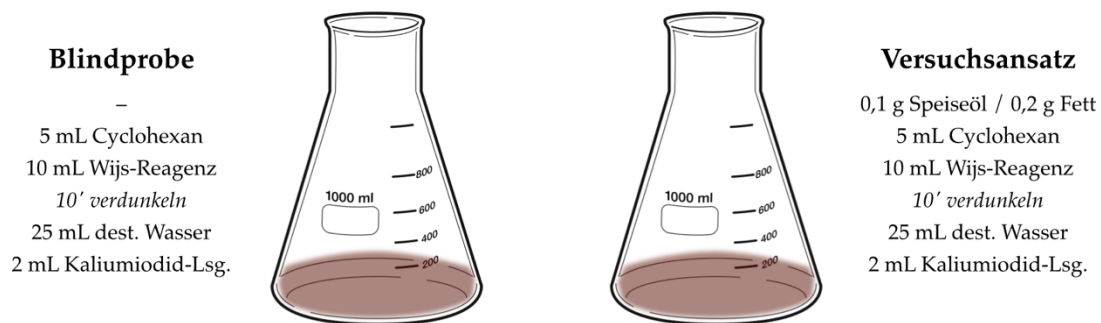


Abbildung 68: Schema zur Befüllung der Erlenmeyerkolben für die Iodzahlbestimmung.

Auswertung:

Nach Zugabe von Kaliumiodid-Lösung zu Versuchsansatz und Blindprobe färbt sich die Lösung dunkelbraun-violett, was auf die Bildung elementaren Iods zurückzuführen ist. Die anschließende Titration gegen Natriumthiosulfat-Lösung führt zu einer schrittweisen Aufhellung des Gemisches. Die organische Phase bildet dunkelrote Punkte, die durch das in Cyclohexan gelöste Iod entstehen. Dieses kann durch starkes Schwenken in die wässrige Phase überführt und durch Thiosulfat-Ionen reduziert werden. Durch Zugabe von Stärke-Lösung kurz vor dem Umschlagspunkt färbt sich der Ansatz dunkelblau. Am ÄQP entfärbt sich die Lösung schlagartig. Für die Blindprobe und den Versuchsansatz ergeben sich unterschiedliche Titrationsergebnisse, die in Tabelle 31 dargestellt sind.

Tabelle 31: Durchschnittliche Ergebnisse der Redoxtitration zur Bestimmung der Iodzahl.

Probe	V _{ÄQP} [mL]
Blindprobe	19,55
Rapsöl (0,3 g)	11,00
Schweinefett (0,2 g)	10,00

Die IZ kann durch Einsetzen der erhaltenen Titrationsergebnisse in die entsprechende Formel zur Bestimmung der IZ ermittelt werden:

$$IZ_{\text{Rapsöl}} = 1,27 \cdot \frac{V_{\text{Blind}} - V_{\text{Rapsöl}}}{e_{\text{Rapsöl}}} = 1,27 \cdot \frac{8,55 \text{ mL}}{0,10 \text{ g}} = 108,1 \quad (\text{Gleichung 3.3.8.8})$$

$$IZ_{\text{Schweinefett}} = 1,27 \cdot \frac{V_{\text{Blind}} - V_{\text{Schweinefett}}}{e_{\text{Schweinefett}}} = 1,27 \cdot \frac{9,55 \text{ mL}}{0,20 \text{ g}} = 60,6 \quad (\text{Gleichung 3.3.8.9})$$

Die experimentell ermittelten Werte bestätigen die Literaturwerte der IZ von Rapsöl und von Schweinefett. Aufgrund von Ungenauigkeiten in der Versuchsdurchführung und produktionsbedingten Unterschieden im Rapsöl oder Schweinefett ist eine Abweichung der IZ von ± 10 zu erwarten.

Diskussion:

Mithilfe des Experimentes können die Iodzahlen von Rapsöl und Schweinefett näherungsweise gut bestimmt werden. Die Versuchsdurchführung weicht an einigen Stellen von der genormten Versuchsdurchführung zur IZ-Bestimmung nach Wijs ab, um Abläufe zeitlich zu verkürzen und zu erleichtern. Durch den Austausch des Lösungsmittels (Trichlormethan/Chloroform zu Cyclohexan) wird ein paralleles Ablaufen einer radikalischen Substitution erleichtert, wodurch Abweichungen in der ermittelten IZ zu erwarten sind. Die Substitution des Lösungsmittels erfolgt nach Vorgabe der DGUV, um eine Durchführung in der Schule gewährleisten zu können. Weitere, die Genauigkeit beeinflussende Faktoren, sind der Einsatz von Spritzen als Maßinstrumente und die verkürzte Reaktionszeit im Dunkeln. Aufgrund der stark unterschiedlichen IZ der beiden untersuchten Proben, sind die aus den Abweichungen von der Messmethode resultierenden Ungenauigkeiten allerdings vernachlässigbar. Reproduzierbar kann für das Rapsöl eine IZ von 98–118, für das Schweinefett eine IZ von 50–70 ermittelt werden, sodass eine eindeutige Auswertung in jedem Falle möglich ist. Die im Vergleich zum Normverfahren angewendeten Änderungen stellen (neben der RiSU-bedingten Substitution von Chloroform) vorrangig eine zeitliche Ersparnis für die Schüler:innen dar. Dies betrifft besonders die Verkürzung der Reaktionszeit von 30 Minuten auf 10 Minuten, die eine Durchführung im Rahmen eines Schülerlaborsettings ermöglicht.

Der Versuch ist für Schüler:innen in der Durchführung anspruchsvoll, da er verschiedene Verfahren (organische Synthese, Redoxtitration) kombiniert, eine zeitliche Planung und Strukturierung erfordert und eine große Zahl verschiedener Chemikalien mit unterschiedlichen Sicherheitsrisiken benötigt. Aus diesem Grund wird der Versuch im Schülerlabor unter stetiger Kontrolle durch eine:n Betreuer:in durchgeführt, der zum einen die Einhaltung der Sicherheitsvorkehrungen prüft und zum anderen die korrekte Durchführung des Versuches unterstützt. Der/die Betreuer:in unterstützt darüber hinaus bei der Auswertung des Versuches.

Entsorgung:

Nach vollständigem Ablauf der Titration sind keinerlei Reste elementaren Iods mehr vorhanden. Die kleine organische Phase (5 mL) kann daher unter dem Abzug bei 81 °C verkocht werden, die restliche Lösung kann über den Ausguss entsorgt werden.

Didaktische Reduktion

Wie zuvor erwähnt ist der Versuch für Schüler:innen in der Durchführung anspruchsvoll. Aufgrund der hohen Anforderungen an den Versuch betrifft dies allerdings nicht lediglich die Durchführung, sondern auch die Auswertung und das damit verbundene Verständnis für die fachchemischen Hintergründe des Versuches. Probleme treten im Verständnis vor allem auf, da verschiedene Themen des gymnasialen Oberstufe in diesem Versuch miteinander verknüpft werden (Elektrophile Addition zum Nachweis von Doppelbindungen, Naturstoffchemie der Lipide, Redoxreaktionen, Redox-titrationen). Auch das Versuchsdesign ist dahingehend komplex, als dass ein antiproportionaler Zusammenhang zwischen der Anzahl an Doppelbindungen im Fett und der verbrauchten Natriumthiosulfat-Lösung in der Titration besteht. Den Schüler:innen bekannte Titration beruhen meist darauf, dass ein hoher Verbrauch der Titrationslösung auch mit einer hohen Stoffmenge/Konzentration der Probelösung einhergeht. Verschleiert wird dies durch die verschiedenen Umwandlungsschritte und den Einsatz der Reagenzien im Überschuss: So werden das Fett bzw. das Öl zunächst mit einem Überschuss an Wijs-Reagenz (Iodchlorid) versetzt. Das unreaktierte Iodchlorid wird wiederum mit einem Überschuss an Kaliumiodid-Lösung versetzt, wodurch Iod entsteht. Die Stoffmenge des entstehenden Iods steht in einem antiproportionalen Zusammenhang zur Menge an Doppelbindungen im Fett bzw. Öl und wird anschließend proportional durch Natriumthiosulfat-Lösung titriert. Zum Teil treten weiterhin Probleme bei den Schüler:innen auf, da ihnen bekannte elektrophile Additionen zumeist mit symmetrisch-gleichatomigen Verbindungen (z.B. Brom) im Unterricht erarbeitet werden. Elektrophile Additionen mit heteroatomigen Molekülen werden im Rahmen des erhöhten Anforderungsniveaus selten anhand von Interhalogenverbindungen wie Iodchlorid, sondern zumeist an Halogenwasserstoffverbindungen wie Chlorwasserstoff oder Bromwasserstoff erarbeitet. Letztlich ist auch die Herleitung der Berechnung der Iodzahl für Schüler:innen anspruchsvoll, da – wie bereits erwähnt – ein antiproportionaler Zusammenhang zwischen der Anzahl der Doppelbindungen und dem Verbrauch der Natriumthiosulfat-Lösung vorliegt.

Um die Schwierigkeiten im Umgang mit dem Versuch zu minimieren, wurden verschiedene didaktische Reduktionen im Rahmen der Versuchsentwicklung vorgenommen:

- Reduktion des Versuches auf die Untersuchung lediglich einer Probe.
- Besprechen der einzelnen Abläufe und chemischen Reaktionen mit einer/einem Betreuer:in.
- Darstellung der chemischen Reaktionen in Form von Text und Strukturen auf dem Arbeitsmaterial.
- Verzicht auf Erarbeitung des Reaktionsmechanismus der elektrophilen Addition mit heteroatomigen Verbindungen.
- Verzicht auf Betrachtung der konkurrierenden Reaktion (radikalische Substitution).
- Verzicht auf das Aufstellen von Redoxgleichungen (Umsetzung von Iodchlorid mit Kaliumiodid, Redoxtitration von Iod mit Natriumthiosulfat).
- Verzicht auf das Berechnen stöchiometrischer Verhältnisse zwischen der Anzahl an Doppelbindungen im Fett/Öl und dem Verbrauch an Natriumthiosulfat-Lösung.
- Vorstrukturierung des Arbeitsmaterials durch Felder zum Eintragen der erhaltenen Versuchsparameter.
- Berechnung der IZ durch bloßes Einsetzen der erhaltenen Parameter in die zur IZ umgestellten und vereinfachten Gleichung.

Curriculare Legitimation

Der Versuch ist in das Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe für das Land Niedersachsen im Fach Chemie eingebettet. Konkret können anhand des Versuches folgende Kompetenzen erarbeitet werden:

Sachkompetenz:

Die Lernenden...

- beschreiben die Molekülstruktur von Alkanen und Alkenen.
- benennen die Mehrfachbindung als funktionelle Gruppe der Alkene [Alkine].
- (beschreiben den Reaktionsmechanismus der elektrophilen Addition von symmetrischen und asymmetrischen Verbindungen.)
- (beschreiben, dass bei chemischen Reaktionen unterschiedliche Reaktionsprodukte entstehen können.)
- begründen anhand funktioneller Gruppen die Reaktionsmöglichkeiten organischer Moleküle.
- erläutern Redoxreaktionen als Elektronenübertragungsreaktionen.
- wenden das Donator-Akzeptor-Konzept an.
- Berechnen die Stoffmengenkonzentration einer Probelösung (eA).*

Erkenntnisgewinnungskompetenz:

Die Lernenden...

- wenden Nachweisreaktionen zur Produktidentifikation an.
- beschreiben die Reaktion mit Brom als Nachweis für Doppelbindungen.
- (stellen Zusammenhänge zwischen den während der Reaktion konkurrierenden Teilchen und Produkten her.)
- führen eine Redoxtitration durch (eA).
- führen die Iod-Stärke-Reaktion durch.

Kommunikationskompetenz:

Die Lernenden...

- identifizieren funktionelle Gruppen von Naturstoffen und wenden Fachbegriffe an.

Bewertungskompetenz:

Die Lernenden...

- beurteilen grundlegende Aspekte zu Gefahren und Sicherheit in Labor [und Alltag].

- beurteilen den Einsatz und das Auftreten von Redoxreaktionen in Alltag und Technik.
- erkennen die Bedeutung maßanalytischer Verfahren (eA).
- beurteilen die Bedeutung von Naturstoffen im Alltag.

(Niedersächsisches Kultusministerium, 2022)

* im Sinne dieses Versuches als Berechnung der IZ über die vorgegebene Formel.

Die in runden Klammern verfassten Kompetenzen sind im Rahmen der Versuchsdurchführung und Bearbeitung der Arbeitsmaterialien nicht explizit mit den Schüler:innen zu erarbeiten. Im Sinne einer Binnendifferenzierung sind die Betreuer:innen angehalten, je nach Leistungsniveau der Schüler:innen die hier angeführten Kompetenzen zusätzlich zu thematisieren.

3.3.9 *Bewertungsspiel: Bestimmung der Nachhaltigkeitsbilanzen von Lebensmitteln*

Hintergründe und Entwicklung des Spiels

Wie in Kapitel 3.2.5 beschrieben, nimmt die Ernährung der Menschen einen großen Einfluss auf die Umwelt. Die Produktion, die Verarbeitung, der Transport und die Entsorgung von Nahrungsmitteln benötigen Ressourcen wie Wasser, Fläche und Energie, setzen Treibhausgase frei und tragen zur Eutrophierung und Azidifikation von Böden bei. Neben einer ökologischen Beeinflussung durch die Ernährung ist die Nahrungsmittelindustrie ein weltweit bedeutsamer Industriezweig und die Welternährung unerlässlich für die Prosperität der Menschheit. Die Ernährung der Menschen weist daher auch einen großen Einfluss nicht nur auf die ökologische Dimension der Nachhaltigkeit, sondern auch auf die ökonomische und soziale Dimension auf. Von besonderer Bedeutung ist, dass sich Lebensmittel stark in der Beeinflussung der Nachhaltigkeitsdimensionen unterscheiden und demnach die Umwelt, die Wirtschaft und den sozialen Rahmen unterschiedlich stark belasten oder entlasten. Zu diesem Zweck rief die UNESCO das Konzept der Nachhaltigen Ernährung („Sustainable Nutrition“) ins Leben, in welcher die Nachhaltigkeit von Ernährung in die fünf Dimensionen Gesundheit, Ökologie, Wirtschaft, Soziales und Kultur eingeteilt wird (UNESCO, 2021). Diese Dimensionen sind an die SDGs der Agenda 2030 der Vereinten Nationen angelehnt und sollen im besonderen Ziel 12 (Nachhaltiger Konsum) und Ziel 15 (Leben an Land) berühren. Das entwickelte Spiel soll in Einklang mit der UNESCO einen Beitrag zur BNE leisten.

Um die verschiedenen Nachhaltigkeitsdimensionen im Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II zu thematisieren, wurde das Nachhaltigkeitsspiel *Burger.i.doo* entwickelt. Die Konzeption und Evaluation des Spiels wurden zunächst unabhängig vom Schülerlabor entwickelt und nach dem Einsatz im Schülerlabor publiziert (Korte et al., 2023). Ziel des Spiels ist die Bewertung der Nachhaltigkeitsbilanzen verschiedener Lebensmittel. Die Spieler:innen erstellen dazu im Laufe des Spiels einen Burger aus verschiedenen kategorisierten Zutaten und berechnen die Nachhaltigkeitsbilanz ihres Burgers. Grundlage der Berechnung der Nachhaltigkeitsbilanzen bildet das Vorrangmodell der Nachhaltigkeit. Im Vorrangmodell, dessen Urheberchaft nicht eindeutig geklärt ist, bildet die ökologische Dimension die Basis einer nachhaltigen Entwicklung. In der zweiten Ebene folgt die soziale Dimension, die nur so weit ausgenutzt werden darf, dass die ökologische Dimension nicht verletzt. Zuletzt wird die wirtschaftliche Nachhaltigkeitsdimension angeführt, die wiederum die soziale Dimension nicht verletzen darf (Abbildung 69). Im Gegensatz zum Gleichrang- bzw. 3-Säulen-Modell der Nachhaltigkeit bedingen sich die Nachhaltigkeitsdimensionen damit in einer konkurrierenden Art und Weise. Der Ökologie wird damit die bedeutsamste Funktion der Nachhaltigkeit zugewiesen. Im Spiel wurde dies berücksichtigt, indem die Faktoren, die die ökologische Dimension betreffen, einen höheren Einfluss auf das Endergebnis ausmachen als die Faktoren, die die soziale oder wirtschaftliche Dimension abbilden. Die ökologische Nachhaltigkeit wird im Spiel durch die drei Kategorien „Ausstoß an CO₂-Äquivalenten“, „Wasserverbrauch“ und „Flächenverbrauch“ dargestellt. Die ökonomische Dimension wird durch den Preis des Burgers, die soziale Dimension durch den subjektiv von den Spieler:innen bewerteten Geschmack abgebildet. Für jede Kategorie können Punktzahlen für den Burger ermittelt werden. Der Burger mit der geringsten Gesamtpunktzahl gewinnt.

Jeder im Spiel erstellte Burger wird aus verschiedenen Zutaten zusammengesetzt, die Zutatenkategorien zugeordnet sind. Alle Burger müssen demnach aus mindestens einem Brötchen (Bun), einem Patty, einem Gemüse und einer Sauce bestehen, sofern dies nicht anders angegeben ist. Darüber hinaus können in der Kategorie „Gemüse“ drei weitere Zutaten, in der Kategorien „Add-On“ zwei Zutaten und in

der Kategorie „Sauce“ eine weitere Zutat ausgewählt werden. Zusätzlich können durch zwei „Joker-Felder“ zwei weitere beliebige Zutaten (außer „Bun“) hinzugefügt werden. Die Zutaten, die auf „Zutatenkarten“ aufgeführt sind, wurden entsprechend der meistverwendeten Zutaten auf Burgern ausgewählt. Dazu wurden die Menüs verschiedener Fast-Food-Restaurants und -Ketten in Deutschland untersucht und eine Liste mit insgesamt 50 Zutaten erstellt. Davon entfallen 5 auf Buns, 14 auf Pattys, 10 auf Gemüse, 10 auf Saucen und 11 auf Add-Ons. Als Spielobjekt wurden Burger ausgewählt, weil aus den Zutaten nahezu unbegrenzte Kombinationsmöglichkeiten und Wahlfreiheiten bei der Gestaltung eines eigenen Burgers möglich sind und das Spiel für jede:n Spieler:in individuell ist. Für alle Zutaten wurden die CO₂-Äquivalente (als CO₂-Fußabdruck), der Wasserverbrauch (als nicht korrigierter Wasserfußabdruck in der Summe aus grünem, blauem und grauem Wasser) und der Flächenverbrauch (als Flächenfußabdruck) mithilfe verschiedener Publikationen ermittelt (vgl. Kapitel 3.2.5). Zum Teil unterscheiden sich je nach Publikation die Werte für Lebensmittel. In diesem Falle wurden Extrema nicht berücksichtigt und der Median der Publikationen gewählt. Berücksichtigt wurden Peer-reviewte Studien sowie die Daten der FAO, die über FAOSTAT bezogen wurden (FAOSTAT, 2020; Hoekstra, 2012; Mekonnen & Hoekstra, 2010; Poore & Nemecek, 2018; Reinhardt et al., 2020; Rös et al., 2014). Die ausgewiesenen Publikationen verweisen nicht auf aus mehreren Bestandteilen zusammengesetzten Zutaten (wie z.B. Saucen). In diesen Fällen wurden gängige Herstellungsweisen für die Produkte ermittelt und die anteiligen Werte der Einzelzutaten anhand der vorliegenden Publikationen verwendet, um die Gesamtbilanz der Zutaten zu ermitteln. Es ist zu berücksichtigen, dass dies nur eine Näherung an die vermutlichen Realwerte darstellt, da zum Beispiel der Produktionsweg, das Ursprungsland und der Energieaufwand durch das Vermengen und Verarbeiten der Einzelzutaten nicht berücksichtigt werden können.

Neben den Zutatenkarten wurden anhand der Menüs der untersuchten Gastronomiebetriebe verschiedene Burger ermittelt, aus denen 24 Burgerkarten mit Anweisungen für die Spieler:innen erstellt worden sind. Diese geben den Spieler:innen bestimmte Aufträge, die die Verwendung oder der Verzicht bestimmter Zutaten betreffen.

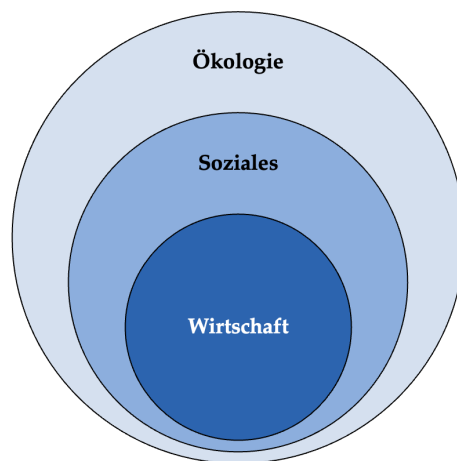


Abbildung 69: Vorrangmodell der Nachhaltigkeit. Abbildung verändert nach (Müller, o.J.).

Struktur und Design des Spiels

Das Spiel enthält zwei verschiedene Spielbretter, Spielfiguren, Multiplikatorplättchen, Burgerkarten und Zutatenkarten (Abbildung 70). In der Mitte des Spielfeldes befindet sich ein Informations-Spielbrett, auf dem Stapel für die Burgerkarten und die Zutatenkarten platziert werden können und eine Legende zur Erklärung der Symbole auf den Zutatenkarten enthalten ist. Darüber hinaus versorgt das Informations-Spielbrett die Spieler:innen mit weiteren Hintergründen zu den Nachhaltigkeitskategorien und bietet mit einem QR-Code die Möglichkeit, ausführliche Informationen zu allen Daten zu erhalten (Abbildung 71). Jede:r Spieler:in erhält darüber hinaus ein eigenes Spielfeld, die „Burgerstation“ (Abbildung 72). Die Burgerstation besteht aus drei Bereichen: Ein Bereich zur Ablage der eigenen Burgerkarte, ein Bereich für die gewählten Zutatenkarten und die Punkteskalen zur Ermittlung der Nachhaltigkeitsbilanz des eigenen Burgers.

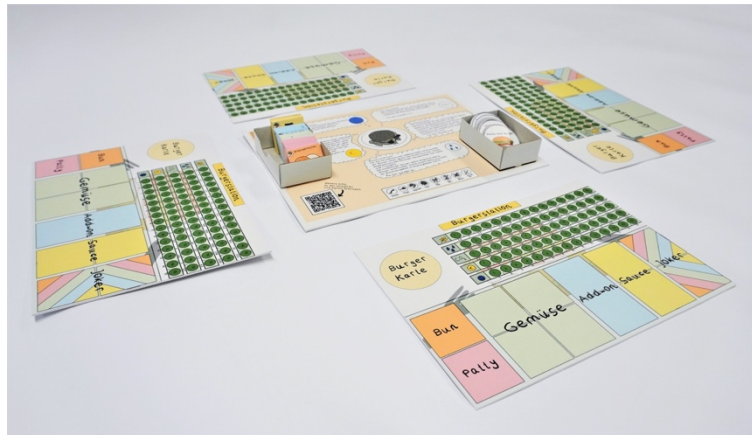


Abbildung 70: Aufbau des Spiels *Burger.i.doo*.

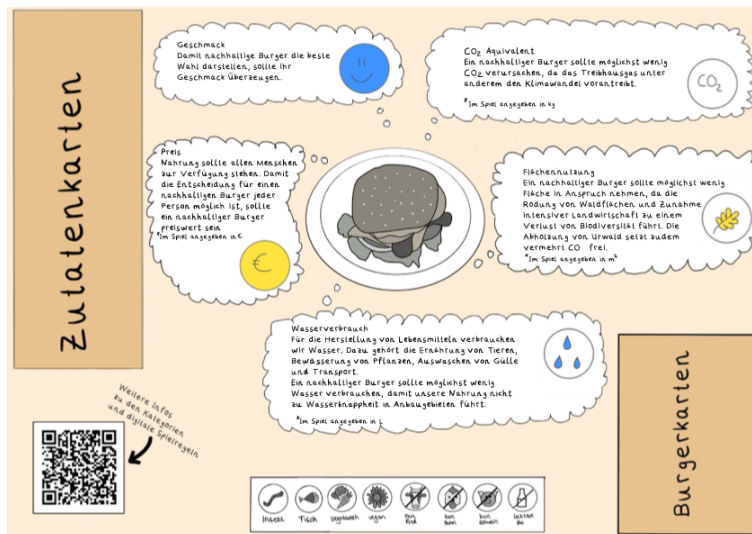


Abbildung 71: Aufbau des Informations-Spielbrettes des Spiels *Burger.i.doo*.

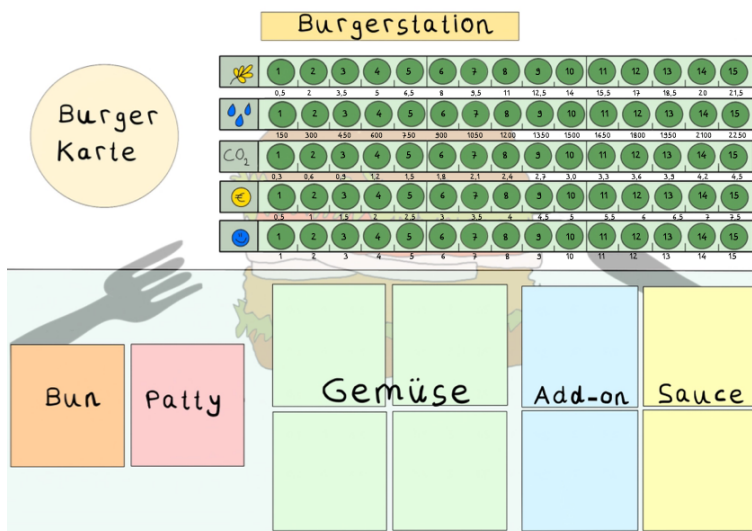


Abbildung 72: "Burgerstation" des Spiels *Burger.i.doo*.

Die auf der Burgerstation abgebildete Skala ist 15-stufig. Jeder Stufe bzw. Punktzahl ist für jede Nachhaltigkeitskategorie ein Wertebereich zugeordnet. Je geringer der ermittelte Wert und damit auch die Punktzahl, desto besser die Nachhaltigkeitsbilanz in dieser Kategorie. Die Skala ist so erstellt, dass die Burger mit der theoretisch schlechtesten Umweltbilanz die maximal mögliche Punktzahl, die Burger mit der theoretisch besten Umweltbilanz die minimal mögliche Punktzahl erhalten. Die Werte zwischen den Extremwerten wurden in gleichgroßen Anteilen auf die 15 Skaleneinheiten verteilt. Dies wurde für jede Einzelkategorie umgesetzt. Da einige, besonders auf Rindfleisch basierende Produkte mitunter eine

stark nach oben ausreißende ökologische Nachhaltigkeitsbilanz aufweisen, würde eine Differenzierung der Punktzahlen zwischen anderen Burgern kaum noch möglich sein. Beispielhaft erzeugt ein Gemüse-Patty einen Wasserfußabdruck von 100 L, ein doppeltes Rindfleisch-Patty einen Wasserfußabdruck von 3700 L. Zu diesem Zweck verwenden die Spieler:innen Multiplikatorplättchen, die die ermittelte Punktzahl verdoppeln. Überschreitet eine der Kategorien zur Bewertung der ökologischen Nachhaltigkeit den maximal möglichen Skalenwert, so muss der Spielende den erhaltenen Wert halbieren und auf das korrespondierende Feld ein Multiplikatorplättchen legen. In der Gesamtberechnung ist der ermittelte Skalenwert mit 2 zu multiplizieren. Die erhaltenen Werte werden auf die nächstliegende Punktzahl gerundet. Liegt ein Wert genau in der Mitte zwischen zwei Werten, wird eine Dezimalzahl (z.B. 4,5) verwendet.

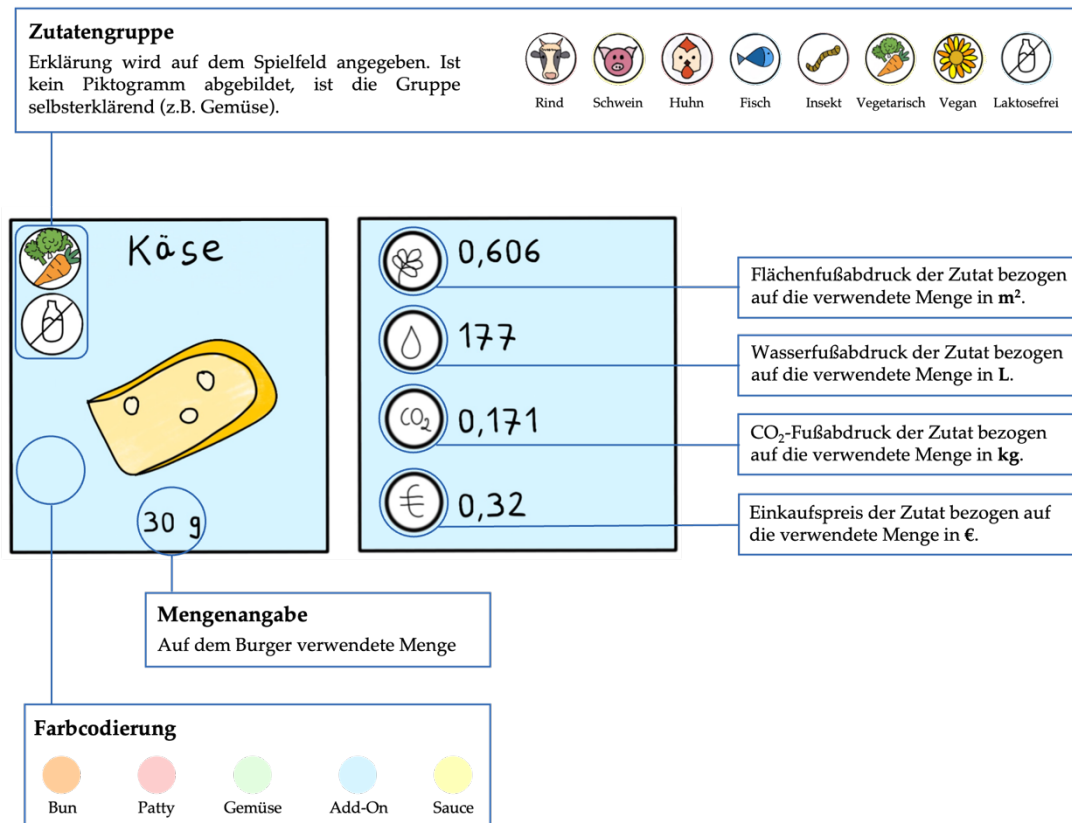
Die Burger werden von den Spieler:innen anhand von Burgerkarten erstellt. Diese bestehen aus einer Vorder- und einer Rückseite. Auf der Vorderseite sind der Name sowie eine Zeichnung des Burgers dargestellt. Auf der Rückseite stehen Anweisungen zur Erstellung des Burgers (Abbildung 73). Für gewöhnlich gibt jede Burgerkarte mindestens eine Zutat vor oder schließt eine Zutat aus. Zum Teil können auch mehrere Zutaten vorgeschrieben werden oder bestimmte Zutatengruppen ausgeschlossen werden (z.B. alle fleischigen und vegetarischen Zutaten bei der Karte „Vegan Burger“).



Abbildung 73: Burgerkarte im Spiel Burger.i.doo. Auf der Vorderseite (links) sind der Name und eine Zeichnung des Burgers abgebildet, auf der Rückseite (rechts) die Anweisungen zum Erstellen des Burgers. Im Falle des Hamburgers sind das Patty und die Sauce vorgegeben.

Die Zutatenkarten sind in fünf Kategorien eingeteilt, die über eine Farbcodierung einfach voneinander differenziert werden können. Die Farbcodierung findet sich ebenfalls auf der „Burgerstation“ wieder, um ein Legen der Karten zu vereinfachen. Auf der Vorderseite der Zutatenkarte sind der Name und ein Foto der Zutat sowie die typischerweise auf einem Burger verwendete Menge der Zutat in Gramm angegeben. Über ein Piktogramm werden Buns, Pattys, Add-Ons und Saucen zusätzlich in die Gruppen „vegan“, „vegetarisch“, „Fisch“, „Rind“, „Huhn“, „Schwein“ und „Insekt“ eingeteilt. Milchprodukte werden zusätzlich mit einem eigenen Piktogramm versehen, wenn diese laktosefrei sind (z.B. Hartkäse). Da jedes Gemüse vegan und laktosefrei ist, wird auf eine Angabe von Piktogrammen innerhalb dieser Kategorie verzichtet. Die Piktogramme sind auf dem Informations-Spielbrett erläutert. Auf der Rückseite der Zutatenkarte finden sich die Werte für den CO₂-Fußabdruck, den Wasserfußabdruck, den Flächenfußabdruck und den Preis der Zutat, bezogen auf die auf der Vorderseite angegebene Menge. Vorder- und Rückseite geben über ihre Hintergrundfarbe die Zutatenkategorie an (Abbildung 74). Der Preis ergibt sich dabei aus den durchschnittlichen Einkaufspreisen der Einzelzutaten, sodass die Burger durchschnittlich günstiger als in gastronomischen Einrichtungen sind. Wenngleich die Preise der Zutaten oft konjunkturellen, saisonalen und produktionsbedingten Schwankungen unterliegen, kann durch die feststehenden Preise ein Verhältnis zwischen den Einzelzutaten erzeugt werden.

Um die Gesamtbilanz eines Burgers zu berechnen, werden zunächst die Werte aller Zutatenkarten kategorienweise addiert. Für jeden erhaltenen Wert wird auf die korrespondierende Punktzahl der Kategorienskala ein Spielstein gesetzt. Den Geschmack des Burgers bewertet der Spielende individuell. Je besser der Burger subjektiv eingeschätzt wird, desto geringer ist die zu vergebende Punktzahl. Schließlich werden alle Werte aufaddiert und eine Gesamtpunktzahl ermittelt. Es gewinnt der Spielende mit der geringsten Punktzahl.

Abbildung 74: Zutatenkarten im Spiel *Burger.i.doo*.

Allgemeiner Ablauf des Spiels

Zum Spielen eignen sich verschiedene Szenarien:

- Alle Spieler:innen ziehen eine zufällige Burgerkarte
- Alle Spieler:innen erhalten die gleiche Burgerkarte
- In einer Runde muss mindestens ein fleischhaltiger, ein vegetarischer und ein veganer Burger erstellt werden.
- Alle Spieler:innen suchen sich ihren Lieblingsburger aus.

Unabhängig des Szenarios erhält jede:r Spieler:in zu Beginn einer Runde eine Burgerkarte und platziert sie auf seiner Burgerstation im dafür vorgesehenen Feld. Die Zutatenkarten werden ausgesucht und mit der Vorderseite nach oben zeigend platziert. Dazu sollen die Zutatenkarten nicht umgedreht werden, damit die Entscheidung für einen Zutatenkarte nicht durch die zugrundeliegende Nachhaltigkeitsbilanz erfolgt. Es wird noch einmal geprüft, ob die ausgewählten Zutaten den Anforderungen auf der Burgerkarte entsprechen und ob in jeder Kategorie (außer „Add-On“ und „Joker“) mindestens eine Zutatenkarte gelegt worden ist. Nachdem alle Zutatenkarten platziert worden sind, können diese umgedreht werden (Abbildung 75). Die Nachhaltigkeitsbilanzen werden wie zuvor beschrieben berechnet, die Spielsteine auf die korrespondierende Punktzahl auf der Werteskala gestellt und die Gesamtpunktzahl berechnet. Dazu liegt ein begleitender Bogen bereit, auf dem der Name des Burgers, die gewählten Zutaten und die ermittelten Werte eingetragen werden können. Zur Bewertung des Geschmacks der Burger sind drei Spielszenarien möglich:

- Alle Spieler:innen bewerten den Geschmack des eigenen Burgers.
- Alle Spieler:innen bewerten den Geschmack des Burgers der Person rechts/links von ihnen.
- Alle Spieler:innen bewerten alle Burger. Für jeden Burger wird ein Mittelwert gebildet.

Wenn alle Spieler:innen die Gesamtpunktzahl für ihren Burger errechnet haben, vergleichen sie ihre Punktzahlen, ermitteln einen Sieger und diskutieren die Faktoren, die zu einer niedrigeren oder höheren Punktzahl geführt haben. In einer zweiten Runde optimieren die Spieler:innen ihre Burger, indem sie Zutatenkarten bewusst (also auch durch Betrachtung der Kartenrückseiten) auswählen. Nach der

Optimierung der Burger können die Spieler:innen diskutieren, welche der erstellten Burger sie selbst am ehesten in einem Restaurant kaufen würden und vergleichen dies mit der ermittelten Nachhaltigkeitsbilanz.

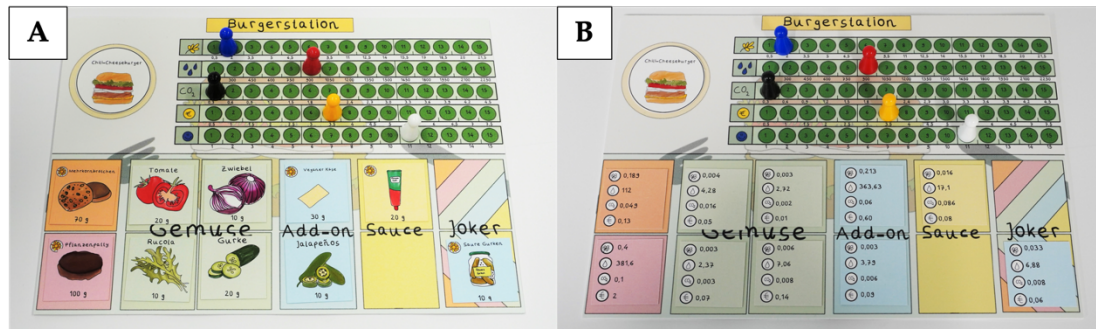


Abbildung 75: "Burgerstation" mit Burgerkarten, Zutatenkarten und Spielsteinen. Beispielhaft wurde ein Chili-Cheeseburger mit einem Pflanzenpatty erstellt. A Spiel mit Vorderseite der Zutatenkarten. B Spiel mit Rückseite der Zutatenkarten.

Exemplarischer Ablauf des Spiels

Im Folgenden soll zur Verdeutlichung ein beispielhafter Spielablauf beschrieben werden, in welchem zwei Spieler:innen A und B das Spiel spielen. Wenngleich beide Spieler:innen das Spiel gleichzeitig spielen, wird der Spielablauf zur besseren Übersicht für beide Spieler:innen separat vorgestellt.

A zieht die Burgerkarte „Hamburger“ und legt sie auf seiner Burgerstation auf das dafür vorgesehene Feld. Für diese Burgerkarte sind ein Rindfleisch-Patty und Hamburgersauce vorgeschrieben. Alle anderen Zutaten sind frei wählbar. A wählt für seinen Burger neben dem Rindfleisch-Patty und der Hamburgersauce ein Brioche-Brötchen als Bun, Gurken, Tomaten und Zwiebeln als Gemüse und Bacon als Add-On. Weitere Zutaten werden nicht ausgewählt. A legt die Zutatenkarten auf die dafür vorgesehenen Felder und prüft, ob alle Bedingungen erfüllt sind. Anschließend dreht A die Zutatenkarten um und addiert kategorienweise die Werte. Den Geschmack seines Burgers bewertet er mit dem Wert „7“. B zieht die Burgerkarte „Vegan Burger“ und legt diese ebenfalls auf das dafür vorgesehene Feld. Für diese Burgerkarte ist vorgeschrieben, keinerlei tierische Produkte verwenden zu dürfen. Innerhalb dieser Bedingung sind alle Zutatenkarten frei wählbar. B wählt für seinen Burger ein Sauerteig-Brötchen als Bun, ein Pflanzen-Patty, Gurken, Tomaten und Zwiebeln als Gemüse sowie Hamburgersauce und Ketchup als Saucen. Add-Ons und Joker wählt B nicht. Anschließend dreht B die Zutatenkarten um und addiert kategorienweise die Werte. Den Geschmack seines Burgers bewertet er mit dem Wert „10“. Die gewählten Zutaten inklusive der zugehörigen Nachhaltigkeitsbilanzen beider Spieler:innen sind in Abbildung 76 und Tabelle 32 dargestellt.

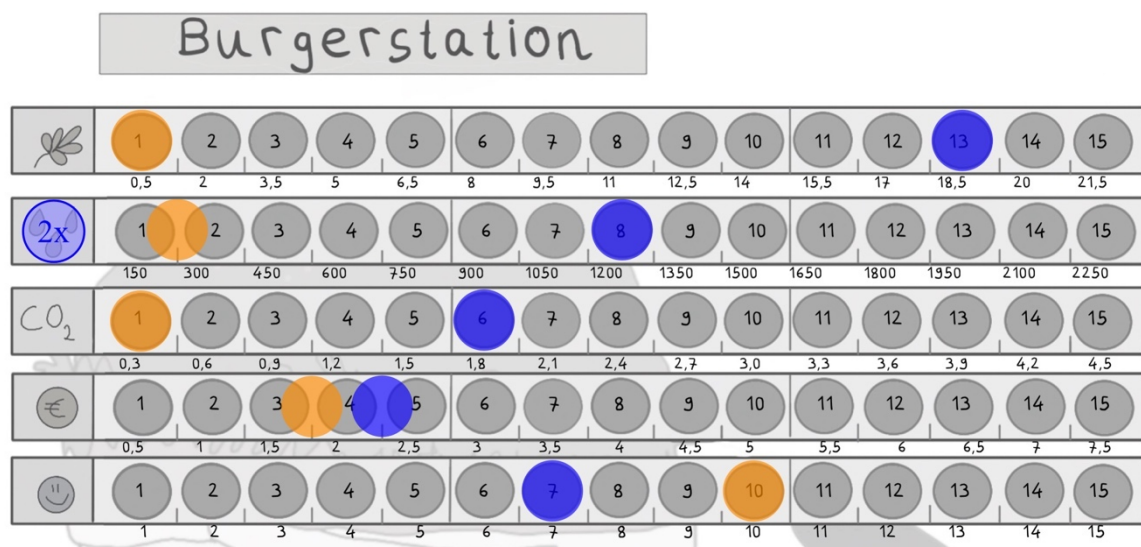


Abbildung 76: Bewertungsskala der Burgerstation mit den korrespondierenden Werten des Beispiels. In blau sind die Punktzahlen des Hamburgers, in orange die Punktzahlen des Vegan Burgers dargestellt.

Tabelle 32: Beispielhafte Berechnung der Nachhaltigkeitsbilanz eines Hamburgers und eines Vegan Burgers im Spiel *Burger.i.doo*.

Burger	Zutatenkarten	Flächenfußabdruck [m ²]	Wasserfußabdruck [L]	CO ₂ -Fußabdruck [kg]	Preis [€]	Geschmack
Hamburger	Rindfleisch-	17,040	1859,20	1,360	0,99	-
	Brioche-Buns	0,420	147,28	0,049	0,39	
	Gurke	0,006	7,06	0,008	0,14	
	Tomate	0,004	4,28	0,016	0,05	
	Zwiebel	0,003	2,72	0,002	0,02	
	Bacon	0,810	390,00	0,294	0,54	
	Hamburger-	0,140	44,30	0,034	0,08	
	Summe	18,42	2454,84	1,763	2,21	
	Punkte	13	16	6	4,5	
GESAMT		46,5				
Vegan Burger	Pflanzen-	0,050	100,00	0,180	1,08	-
	Sauerteig-Buns	0,189	112,00	0,049	0,21	
	Gurke	0,006	7,06	0,008	0,14	
	Tomate	0,004	4,28	0,016	0,05	
	Zwiebel	0,003	2,72	0,002	0,02	
	Hamburger-	0,140	44,30	0,034	0,08	
	Ketchup	0,016	10,70	0,078	0,06	
	Summe	0,301	243,64	0,341	1,64	
	Punkte	1	1,5	1	3,5	
GESAMT		17				

Aus den in Abbildung 76 und Tabelle 32 dargestellten Punktzahlen in den jeweiligen Kategorien ergeben sich durch Summenbildung für den Hamburger von Spieler:in A eine Gesamtpunktzahl von 46,5 und für den Vegan Burger von Spieler:in B eine Gesamtpunktzahl von 17. Damit ist der Vegan Burger in der Bewertung des Spiels der nachhaltigere Burger und B damit der Rundensieger.

Spieldidaktik und Ziel des Spiels

Brettspiele stellen seit einiger Zeit einen wichtigen Baustein zur BNE dar. Mithilfe des Einsatzes von Brettspielen in Bildungskontexten sollen die Hemmschwelle zum Erlernen neuer Sachverhalte gesenkt (Enyedy et al., 2015; Lauren et al., 2016; Law & Chen, 2016), die Lerneffizienz durch eine höhere Schüler:innenaktivierung und eine größere Aktivität zwischen den Schüler:innen gesteigert (Anupam et al., 2018; Casanoves et al., 2016; Dietrich, 2018; Whitton & Langan, 2018), die (vermeintliche) Komplexität der Lerninhalte reduziert, der *Cognitive Load* gesenkt (Anupam et al., 2018; Sampson et al., 2018; Stokes & Selin, 2014) und neue Kompetenzen wie kritisches Denken, Problemlösen, Teamwork, Kommunikation und Zusammenarbeit geschult werden (Cheng et al., 2019; Eisenack, 2012; Goon, 2011; Tsai et al., 2019; Tsai et al., 2021).

Das entwickelte Brettspiel *Burger.i.doo* soll auf eine einfache und realitätsnahe Art und Weise den Einfluss von Entscheidungen in Bezug auf die eigene Nachhaltigkeit sichtbar machen. Dabei wird bewusst der Fokus auf ein multidimensionales Nachhaltigkeitsmodell in Form des Vorrangmodells gelegt, um neben der ökologischen Nachhaltigkeit einen Fokus auch auf die soziale und wirtschaftliche Nachhaltigkeitsdimension zu legen. Die ökologische Nachhaltigkeit ist durch die drei im Spiel dargestellten Faktoren gut und repräsentativ zu ermitteln. Die wirtschaftliche Nachhaltigkeit wird im Spiel über den Preis des Burgers abgebildet. Zu berücksichtigen ist, dass der Preis des Burgers auch eine soziale Komponente durch die Bezahlbarkeit von Nahrungsmitteln darstellt und die wirtschaftliche Dimension durch den Preis nur in Teilen angesprochen wird. Wenngleich für ein vollständigeres Abbilden dieser Dimension beispielsweise auch die Betrachtung des Arbeitsmarktes und der wirtschaftlichen Leistung in verschiedenen Sektoren der Nahrungsmittelproduktion berücksichtigt werden musste, wurde im Spiel darauf verzichtet. Dies ist zum einen mit der generell schweren Erhebbarkeit solcher Faktoren, zum anderen in der daraus resultierenden hohen Komplexität für die Spieler:innen zu erklären. Vielmehr soll den Spieler:innen durch den Einbezug des Preises vermittelt werden, dass die eigene Ernährung auch von (privat)wirtschaftlichen Faktoren abhängt. Die soziale Dimension soll über die subjektive Beurteilung des Geschmacks des Burgers dargestellt werden. Der Geschmack ist einer der wichtigsten Faktoren für die Entscheidung zum Konsum eines Lebensmittels und soll daher im Spiel Berücksichtigung finden. Wie bereits zuvor erwähnt ist die soziale Nachhaltigkeitsdimension von mehreren, sich gegenseitig beeinflussenden Faktoren abhängig, die nicht lediglich durch die Bewertung des

Geschmacks abgebildet werden können. Dennoch wird zur Vereinfachung diese Bewertungsskala genutzt, um zum einen subjektiven Einfluss in das Spiel einfließen zu lassen, der eine Kaufentscheidung maßgeblich beeinflusst und zum anderen die Spieler:innen stärker mit dem Spiel identifizieren soll. Der Burger als Spielobjekt wurde ausgewählt, weil er zum einen als Lebensmittel nahezu allen am Schülerlabor teilnehmenden Schüler:innen bekannt sein wird und zum anderen ein hohes Maß an Individualisierung und Kombinierbarkeit zulässt. Fast alle Zutaten können bei der Erstellung des Burgers miteinander kombiniert werden und durch die Verwendung fleischhaltiger, vegetarischer und veganer Zutaten entsteht ein direkter Zusammenhang zum Schülerlaborsetting.

Das Spiel *Burger.i.doo* verfolgt aus Sicht der BNE folgende Ziele:

- Erzeugen eines Bewusstseins für den Einfluss von Nahrungsmitteln auf die Umwelt, Gesellschaft und das Individuum.
- Erzeugen eines Bewusstseins für den Einfluss eigener Entscheidungen auf die Umwelt, Gesellschaft und das Individuum.
- Generieren eines tieferen Verständnisses über Aspekte der Nachhaltigkeit und der Ernährung.
- Erzeugen von positiven Affektionen im Umgang mit Nachhaltigkeit und Ernährung.

Einsatz des Spiels im Schülerlaborsetting

Das Spiel *Burger.i.doo* wird – analog zu den Experimenten – als Station im Schülerlaborsetting durchgeführt. Die Schüler:innen führen daher in der anfangs des Labortages zusammengesetzten Kleingruppe zusammen das Spiel durch. Zur Durchführung müssen sich die Schüler:innen mithilfe der beigelegten Anleitung zunächst mit dem Spielablauf vertraut machen und können dann eigenständig eines der vorgeschlagenen Szenarien auswählen. Die Schüler:innen sind im Rahmen des Schülerlaborsettings angehalten, eine Runde des Spiels, die aus der Erstellung und anschließenden Optimierung eines Burgers pro Schüler:in besteht, zu spielen. Anschließend vergleichen und diskutieren die Schüler:innen ihre Ergebnisse. Dazu werden ihnen durch den Begleitbogen Leitfragen gestellt, die sie in der Kleingruppe untereinander diskutieren sollen:

- Welche Unterschiede sind zwischen dem erstellten Burger und dem optimierten Burger hinsichtlich der Nachhaltigkeitsbilanzen aufgetreten?
- Worin unterscheiden sich die Burger, die eine bessere Nachhaltigkeitsbilanz aufweisen von den Burgern mit einer schlechteren Nachhaltigkeitsbilanz?
- Gibt es Zutaten, die einen besonders hohen Einfluss auf die Nachhaltigkeitsbilanz besitzen?
- Gibt es Zutatenkategorien, die einen besonders hohen Einfluss auf die Nachhaltigkeitsbilanz besitzen?
- Lassen sich die Zutaten, die einen besonders hohen oder ein besonders geringen Einfluss haben, weiter kategorisieren?

Zumeist stellt sich heraus, dass vegetarische Burger und Burger auf Basis von Hühnerfleisch oder Insekten im Vergleich ähnliche Ökobilanzen aufweisen. Unterschiede treten vor allem im Vergleich zu Schweinefleisch und besonders Rindfleisch auf. Vegane Burger schneiden hinsichtlich der Ökobilanz zumeist am besten ab. Es zeigt sich, dass das Patty zumeist den größten Einfluss auf die Ökobilanz und den Preis des Burgers besitzt. Unterschiede im gewählten Gemüse oder den gewählten Saucen haben hingegen selten einen merklichen Einfluss auf den erstellten Burger. Add-Ons und Buns haben nur dann einen höheren Einfluss, wenn diese Fleisch (z.B. Bacon) oder Milchprodukte (z.B. Käse oder Brioche-Brötchen) enthalten.

Für die Bearbeitung der Station benötigen die Schüler:innen ungefähr 30 Minuten, die sich aus dem Lesen der Anleitung und der Vorbereitung des Spiels (ungefähr 5 Minuten), dem Spielen des Spiels (ungefähr 15 Minuten) und der anschließenden Diskussion (ungefähr 10 Minuten) zusammensetzen.

Curriculare Legitimation

Wenngleich das Brettspiel *Burger.i.doo* keinen direkten Bezug zu Sachkompetenzen der gymnasialen Oberstufe im Land Niedersachsen aufweist, lassen sich die durch das Spiel vermittelten Kompetenzen mit dem Kerncurriculum assoziieren und vereinbaren. So sieht die Präambel der Kerncurriculums im Bildungsbeitrag des Faches Chemie die Aufgabe, „ökonomische, ökologische und politische Phänomene“ zu thematisieren und „wechselseitige Abhängigkeiten zu erkennen“. Darüber sollen die Schüler:innen „Wertmaßstäbe für eigenes Handeln“ und ein „Verständnis für gesellschaftliche

Entscheidungen“ entwickeln. Das „Konzept der Nachhaltigkeit im Sinne eines ressourcenschonenden und Folgeschäden minimierenden Umgangs mit der Umwelt“ sei ein Kriterium für die „kritische Reflexion von eigenen und gesellschaftlichen Handlungen“. Im besonderen Maße wird dazu auch die überfachliche Aufgabe des Chemieunterrichtes angesprochen, die unter anderem im Bildungsbereich „nachhaltige Entwicklung“ zu Tragen kommen soll. (Niedersächsisches Kultusministerium, 2022)

Evaluation

Das Spiel wurde im Rahmen des Schülerlaborsettings und im Einsatz im Regelunterricht mit einem Feedback-Fragebogen evaluiert. Die Evaluation wird in Kapitel 4 vorgestellt.

4 Empirische Befunde zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II

4.1 Forschungsfragen und Ziel der Evaluation

Das Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“, welches im Rahmen dieser Dissertation konzipiert worden ist, wird durch eine quantitative Begleitstudie evaluiert. Ziele der Erhebung sind die Untersuchung der Einflüsse des Schülerlabortages (im Folgenden Intervention genannt) auf die motivationalen und emotionalen Einstellungen der Schüler:innen zum Fach Chemie, zu den Naturwissenschaften und zum Umweltverhalten. Im Fokus soll dabei die Standortabhängigkeit des Schülerlabores im Vergleich der mobilen und der stationären Variante sowie mögliche Geschlechterunterschiede stehen. Die Ergebnisse der Erhebungen werden anschließend mit den Ergebnissen der empirischen Erhebung zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I verglichen, die von Budke durchgeführt worden ist (Budke, 2019; Budke et al., 2019). Die im Rahmen dieser Dissertation entwickelte quantitative Begleitstudie ist daher bewusst an die Studie von Budke angelehnt worden und ergänzt diese lediglich durch einen Teil zur Erhebung des Umweltbewusstseins. Für die Erhebung ergeben sich folgende Forschungsfragen:

- F1: Welchen Einfluss hat die Intervention auf die Konstrukte Fachinteresse und Sachinteresse der Schüler:innen?
- F2: Welchen Einfluss hat die Intervention auf das Konstrukt (experimentelles) Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen?
- F3: Welchen Einfluss hat die Intervention auf die emotionalen Konstrukte Freude, Frustration und Langeweile der Schüler:innen?
- F4: Welchen Einfluss hat die Intervention auf die Interessiertheit der Schüler:innen?
- F5: Welchen Einfluss hat die Intervention auf das Umweltbewusstsein der Schüler:innen?
- F6: Welchen Einfluss hat die Intervention auf das geschlechterspezifische Selbstkonzept der Schüler:innen?
- F7: Welchen Einfluss hat der Standort der Intervention auf die Forschungsfragen F1–F6?

Mit den Forschungsfragen sollen somit einerseits drei motivationale Konstrukte (Fachinteresse, Sachinteresse, Interessiertheit) und drei emotional-affektive Konstrukte (Freude, Frustration, Langeweile) sowie das Konstrukt des experimentellen Fähigkeitsselbstkonzeptes untersucht werden. Darüber hinaus soll das Umweltbewusstsein anhand dreier Konstrukte (Umweltkognition, Umweltaffekt, Umweltverhalten) beurteilt werden, um zu ermitteln, inwiefern die Intervention in der Lage ist, das Umweltbewusstsein der Schüler:innen positiv zu beeinflussen (Abbildung 77).



Abbildung 77: Übersicht der Konstrukte, die durch die quantitative Fragebogenstudie zum Schülerlaborsetting "Es geht um die Wurst" in der Sekundarstufe II erhoben werden sollen.

4.2 Hypothesenbildung

4.2.1 Motivation und Interesse

Motivation bezeichnet nach Rheinberg und Vollmeyer innerhalb der Lernmotivationsforschung eine „aktivierende Ausrichtung des momentanen Lebensvollzuges auf einen positiv bewerteten Zielzustand“ (Rheinberg & Vollmeyer, 2019) und setzt sich aus dispositionalen, individuellen Merkmalen (Motiven) und situativen Anregungen (Motivierung) zusammen (Wasserman & Wasserman, 2020). Dabei wird zwischen *intrinsischer Motivation* und *extrinsischer Motivation* differenziert. Intrinsische Motivation bezeichnet einen Zustand, bei der die Aktivierung, den Zielzustand zu erreichen, aus eigener Neugierde und eigenem Interesse heraus entsteht. Extrinsische Motivation bezeichnet hingegen eine durch äußere Impulse ausgelöste Aktivierung zur Erreichung des Zielzustandes (Krapp, 1999a). Eng verbunden mit intrinsischer und extrinsischer Motivation ist die Attributionstheorie, die im weiteren Verlauf noch in Bezug auf das Fähigkeitsselfkonzept betrachtet wird. Generell beziehen intrinsisch motivierte Personen ihre Aktivierung aus inneren Antrieben wie persönlichen Interessen, Neigungen und Herausforderungen. Intrinsisch motivierte Handlungen sind somit meist positiv durch den Akteur affiziert (Krapp, 1999b). Extrinsisch motivierte Personen verfolgen Zielzustände aufgrund vorteilhafter externaler Faktoren wie Belohnungen (positiv affiziert) oder aufgrund nachteilhafter externaler Faktoren wie Bestrafung und Misserfolg (negativ affiziert) (Myers, 2014).

Im Rahmen dieser Arbeit soll vor allem das (handlungstheoretische) erweiterte kognitive Motivationsmodell nach Heckhausen und Rheinberg genutzt werden, das die auch für schulische Kontexte relevante Lernmotivation beschreibt und das Risikowahl-Modell der Motivation nach Atkinson erweitert. Das Modell beschreibt, dass sich die lernende Person unbewusst für oder gegen Lernhandlungen entscheidet, indem sie mit Anreizwerten von Handlungsergebnissen, situativen Erwartungen und den potentiellen Handlungserfolgen kalkuliert. Zur Handlungsentscheidung durchläuft die lernende Person üblicherweise die vier aufeinanderfolgende Schritte „Situation“, „Handlung“, „Ergebnis“ und „Folgen“. Zur Lösung der Situation bieten sich der lernenden Person verschiedene Handlungsoptionen, die mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit (Handlungs-Ergebnis-Erwartung) zum Erfolg führen. Durch das Abwägen der Handlungsoptionen entscheidet sich die lernende Person für eine der Optionen und den daraus resultierenden Handlungsfolgen. Voraussetzung für den Ablauf dieser Schritte ist, dass die lernende Person davon überzeugt ist, dass sich der Situationserfolg nur dann einstellt, wenn sie handelnd eingreift. Die Beurteilung durch die lernende Person, wie eine Situation ohne ihr Eingreifen ausfallen wird, wird als *Situations-Ergebnis-Erwartung* bezeichnet. Damit sich die lernende Person für ein Eingreifen und damit ein Durchlaufen der vier Schritte entscheidet, beurteilt sie zunächst die *Situations-Ergebnis-Erwartung* dahingehend, dass ein Eingriff erforderlich ist. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Motivation zu handeln unter anderem dann besonders hoch ist, wenn mit dem Eingriff eine hohe Erfolgswahrscheinlichkeit zum positiven Lösen der Situation verbunden ist. Erweitert wird dieses Modell durch den intrinsischen Tätigkeitsanreiz, der aus der Motivation für eine Handlung heraus entsteht und dem extrinsischen Folgenanreiz, der aus den für die lernende Person erwartbaren Folgen resultiert (Rheinberg, 2002). Der Ablauf des handlungstheoretischen erweiterten kognitiven Motivationsmodell ist in Abbildung 78 dargestellt. (Heckhausen & Rheinberg, 1980; Rheinberg, 1996)

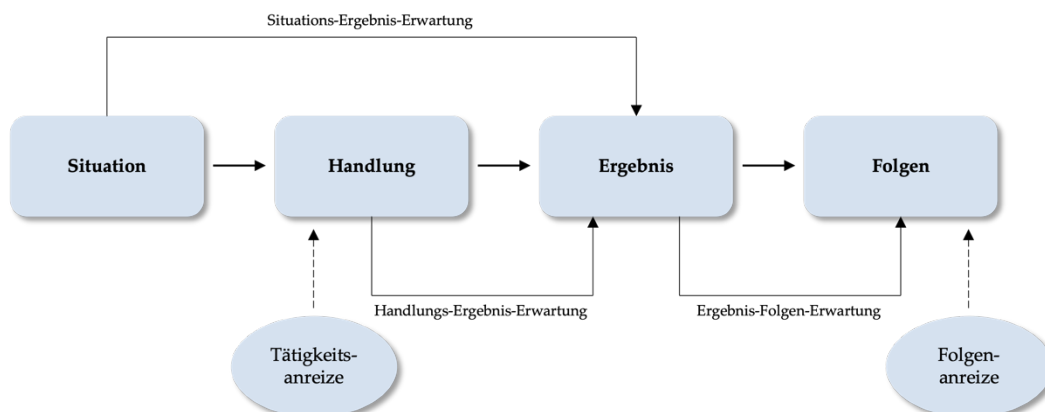


Abbildung 78: Zweck- und tätigkeitsspezifische Anreize im handlungstheoretischen erweiterten kognitiven Motivationsmodell. Eigene Darstellung nach (Rheinberg, 2002).

In Bezug auf den Chemieunterricht kann eine Motivation zur Durchführung eines Experimentes daher sowohl durch einen Tätigkeitsanreiz ausgelöst werden, wenn die lernende Person beispielsweise durch die experimentelle Arbeit selbst motiviert wird (z.B. durch die damit verbundene Psychomotorik oder die visuellen Effekte) als auch durch einen Folgenanreiz ausgelöst werden, wenn die lernende Person beispielsweise die Beobachtungen des Experimentes für die weitere inhaltliche Arbeit benötigt.

Heckhausen und Rheinberg haben zusätzlich eine aussagenlogische Fassung des Modells vorgestellt, die einen Fragenkatalog beinhaltet, anhand dessen beurteilt werden kann, ob die lernende Person handeln wird:

1. Erscheint mir das Ergebnis durch die Situation bereits festgelegt?
2. Kann ich das Ergebnis durch eigenes Handeln hinreichend beeinflussen?
3. Sind mir die möglichen Folgen des Ergebnisses wichtig genug?
4. Zieht das Ergebnis auch die gewünschten Folgen nach sich?

(Heckhausen & Rheinberg, 1980)

Ein Handeln wird bei der lernenden Person voraussichtlich dann einsetzen, wenn die erste Frage mit „nein“ und alle anderen Fragen mit „ja“ beantwortet werden. Beispielhaft sei dafür die Vorbereitung auf eine Klassenarbeit angeführt. Die aufgeführten Fragen des aussagenlogischen Modells werden dazu im Folgenden beispielhaft beantwortet.

1. *Nein, das für die Klassenarbeit benötigte Wissen kann ich erlernen.*
2. *Ja, es bleibt noch genug Zeit, um das benötigte Wissen zu erlernen.*
3. *Ja, wenn ich die Klassenarbeit bestehe, bekomme ich in diesem Fach keine 5 und werde versetzt.*
4. *Ja, ich werde versetzt.*

Interesse ist ein Konstrukt, welches die Motivationstheorien erweitert. Die Grundlage der Interessens-*theorie* bildet die *Theorie der Selbstbestimmung* nach Deci und Ryan, die dem Bereich der Persönlichkeitspsychologie zuzuordnen sind. Deci und Ryan führen an, dass Interesse aus einem Selbstwertgefühl entsteht, welches als dynamisches Konstrukt wechselseitig mit seiner Umgebung wirkt. In Bezug auf Lernmotivation bedeutet dies, dass die Lernumgebung motivationale Anreize schaffen muss, um Interesse bei der lernenden Person auslösen zu können (Deci & Ryan, 1993). Im Sinne der Interessens-*theorie* gilt eine Handlung dann als motivierend, wenn sie bei der lernenden Person *Kompetenzerleben*, *Autonomie* und *soziale Eingebundenheit* anspricht (de Charms, 1983; Deci & Ryan, 1993; Harlow, 1958; White, 1959). Deci und Ryan definieren Autonomie dabei als ein Gefühl von Freiwilligkeit, das beim Treffen von Entscheidungen gilt. Dabei ist ein Verhalten auch dann als autonom zu bewerten, wenn es trotz fehlender Wahlmöglichkeiten dem Verständnis der betroffenen Person entspricht. Die soziale Eingebundenheit bezeichnet einen Zustand, in welchem die handelnde Person erkennt, dass ihre Handlungen in ein soziales Gefüge eingebunden sind. Das bedeutet, dass die handelnde Person auf andere Personen angewiesen sein kann, allerdings auch, dass andere Personen auf die handelnde Person angewiesen sind. Das Kompetenzerleben, bzw. die Kompetenz, bezeichnet nach Deci und Ryan das Gefühl der handelnden Person, durch die eigenen Entscheidungen effektiv auf die als wichtig erachteten Dinge Einfluss nehmen zu können und somit die Ergebnisse und Folgen zu beeinflussen. Ein persönliches Interesse besteht nach Krapp dann, wenn zwischen einer Person und einem Gegenstand eine Beziehung besteht und die Auseinandersetzung mit diesem als bedeutsam angesehen wird. Krapp definiert den Begriff „Gegenstand“ dabei nicht rein objektisch, sodass auch andere Personen, Tätigkeiten oder Gedanken einen Gegenstand ausmachen können (Krapp, 2018). Interesse unterscheidet sich dahingehend von Motivation, dass eine Interessenhandlung ausschließlich intrinsisch motiviert sein kann. Die intrinsische Motivation, sich mit einem Gegenstand auseinanderzusetzen, wird dann als Interesse bezeichnet, die aus der Motivation resultierende Handlung folglich als Interessenhandlung (Krapp, 1999a). Eine extrinsische Motivation hingegen kann zwar zu einer motivierten Handlung, nicht aber zu einer Interessenhandlung führen. Krapp beschreibt Interesse daher als eine „bedeutungsmäßig herausgehobene Person-Gegenstands-Relation“ (Krapp, 1992). Ein Interesse gilt dann als *dispositional*, wenn die Auseinandersetzung mit dem Gegenstand wiederkehrend stattfindet. Dem gegenüber steht ein *situationales* Interesse, das lediglich aus der momentanen Wechselwirkung im Person-Gegenstands-Feld eintritt. Das dispositionale Interesse für einen Gegenstand stellt ein Persönlichkeitsmerkmal dar, das in der Person-Gegenstands-Relation als individuelles Interesse bezeichnet wird. Wirkt neben der bereits bestehenden

Interessensdisposition auch eine Lernumgebung auf die Person, so bildet sich das aktuelle Interesse aus dem dispositionalem und dem situationalen Interesse. Das dispositionale Interesse wird in diesem Moment von der Lernumgebung (situational) beeinflusst und kann daher auch als aktualisiertes dispositionales Interesse bezeichnet werden. Ein Interesse, das nur aus der Lernumgebung heraus und ohne vorherige Auseinandersetzung mit dem Gegenstand entsteht, ist folglich ausschließlich situational (Abbildung 79).

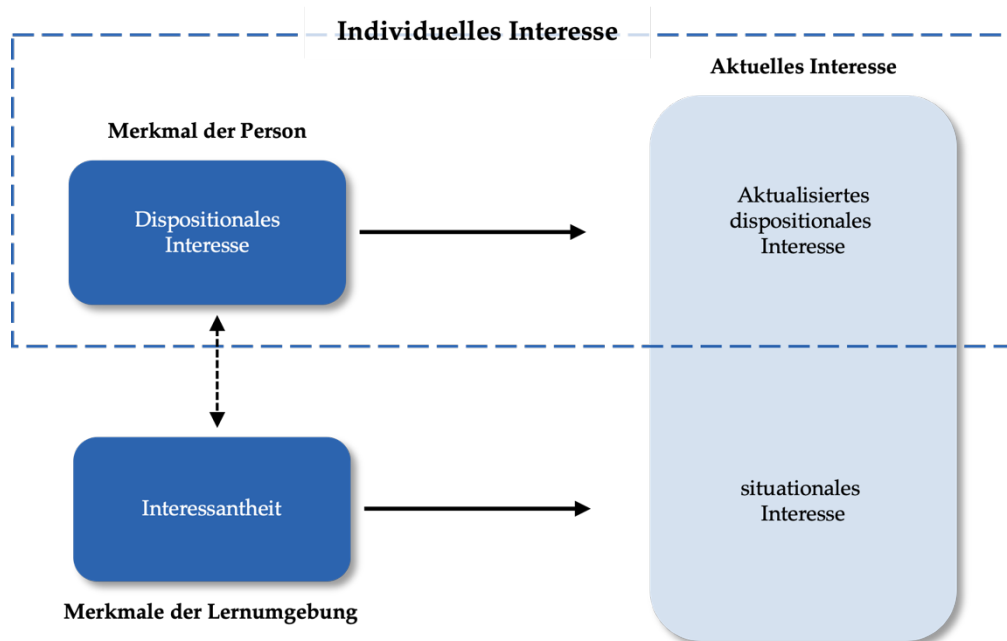


Abbildung 79: Das Interessenkonstrukt aus dispositionalem und situationalem Interesse. Eigene Darstellung nach (Krapp, 1992).

Die Person-Gegenstands-Relation besteht zusammengefasst aus drei Komponenten:

1. Epistemische Komponente: Dispositionales Interesse wird zumeist durch die lernende Person verstärkt bzw. erweitert werden.
2. Emotionale Komponente: Handlungen, die durch Interesse motiviert sind, sind mit positiven Emotionen verbunden.
3. Wertbezogene Komponente: Ein Interessensgegenstand, der für eine Person dispositionales Interesse ist, wird subjektiv stark wertgeschätzt.

(Krapp, 1999a)

Mitchell differenziert das bestehende Modell weiter und ergänzt dieses um den Einfluss von Catch- und Hold-Faktoren. Catch-Faktoren dienen dazu, ein aktuelles Interesse zu entwickeln, während Hold-Faktoren das generierte aktuelle Interesse stabilisieren sollen (Mitchell, 1993). Der Einfluss von Catch- und Hold-Faktoren in der Interessentheorie wurde weiter von Scharfenberg und Bogner untersucht und im Schülerlabor-Atlas dargestellt. Im Kontext von Schülerlaboren können Catch-Faktoren beispielsweise der Eventcharakter, der neue Lernort oder die Interaktion mit wissenschaftlichem Personal sein. Hold-Faktoren können über das Erkennen eines hohen Lebensweltbezuges oder einer Bedeutung für die eigene Persönlichkeit erreicht werden. Die sich positiv auf das aktuelle Interesse in Schülerlaboren auswirkende Faktoren sind in Abbildung 80 dargestellt (Scharfenberg & Bogner, 2015). Grenzen des Modells finden sich vor allem in der Beeinflussung des dispositionales Interesses. Durch die Struktur von Schülerlaboren als Kurzinterventionen mit der durchschnittlichen Dauer eines Schulvormittages ist es unwahrscheinlich, dass das dispositionale Interesse von Schüler:innen beeinflusst werden kann. Vielmehr können Schülerlabore bei entsprechender instruktionaler Qualität, Betreuung und Authentizität das aktuelle Interesse beeinflussen. Da das aktuelle Interesse wiederum wie von Scharfenberg und Bogner gezeigt von zahlreichen weiteren Faktoren abhängt, ist es unwahrscheinlich, dass das situationale Interesse in ein dispositionales Interesse umgewandelt werden kann. Potentiell möglich ist dies bei langfristigen Interventionen wie schulischen Arbeitsgemeinschaften oder Schülerforschungszentren sowie dem (naturwissenschaftlichen) Regelunterricht (Scharfenberg & Bogner, 2015). Generell ist das dispositionale Interesse von Schüler:innen schwer zu beeinflussen, da selbst Interventionen im

Regelunterricht mit zahlreichen anderen Einflussfaktoren auf das Interesse konkurrieren. Das dispositionale Interesse ist folglich eine nur schwer veränderliche Person-Gegenstands-Relation. Das aktuelle Interesse hingegen kann auch durch Kurzinterventionen beeinflusst werden.

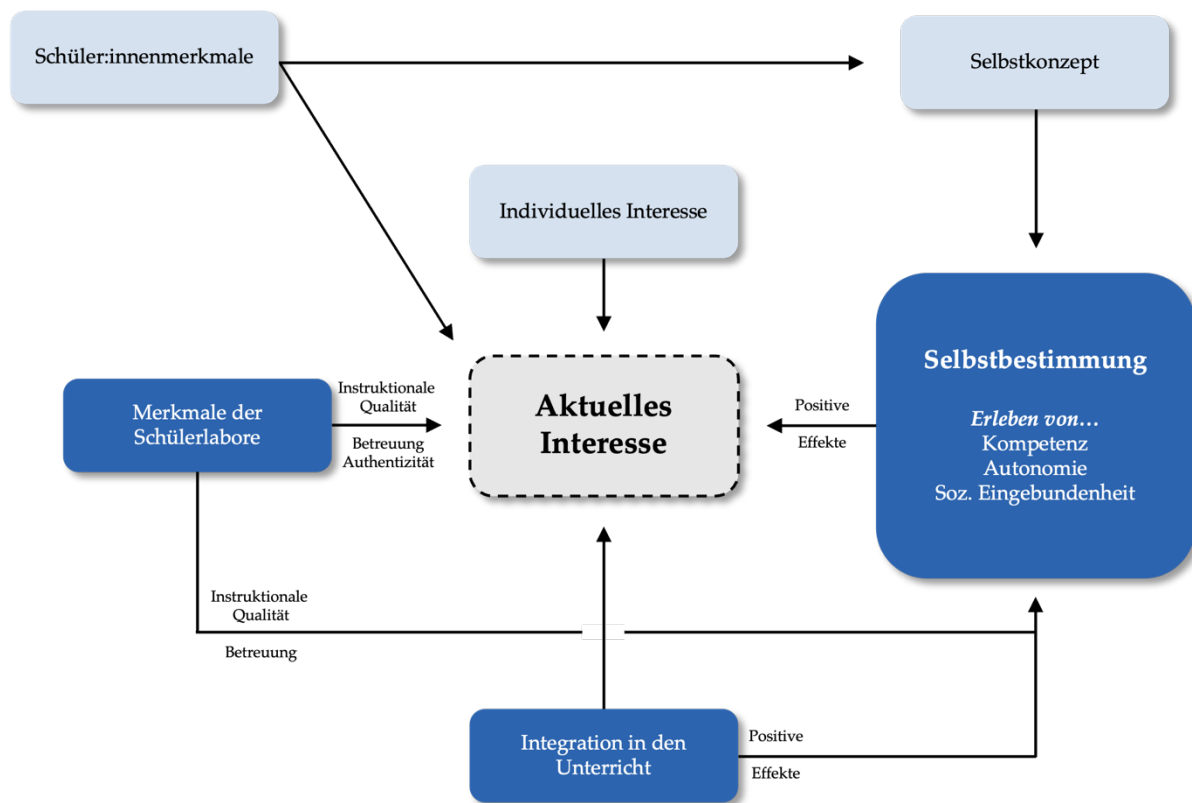


Abbildung 80: Positive Einflussfaktoren auf das aktuelle Interesse in Schülerlaboren. Eigene Darstellung nach (Scharfenberg & Bogner, 2015).

Engeln untersuchte 2004 in ihrer Dissertation das dispositionale und aktuelle Interesse von Schüler:innen in Schülerlaboren. Dazu unterteilte sie beide Arten von Interesse in die drei Komponenten epistemisches, emotionales und wertbezogenes Interesse (Engeln, 2004). Engeln konnte ebenso wie Guderian, Glowinski, Pawek und Budke zeigen, dass eine Intervention durch einen Schülerlabortag bei Schüler:innen zu Steigerungen des aktuellen Interesses, nicht aber des dispositionalen Interesses führt (Budke, 2019; Engeln, 2004; Glowinski, 2007; Guderian, 2007; Pawek, 2009). Zum Zeitpunkt der Teilnahme am Schülerlabor weisen Schüler:innen schon ausgeprägte Interessen an den Naturwissenschaften und dem Fach Chemie auf, sodass dieses ausgeprägte dispositionale Interesse nicht durch die vergleichsweise kurze Intervention beeinflusst werden könnte. Zum dispositionalen Interesse zählen vor allem die Konstrukte Fachinteresse und Sachinteresse, die im Rahmen der Fragebogenstudie erhoben werden. Das Fachinteresse beinhaltet dabei das explizite Interesse am Fach Chemie und dem mit ihm verbundenen Unterrichtsraum. Die Items wurden der Fragebogenstudie von Budke übernommen, um eine Vergleichbarkeit gewährleisten zu können. Die Items zum Fachinteresse wurden für den Physikunterricht von Engeln entwickelt und anschließend von Budke für das Fach Chemie modifiziert (Budke, 2019; Engeln, 2004). Analog dazu bezeichnet das Sachinteresse das allgemeine Interesse von Schüler:innen an wissenschaftlichen Themen und Techniken. Die Items wurden der Fragebogenstudie von Budke entnommen, die wiederum modifiziert von Engeln übernommen worden sind (Budke, 2019; Engeln, 2004). Für die Erhebung des Interesses der Schüler:innen im Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II ergibt sich daher folgende Hypothese:

I-H1: Die Intervention ist nicht in der Lage, das dispositionale Fach- oder Sachinteresse der Schüler:innen kurz- oder mittelfristig zu beeinflussen.

Bergmann untersuchte 2020 den Einfluss von Geschlecht, Alter und Kurswahl auf das dispositionale Interesse von Schüler:innen in der Sekundarstufe I. Er stellte fest, dass Schüler durchschnittlich ein höheres Fachinteresse als Schülerinnen zeigen. Darüber hinaus nimmt das Fachinteresse mit dem Alter ab. Es zeigt sich außerdem, dass die Kurswahl für ein naturwissenschaftliches oder ein musisch-künstlerisches Profil in Zusammenhang mit dem Fachinteresse steht: Schüler:innen, die ein naturwissenschaftliches Profil gewählt haben, zeigten durchschnittlich ein höheres Fachinteresse als Schüler:innen mit musisch-künstlerischem Profil (Durchführungsort der Studie war das Land Thüringen, in welchem bereits in der Sekundarstufe I Profile gewählt werden) (Bergmann, 2020). Wenngleich die Erhebung von Bergmann im Vergleich zur Fragebogenstudie zum Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I durchgeführt worden ist, kann antizipiert werden, dass die Ergebnisse auf die Sekundarstufe II übertragen werden können. Eine Betrachtung von Altersunterschieden entfällt dadurch. Für die Erhebung im Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II ergeben sich daher folgende Hypothesen:

I-H2: Schüler der Sekundarstufe II zeigen ein höheres dispositionales Fach- und Sachinteresse im Fach Chemie als Schülerinnen der Sekundarstufe II.

I-H3: Das Fach- und Sachinteresse von Schüler:innen im erhöhten Anforderungsniveau ist höher als von Schüler:innen auf nicht erhöhtem Anforderungsniveau.

4.2.2 Das Fähigkeitsselbstkonzept / Selbstwirksamkeit

Als Selbstwirksamkeitserwartung (aus dem englischen „self-efficacy“) wird nach Bandura das Vertrauen einer Person in ihre eigenen Fähigkeiten, Handlungen besonders in schwierigen und herausfordernden Situation lösen zu können, bezeichnet (Bandura, 1997). Eng verwandt damit ist der Begriff des Selbstkonzeptes (auch Selbstwahrnehmung, Selbsteinschätzung, Selbstvorstellung), welches als Konstrukt die gesamte Wahrnehmung einer Person von sich selbst beschreibt (Moschner, 2001). Differenziert wird hier zwischen dem akademischen und dem nicht-akademischen Selbstkonzept. Während das nicht-akademische Selbstkonzept überwiegend Aspekte einer nicht bildungsbezogenen Wahrnehmung umfasst, wird unter dem akademischen Selbstkonzept die Selbstwahrnehmung eigener bildungsbezogener Leistungen umfasst (Abbildung 81).

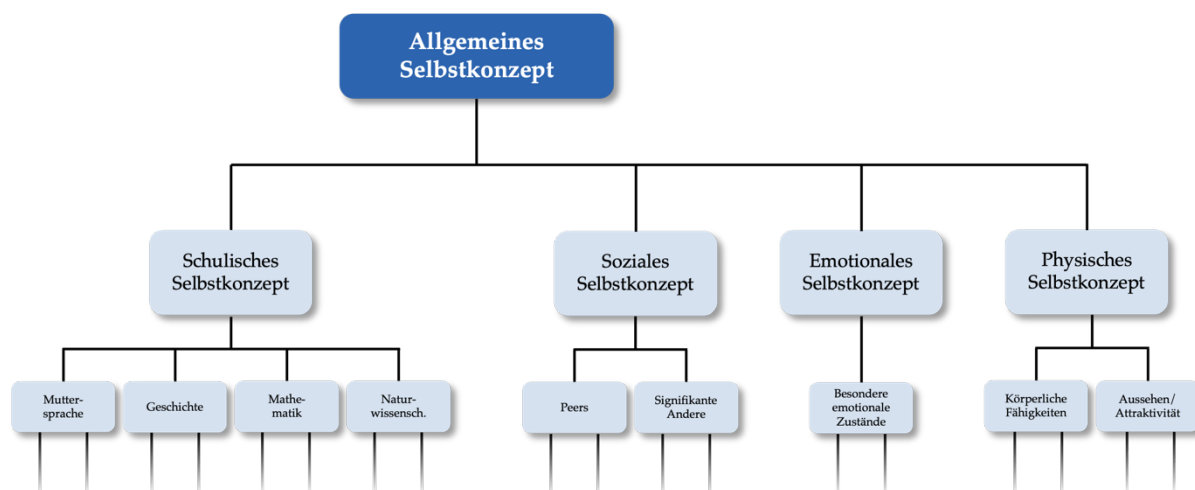


Abbildung 81: Multidimensionales und hierarchisches Selbstkonzept. Abbildung verändert und übersetzt nach (Shavelson et al., 1976) und (Möller & Trautwein, 2009).

Im Sinne eines schulischen Selbstkonzeptes betrifft dies nicht nur die Wahrnehmung individueller, isolierter Leistungen, sondern vielmehr die Wahrnehmung der eigenen Leistung im Vergleich mit sozialen Bezugsgruppen (sogenannter „Peer-Groups“) (Möller & Trautwein, 2009). Das nicht-akademische Selbstkonzept, welches eng mit dem Selbstwertgefühl verwandt ist, soll im Weiteren nicht betrachtet werden. Im Rahmen des schulischen Selbstkonzeptes, vor allem wenn dieses fächerbezogen gegliedert

wird, wird im deutschsprachigen Raum zumeist vom *Fähigkeitsselbstkonzept* gesprochen (Moschner, 2001). Es ist für die weitere Untersuchung im Rahmen dieser Erhebung vom Selbstkonzept der Begabung abzugrenzen, das sich zumeist nur auf die kognitive Komponente des Selbstkonzeptes und nicht auf die fachbezogene Gesamtperformanz bezieht (Marsh et al., 2005). Da das Fähigkeitsselbstkonzept fachbezogen aufgefasst und erhoben werden kann, weisen Schüler:innen für verschiedene Fächer ein eigenes Selbstkonzept auf. So kann das Fähigkeitsselbstkonzept für das Fach Chemie einer Schülerin deutlich höher als das Fähigkeitsselbstkonzept für die Fächer Musik und Mathematik sein. Dennoch zeigte Shavelson, dass die Fähigkeitsselbstkonzepte einzelner Fächer multidimensional zusammenhängen. Dabei lassen sich die fächerspezifischen Fähigkeitsselbstkonzepte zumeist auf zwei übergeordnete Selbstkonzepte, das *mathematische Selbstkonzept der Begabung* und das *verbale Selbstkonzept der Begabung* zurückführen (Shavelson et al., 1976). Es ist festzustellen, dass die Ausprägung des fächerspezifischen Fähigkeitsselbstkonzeptes immer von der Ausprägung der beiden übergeordneten Selbstkonzepte abhängt. Fächer, die stark mathematisch orientiert sind, werden dabei stärker vom mathematischen Selbstkonzept der Begabung beeinflusst (Mathematik, Physik, Chemie, Biologie), während stark sprachlich orientierte Fächer stärker vom verbalen Selbstkonzept der Begabung beeinflusst werden (Muttersprache, Fremdsprachen, Geschichte). Dennoch werden alle Fähigkeitsselbstkonzepte von beiden übergeordneten Selbstkonzepten beeinflusst, was sich laut Shavelson besonders stark in Fächern wie Geographie oder Wirtschaft zeige, die gleichermaßen aus mathematischen wie verbalen Inhalten zusammengesetzt seien. Wenngleich das Modell heutzutage als unvollständig gilt, sind zentrale Elemente davon im Internal/External-Frame-of-Reference-Modell (I/E-Modell) erhalten geblieben, welches unter anderem zur Bewertung innerhalb von TIMMS und PISA-Studien herangezogen wird (Möller et al., 2009). Das Shavelson-Modell gilt unter anderem als revidiert, weil die positiven schulischen Leistungen auf das Fähigkeitsselbstkonzept des selben Schulfaches einen höheren Einfluss haben als negative Leistungen in Schulfächern auf das Fähigkeitsselbstkonzept anderer Schulfächer (Möller & Trautwein, 2009).

Besonders für die Betrachtung von Schülerlaborinterventionen muss betrachtet werden, wie stabil das Konstrukt des Fähigkeitsselbstkonzeptes (für das Fach Chemie) ist. Untersucht werden kann die Stabilität des Selbstkonzeptes durch die Messung der normativen Stabilität, der Mittelwertsstabilität, der strukturellen Stabilität, der intraindividuellen Stabilität und der Konstruktstabilität. Von besonderer Bedeutung für die Erhebung im Schülerlabor sind dabei die normative Stabilität und die Konstruktstabilität. Während die normative Stabilität die Ausprägung des Fähigkeitsselbstkonzeptes im Vergleich zur Peer-Group bei mehrmaliger Messung bezeichnet, wird mit der Konstruktstabilität die Stabilität des Items einer Einzelperson über die Zeit verstanden. Die normative Stabilität kann bei einem sinkenden Selbstkonzept der Peer-Group daher auch stabil bleiben, wenn das Selbstkonzept der untersuchten Person gleichermaßen sinkt. In diesem Falle würde die Konstruktstabilität sowohl für die untersuchte Gruppe als auch das untersuchte Individuum allerdings sinken (Möller & Trautwein, 2009). Es zeigt sich, dass das Selbstkonzept in den meisten Schulfächern bereits in der Grundschule geprägt wird und oft über lange Zeit erhalten bleibt. Änderungen des Fähigkeitsselbstkonzeptes treten nur selten oder nur durch eine immer wiederkehrende positive Auseinandersetzung mit den entsprechenden Inhalten ein (Mortimer et al., 1982). Ähnlichkeiten weist das Fähigkeitsselbstkonzept daher mit dem Motivationskonstrukt auf: Eine intrinsische Motivation ist oft durch ein hohes Fähigkeitsselbstkonzept begründet, sodass sich Interesse und ein hohes Fähigkeitsselbstkonzept gegenseitig bedingen (Atkinson, 1964). Durch die hohe Hands-On-Aktivität und die enge Betreuung im Schülerlabor soll das chemische Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen angesprochen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass durch die Eigenständigkeit der Schüler:innen in Kombination mit der hohen Betreuung ein für die Schüler:innen erfasster individueller Erfolg eintritt. Dieser kann das Fähigkeitsselbstkonzept zumindest kurzfristig beeinflussen. Dies geht einher mit der hohen Verwandtschaft zum Interessenskonstrukt und dem antizipierten hohen Grad an Motivation im Schülerlabor (Kompetenz, Autonomie, soziale Eingebundenheit), sodass die Intervention wechselseitig kurzfristig positiv Interesse, Motivation und das Fähigkeitsselbstkonzept beeinflusst. Aufgrund der hohen Stabilität des Fähigkeitsselbstkonzeptes wird für die Erhebung des Schülerlaborintervention „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II folgende Hypothese formuliert:

FS-H1: Die Intervention fördert kurzzeitig das chemische Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen.

Jungen zeigen im Durchschnitt höhere Selbstkonzepte im mathematisch-naturwissenschaftlichen Bereich, Mädchen höhere Selbstkonzepte im verbalen Bereich (Marsh & Hattie, 1996; Wyatt & Eccles, 2008). Dies steht zum Teil im Widerspruch zu den Leistungen im Unterricht, da beispielsweise alle Geschlechter in den Naturwissenschaften eine ähnliche Performanz zeigen. Unterschiede im Fähigkeitsselbstkonzept sind oft auf Geschlechterstereotypen zurückzuführen, die beispielsweise durch das Denken und Handeln von Bezugspersonen entstehen. Frome und Eccles konnten zeigen, dass Eltern und Lehrkräfte Jungen bei gleicher Leistung im Fach Mathematik eine größere Begabung attestieren als Mädchen (Frome & Eccles, 1998). Die unterschiedlichen Fremdeinschätzungen beeinflussen das Selbstkonzept von Mädchen und Jungen, sodass Mädchen in der Wahrnehmung von Lehrkräften fleißiger, Jungen begabter erscheinen (Trautwein & Baeriswyl, 2007). Stereotype beeinflussen das Fähigkeitsselbstkonzept langfristig, können aber auch kurzzeitige Effekte erzielen, sodass auch kurzfristige Interventionen einen Einfluss auf das Fähigkeitsselbstkonzept haben können (vgl. Hypothese FS-H1) (Markus & Kunda, 1986). Im Chemieunterricht treten geschlechterspezifische Unterschiede vor allem hinsichtlich der Selbsteinschätzung des Experimentalvermögens auf. Jungen schätzen ihre Fähigkeiten durchschnittlich höher ein als Mädchen, wie beispielsweise in der PISA-Studie gezeigt wurde (Reiss et al., 2016). Da bereits gezeigt wurde, dass eine Motivation und das Vermeiden von Stereotypen zu einer kurzfristigen Änderung des Fähigkeitsselbstkonzeptes führen können, untersuchte Budke für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ das chemische Fähigkeitsselbstkonzept in Abhängigkeit des Geschlechtes. Er konnte zeigen, dass die Intervention das Fähigkeitsselbstkonzept von Jungen kurzfristig stärker positiv beeinflusst als bei Mädchen, wenngleich das Fähigkeitsselbstkonzept von Jungen entsprechend der Literatur im Mittel bereits vor der Intervention höher als das der Mädchen lag (Budke, 2019). Aufgrund der insgesamt vergleichbaren Struktur beider Schülerlaborsettings kann antizipiert werden, dass das Fähigkeitsselbstkonzept in Abhängigkeit des Geschlechtes unterschiedlich verändert wird. Daher wird folgende Hypothese aufgestellt:

FS-H2: Bei der Änderung des chemischen Fähigkeitsselbstkonzeptes durch die Intervention lassen sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern feststellen.

4.2.3 Emotionale Konstrukte

Emotionen spielen im Zusammenhang von Bildung und Lernerfolgen eine große Rolle. So zeigten Isen et al., dass positive Emotionen positive Lerneffekte hervorrufen können (Isen et al., 1992), während Wright und Bower sowie Schwarz zeigten, dass durch positive Emotionen Gedächtnisinhalte leichter rekonstruiert werden können und negative Emotionen zu einer schlechteren Rekonstruktionsfähigkeit führen (Schwarz, 2002; Wright & Bower, 1992). Emotionale Konstrukte wie Freude, Frustration, Langeweile und Interessiertheit können mithilfe empirischer Items untersucht werden. Diese emotionalen Konstrukte werden im Folgenden vorgestellt.

Freude

Unter Freude versteht man den Ausdruck einer positiven Reaktion auf bestimmte Situationen. Freude steht demnach im engen Zusammenhang mit intrinsischer Motivation, da die Erwartung, sich über ein Ereignis zu freuen, zum Handeln anregen kann. Im Gegensatz dazu stehen bei extrinsisch motivierten Handlungen die Handlungsfolgen und nicht die Freude an der Handlung im Vordergrund (Rubach & Lazarides, 2021). Im schulischen Umfeld spielt Freude eine große Rolle, da diese positiven Emotionen für den Erfolg von Lehr- und Lernprozessen entscheidend sind (Gläser-Zikuda et al., 2022). Aufgrund dessen nahm Budke in der Erhebung des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I an, dass Schüler:innen, die am Schülerlabortag große Freude empfunden haben, auch motivierter im Chemieunterricht sind und umgekehrt (Budke, 2019). Dies führt Budke darauf zurück, dass durch den Charakter eines außerschulischen Lernortes keine Bewertung bzw. Benotung im Sinne einer klassischen Lehrkraft-Schüler:innen-Interaktion entstehe und das Erbringen von Leistungen somit nicht extrinsisch motiviert sein könne. Dazu nutzt Budke die Skalen von Wegner, der im Rahmen seiner Dissertation diese Items entwickelt und validiert hat (Wegner, 2008). Die von Budke formulierte Hypothese „Die Teilnahme am Schülerlabor GreenLab_OS führt zu erhöhter Freude bezüglich der Auseinandersetzung mit Naturwissenschaften“ wird verworfen, da die von Wegner formulierten und validierten

Items sich ausschließlich auf das emotionale Konstrukt Freude im Chemieunterricht, ausgelöst durch die Intervention, beziehen. Es wird daher folgende Hypothese formuliert:

E-H1: Die Freude an der Auseinandersetzung mit dem Chemieunterricht wird durch die Intervention kurzfristig erhöht.

Frustration

Frustration wird nach Stäcker als unlustvoller erlebter innerer Zustand beschrieben, der unter anderem durch das Ausbleiben von erwarteten Befriedigungen oder intendierten Zielen auftreten kann (Stäcker, 1977). Frustration ist folglich eine negative Emotion, die die Motivation von lernenden Personen beeinflussen bzw. einschränken kann. Im schulischen Kontext beeinflusst die Frustration somit auch den Lernerfolg, da frustrierte Schüler:innen weniger Interesse am Erlernen von Inhalten aufweisen (Stäcker, 1977). Die Frustration stellt damit auch einen möglichen Gegenpol von Freude dar. Im Chemieunterricht kann Frustration beispielsweise dann auftreten, wenn Experimente nicht gelingen bzw. nicht durchgeführt werden und wenn Fachinhalte auch nach wiederholter Auseinandersetzung nicht verstanden werden. Darüber hinaus kann Frustration ein Resultat auf eine ausbleibende Würdigung einer Leistung von Schüler:innen sein oder durch eine Bestrafung bzw. Tadel durch die Lehrkraft entstehen. Neben einer verringerten Motivation führt Frustration bei Schüler:innen zu Ratlosigkeit und Unsicherheit und in seiner stärksten Ausprägung zur vollständigen Resignation (Stäcker, 1977). Budke untersuchte im Rahmen seiner Dissertation die Frustration der Schüler:innen, die am Schülerlabortag „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I teilgenommen hatten. Dazu adaptierte er die von Wegner entwickelte und validierte Skala zur Erhebung der Frustration in den Naturwissenschaften für den Chemieunterricht (Budke, 2019; Wegner, 2008). Budke antizipierte, dass durch die Erhöhung der Freude durch die Intervention sowie die Struktur des Schülerlabortages Frustration kurz-, aber nicht mittelfristig reduziert werden kann. Davon ausgehend, dass die Ergebnisse der Erhebung von Budke auf die Erhebung des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II übertragen werden können, wird folgende Hypothese formuliert:

E-H2: Die Frustration der Schüler:innen gegenüber dem Chemieunterricht wird durch die Intervention kurzfristig reduziert.

Langeweile

Langeweile beschreibt eine (negative) Emotion, in der eine Zeitspanne länger empfunden wird als sie in der Realität andauert. Dies ist nach Matuschek auf die Unterschreitung des „Erregungsoptimums“ zurückzuführen, sodass eine Unterforderung eintritt, die durch die Suche nach neuen Anreizen überwunden werden muss (Matuschek, 1999). Für den schulischen Kontext wird das Konstrukt Langeweile seit langem untersucht. Das „Forced Effort“-Modell der Langeweile beschreibt, dass Schüler:innen in schulischen Situationen besonders häufig gelangweilt sind, wenn die Lerninhalte für die Schüler:innen besonders abstrakt und kompliziert sind, aber auch, wenn die Schüler:innen auf den Lernprozess wenig Einfluss nehmen können, beispielsweise während eines Lehrkraftvortrags. Larson und Richards folgern, dass Langeweile folglich besonders dann auftritt, wenn das Maß an Lehrkraft-orientierten Unterrichtstätigkeiten im Vergleich zu Schüler:innen-orientierten Tätigkeiten besonders hoch ist (Larson & Richards, 1991). Mit dem „Forced Effort“-Modell wird allerdings nicht lediglich die Entstehung von Langeweile in schulischen Kontexten untersucht, sondern auch individuelle Prädiktoren, die die Entstehung von Langeweile begünstigen. Robinson stellte beispielsweise fest, dass Schüler:innen mit hoher Tendenz zur Ausprägung von Langeweile den Abwechslungsreichtum schulischer Inhalte als gering empfinden (Robinson, 1975). Darüber hinaus erleben Schüler:innen mit einer Neigung zur Ausprägung von Langeweile auch außerhalb des schulischen Kontextes seltener Abwechslungsreichtum (Smith, 1981), zeigen schneller Gewöhnungseffekte (Zuckerman, 1979), haben einen geringeren Antrieb für die Erledigung alltäglicher Aufgaben (Hamilton, 1981), und zeigen häufiger Tendenzen zu depressiven Verstimmungen (Farmer & Sundberg, 1986). Gleichzeitig stellt Wegner in seiner Dissertation fest, dass ein hohes Interesse an einer Thematik mit einer geringen situativen Langeweile verbunden ist. Ein hohes dispositionales Interesse führt somit zu einer geringen Ausprägung von Langeweile (Wegner, 2008). Da – vergleichbar mit dem Konstrukt der Frustration – ein verringertes Interesse Einfluss auf den

Lernerfolg hat, ist davon auszugehen, dass eine erhöhte Langeweile mit einem verringerten Lernerfolg korreliert. Budke hat in seiner Erhebung des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ anhand der von Wegner für den naturwissenschaftlichen Unterricht erstellten und validierten Skalen zur Erhebung von Langeweile die Ausprägung von Langeweile im Chemieunterricht untersucht. Budke vermutete, dass im Schülerlabor aufgrund der hohen „Hands-On-Aktivität“ sowie der starken Schüler:innenorientierung und -partizipation kurzfristig Langeweile reduziert werden kann (Budke, 2019). Für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe II wird aufgrund der ähnlichen Struktur zum Schülerlabor in der Sekundarstufe I antizipiert, dass die Langeweile kurzfristig gesenkt werden kann. Für die Sekundarstufe II muss berücksichtigt werden, dass die Langeweile von Schüler:innen im erhöhten Anforderungsniveau vermutlich bereits ohne die Intervention geringer ausgeprägt ist als von Schüler:innen, die Chemie nicht auf erhöhtem Anforderungsniveau belegen (grundlegendes Anforderungsniveau, Seminarfach). Da nach der Intervention Effekte des Regelunterrichts überwiegen werden, ist nicht davon auszugehen, dass die Intervention mittelfristige Einflüsse auf die Langeweile der Schüler:innen haben wird. Es wird daher folgende Hypothese aufgestellt:

E-H3: Die Intervention führt kurzfristig zu einer reduzierten Langeweile bei den Schüler:innen.

Aktuelle Interessiertheit

Interesse beschreibt ein mehrdimensionales Konstrukt, das aus zahlreichen Einflussfaktoren zusammengesetzt ist. Differenziert wird dabei unter anderem zwischen dem dispositionalen und dem situationalen Interesse (vgl. Kapitel 4.2.1) (Krapp, 2018; Ruppert, 2004). Während eine Einflussnahme auf das dispositionale Interesse durch kurze Interventionen kaum möglich ist, ist das situationale Interesse von der jeweiligen Lernumgebung und den aktuellen Affektionen der lernenden Person abhängig. Ein über einen längeren Zeitraum hohes situatives Interesse kann allerdings das dispositionale Interesse positiv beeinflussen (Ruppert, 2004). Das situative Interesse wird maßgeblich durch die Selbstbestimmung von Schüler:innen beeinflusst. Ein nach Deci und Ryan hohes Maß an Kompetenz, Autonomie und sozialer Eingebundenheit wird damit das situationale Interesse positiv beeinflussen (Deci & Ryan, 1993). Im Rahmen seiner Dissertation hat Wegner das situative Interesse (bzw. die aktuelle Interessiertheit) von Schüler:innen in den Naturwissenschaften untersucht, indem er dazu Skalen entwickelt und validiert hat (Wegner, 2008). Budke hat diese Skalen für die Erhebung des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe I für den Chemieunterricht modifiziert. Aufgrund des hohen Autonomieerlebens und der hohen sozialen Eingebundenheit ist davon auszugehen, dass die Schüler:innen ein hohes Maß an Selbstbestimmung erfahren werden. Budke hat daher antizipiert, dass durch das Schülerlabor die aktuelle Interessiertheit der Schüler:innen gesteigert werden kann (Budke, 2019). Durch die ähnliche Struktur des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II wird angenommen, dass die aktuelle Interessiertheit der Schüler:innen der Sekundarstufe II ebenfalls gesteigert werden kann. Es wird daher folgende Hypothese formuliert:

E-H4: Die Intervention führt zu einer kurzfristigen Steigerung der aktuellen Interessiertheit der Schüler:innen.

4.2.4 Standortwahl und Exkursionsbereitschaft

Bislang gibt es kaum Untersuchungen, die den Einfluss des Standortes von Schülerlaboren auf den Lernerfolg von Schüler:innen bewerten. Budke hat 2019 in seiner Dissertation die Akzeptanzbewertung des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I gemessen. Unterteilt wurde das Schülerlabor in ein mobiles Schülerlabor, welches in den jeweiligen Schulen stattfindet und ein stationäres Schülerlabor, welches in den Laboren der Universität durchgeführt wird. Zur Erhebung der Standortakzeptanz hat Budke fünf Items entwickelt und validiert (Budke, 2019). Die Hypothese, dass Schüler:innen der Sekundarstufe I eine mobile Durchführung (in der Schule) bevorzugen, wurde auf die höhere Kongruenz zwischen Lern- und Interventionsort bezogen (Bower, 1981). Für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe II wird angenommen, dass für die Schüler:innen eine größere Nähe zu universitärer Bildung und auch ein höheres Interesse am Besuch universitärer

Räumlichkeiten besteht und gleichzeitig die Kongruenz zwischen Lern- und Interventionsort für den Bildungserfolg geringer sein kann. Im Gegensatz zur Hypothese von Budke wird demnach formuliert:

SO-H1: Die Akzeptanzbewertung für das stationäre Schülerlabor durch die Schüler:innen ist höher als für das mobile Schülerlabor.

4.2.5 Umweltbewusstsein

Der Schutz der Umwelt hat in Europa eine lange Geschichte. Erste Umweltbewegungen finden sich im 19. Jahrhundert in Deutschland, die im Zusammenhang der Gegensätzlichkeit der Industrialisierung und der naturverbundenen Epoche der Romantik stehen (Franke, 2017). Mit Zunahme von Umweltkatastrophen (Ölkatastrophen und weitere) sowie den Berichten des Club of Rome zur „Lage der Menschheit“ ab der Mitte des 20. Jahrhunderts, rückt der Umweltschutz in den Fokus der zentraleuropäischen und deutschen Politik. Im Jahr 1978 definiert der Sachverständigenrat für Umweltfragen zum ersten Mal den Begriff *Umweltbewusstsein* als „Einsicht in die Gefährdung der natürlichen Lebensgrundlagen des Menschen durch diesen selbst, verbunden mit der Bereitschaft zur Abhilfe“ (Sachverständigenrat für Umweltfragen, 1978). Auffällig ist, dass in dieser Definition ein anthropozentrisches Bild der Umwelt definiert wird, in der der Mensch die Umwelt nur seinetwillen schützen solle. Kritisiert wurde weiterhin, dass diese Definition zwar eine kognitive Komponente („Einsicht“) und eine konative Komponente („Bereitschaft zur Abhilfe“), nicht aber eine affektive Komponente beinhaltet, in welcher Emotionen über die Umwelterstörung wie Wut oder Hilflosigkeit beinhaltet sind (Preisendörfer, 1999). Im Laufe der Zeit wurden Definition des Umweltbewusstseins angepasst und weiterentwickelt, die sich vor allem in ihrer Dimensionalität unterscheiden. Eindimensionale Definitionen sehen das Umweltbewusstsein als allgemeine Einstellung der Menschen zu ihrer Umwelt, während multidimensionale Dimensionen das Umweltbewusstsein als Überkategorie für verschiedene Teilaspekte betrachten. Zu diesen Teilkategorien gehören beispielsweise Umwelteinstellungen und Umweltverhalten. Unterschieden wird zwischen dem Bedeutungsumfang der Teilaspekte, der eng, mittel oder weit gefasst werden kann (Spada, 1990). Preisendörfer definiert (entsprechend seiner Kritik an der Umweltbewusstseinsdefinition des Sachverständigenrates aus dem Jahr 1978) Umweltbewusstsein als „Werthaltung im Sinne einer Einstellung“, sodass das Umweltbewusstsein beispielsweise von Umweltwissen oder Umweltverhalten abgegrenzt werden muss (Preisendörfer, 1998). Diekmann und Preisendörfer erheben das Umweltbewusstsein dazu mithilfe von neun Items, die auf kognitive, konative und affektive Teilaspekte eingehen. Eine Betrachtung des tatsächlichen Umwelthandelns wird somit bewusst nicht berücksichtigt (Diekmann & Preisendörfer, 1998). Damit gilt dieser Bedeutungsumfang als eng definiert. Dem gegenüber stehen verschiedene Modelle, bei denen das Umweltbewusstsein in drei Hauptkomponenten unterteilt wird:

- Umwelteinstellungen
- Umweltverhalten
- Umweltwissen

(Scholl et al., 2016)

Dabei beschreibt der Term *Umwelteinstellungen* Einstellungen gegenüber dem Umweltschutz selbst, aber auch „Ängste, Empörung, Zorn, normative Orientierungen und Werthaltungen“ gegenüber Handlungen an der Umwelt. Demnach gehört mit Betroffenheit („affect“) eine emotionale Anteilnahme, mit der auf Prozesse der Umwelterstörung reagiert wird, zur Hauptkomponente der Umwelteinstellungen (Grunenberg & Kuckartz, 2003). *Umweltverhalten* wird in dieser Definition nach de Haan und Kuckartz als „tatsächliches Verhalten in Alltagssituationen“ in Bezug auf die Umwelt (de Haan & Kuckartz, 1996) beschrieben. Das *Umweltwissen* beschreibt den „Kenntnis- und Informationsstand einer Person über Natur, über Trends und Entwicklungen in ökologischen Aufmerksamkeitsfeldern, über Methoden, Denkmuster und Traditionen im Hinblick auf Umweltfragen“ (de Haan & Kuckartz, 1996).

Für die Erhebung des Umweltbewusstseins im Rahmen des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II wurde auf die Skalen der Umweltbewusstseinsstudie in Deutschland 2018 des UBA zurückgegriffen. Das UBA hat die Skalen mit dem Ziel entwickelt, einheitliche Befragungsinstrumente zur Erhebung des Umweltbewusstseins zur Verfügung stellen zu können. Auf diese Weise soll

das Umweltbewusstsein über verschiedene Studien hinweg verglichen werden können (Umweltbundesamt, 2019). Grundlage der Skalen ist ein mehrdimensionales Verständnis des Umweltbewusstseins, unterteilt in drei Teilbereiche:

- Umweltaffekt
- Umweltkognition
- Umweltverhalten

Im Gegensatz zu vorherigen Definitionen schließt das UBA damit bewusst das Umweltverhalten als nicht rein konative, sondern agierende Komponente mit ein. Der *Umweltaffekt* beschreibt Einstellungen, bei denen affektive (emotionale) Reaktionen im Vordergrund stehen. Vergleichbar mit Grunenberg und Kuckartz sind damit affektive Reaktionen auf Umweltzerstörung oder Umweltgefahren gemeint. Die *Umweltkognition* bezeichnet eine sachliche (also nicht-affektive) Ebene, in denen Aussagen zu Umweltthemen beispielsweise in Bezug auf die Ressourcennutzung oder die Zukunftsorientierung hin beurteilt werden. Das *Umweltverhalten* betrifft Aussagen zu eigenen konkreten Verhaltensweisen und -mustern in unterschiedlichen umweltrelevanten Bereichen (z.B. Ernährung, Kaufverhalten, Mobilität; Engagement für Umwelt- und Klimaschutz). (Umweltbundesamt, 2019)

Das UBA erhebt das Umweltbewusstsein getrennt in den einzelnen Teilbereichen, die über Sets von jeweils sieben bis acht Items dargestellt werden. Die Items werden zur Wertbildung des Teilkonstruktes gemittelt und können miteinander verglichen werden. Das UBA konnte zeigen, dass die Items für Umweltaffekt und Umweltkognition befriedigende bis gute Reliabilitäten zeigen (gemessen als Cronbachs Alpha), während die Items zum Umweltverhalten lediglich akzeptable Reliabilitäten zeigen (Tabelle 33). Insgesamt kann festgestellt werden, dass das Umweltverhalten in Deutschland deutlich geringer ausgeprägt ist als Umweltaffekt und Umweltkognition. Zwischen Umweltaffekt und Umweltkognition zeigt sich mit $r = 0,73$ eine hohe Korrelation, d.h., dass affektive und kognitive Umwelteinstellungen bei den Befragten stark zusammenhängen. Geringere Korrelationen ergeben sich für die korrelierten Konstrukte Umweltaffekt–Umweltverhalten ($r = 0,51$) und Umweltkognition–Umweltverhalten ($r = 0,48$).

Tabelle 33: Statistische Kennwerte für Umweltaffekt, Umweltkognition und Umweltverhalten der Umweltbewusstseinsstudie in Deutschland 2018 des UBA (Umweltbundesamt, 2019). Die Werte sind auf ein Maximum von 10,0 standardisiert.

Bereich	Anzahl Fragen	Mittelwert	σ	Minimum	Maximum	α
Umweltaffekt	7	7,2	1,92	0,0	10,0	0,80
Umweltkognition	8	7,9	1,44	1,3	10,0	0,77
Umweltverhalten	8	4,6	1,74	0,0	10,0	0,62

Der geringe Zusammenhang zwischen Umweltaffekt bzw. Umweltkognition mit dem Umweltverhalten entspricht den Ergebnissen unter anderem von Preisendörfer und Frenzel, dass Umwelteinstellungen nicht zu Umwelthandeln führen (Preisendörfer & Franzen, 1996). Umwelteinstellungen gelten generell als stabile Konstrukte, die sich nicht durch einzelne Interventionen beeinflussen lassen. Durch Bildungsformate kann jedoch teilweise antizipiert werden, dass sich die Umweltkognition durch einen Zuwachs an Wissen verändert. Es kann allerdings nicht davon ausgegangen werden, dass die veränderte Umweltkognition mittelfristig andauert. Für die Erhebung des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe II werden daher folgende Hypothesen abgeleitet:

UB-H1: Die Intervention ist nicht in der Lage, den Umweltaffekt der Schüler:innen zu verändern.

UB-H2: Die Intervention beeinflusst die Umweltkognition der Schüler:innen kurzfristig positiv.

UB-H3: Die Intervention ist nicht in der Lage, das Umweltverhalten der Schüler:innen zu verändern.

Die Studie des UBA hat darüber hinaus gezeigt, dass die affektiven, kognitiven und agierenden Umwelteinstellungen der weiblichen Befragten im Schnitt höhere Werte aufweisen als die der männlichen

Befragten. Auch für die Durchführung des Schülerlabores wird trotz einer deutlich geringeren Altersspanne der Befragten antizipiert, dass die an der Intervention teilnehmenden Mädchen im Mittel höhere Werte im Umweltverhalten aufweisen als Jungen. Es werden daher folgende Hypothesen abgeleitet:

UB-H4: Die an der Intervention teilnehmenden Mädchen weisen einen größeren Umweltaffekt als die teilnehmenden Jungen auf.

UB-H5: Die an der Intervention teilnehmenden Mädchen weisen eine größere Umweltkognition als die teilnehmenden Jungen auf.

UB-H6: Die an der Intervention teilnehmenden Mädchen weisen ein größeres Umweltverhalten als die teilnehmenden Jungen auf.

4.2.6 Einstellungen zur Ernährung

Der Schülerlabortag „Es geht um die Wurst“ setzt sich mit Fragestellungen der individuellen Ernährung auseinander. Es ist anzunehmen, dass die Schüler:innen mit der im Labortag gewählten Thematik bereits im Alltag konfrontiert werden. In der Sekundarstufe II werden viele Schüler:innen bereits mit alternativen Ernährungsformen wie vegetarischer und veganer Ernährung in Berührung gekommen sein. Die intensive Auseinandersetzung mit der Thematik soll neben den zuvor angesprochenen Konstrukten auch die Reflexionsfähigkeit über die eigene Ernährung bei den Schüler:innen erhöhen. Dabei muss, ähnlich wie beim Umweltverhalten, zwischen kognitiven Komponenten und agierenden Komponenten differenziert werden. Zu diesem Zweck werden in Post- und Follow-Up-Test zwei Items formuliert, die einerseits die kognitive Komponente, zum anderen die agierende Komponente der Einstellungen zur eigenen Ernährung betreffen. Durch die Intervention wird angenommen, dass sich die kognitive Einstellung, bzw. die Bereitschaft, die eigene Ernährung zu reflektieren, kurzfristig auf einem hohen Niveau befindet und dies im Anschluss im Follow-Up-Test abnimmt. Es wird daher folgende Hypothese aufgestellt:

ER-H1: Die Intervention führt bei den Schüler:innen kurzfristig zu einer hohen Bereitschaft, sich mit der eigenen Ernährung kritisch auseinanderzusetzen.

Aus einer dauerhaft veränderten Affektion und Kognition der eigenen Ernährung kann ein geänderter Ernährungsverhalten entstehen. Dies könnte beispielsweise den Verzicht bestimmter Lebensmittel(gruppen) oder den Verzehr bestimmter Lebensmittel(gruppen) bedeuten. Da es sich bei der Änderung der eigenen Essgewohnheiten um das Verhalten und Handeln der Schüler:innen handelt, sind langfristige intrinsische Auseinandersetzungen mit der Thematik von Nöten, um einen Einfluss auf das Ernährungsverhalten zu nehmen. Dabei reicht eine rein kognitive oder eine rein affektive Auseinandersetzung zumeist nicht aus (Preisendörfer & Franzen, 1996). Da es sich beim Schülerlabortag um eine Kurzintervention handelt, kann nicht davon ausgegangen werden, dass sich das Ernährungsverhalten der Schüler:innen ändert. Es wird daher folgende Hypothese aufgestellt:

ER-H2: Die Intervention ist nicht in der Lage, das Ernährungsverhalten der Schüler:innen zu beeinflussen.

Die vorgestellten Konstrukte werden in der Erhebung hypothesenbasiert evaluiert. Um die Unterscheidung zwischen Kurz- und Mittelfristigkeit gewährleisten zu können, wurde folgendes Studiendesign gewählt.

4.3 Studiendesign

4.3.1 Ablauf der Erhebung: Pre-Post-Follow-Up-Design

Um die Wirksamkeit der Intervention anhand der Forschungsfragen untersuchen zu können, wurden die Einstellungen der Schüler:innen in einem Vor-, Nach- und Follow-Up-Test mit einem Fragebogen erhoben. Die teilnehmenden Schüler:innen wurden entsprechend ihres Interventionsort in die zwei Gruppen „Schule“ bzw. „Universität“ zugeteilt. Die Gruppe „Schule“ bezeichnet im Folgenden die Intervention im mobilen Schülerlabor, die Gruppe „Universität“ die Intervention im stationären Schülerlabor. Da die Zuteilung zu den Gruppen durch die Lehrkräfte und die Universität Osnabrück, nicht aber durch die Schüler:innen ausgewählt bzw. beeinflusst wurde, die Schüler:innen allerdings in ihren Kursverbänden die Intervention durchgeführt haben, kann das Studiendesign als quasi-experimentell angenommen werden. Da durch das quasi-experimentelle Design Störfaktoren verringert, aber nicht ausgeschlossen werden können, lassen die Interpretationen der Studienergebnisse keine kausalen Rückschlüsse zu (Baur & Blasius, 2022; Rost, 2013).

Zur Messung der Einstellungen wurde der Vortest (Pretest) unmittelbar vor Beginn des Schülerlabortages, ein Nachtest (Posttest) unmittelbar nach dem Schülerlabortag und ein Follow-Up-Test sechs Wochen nach dem Schülerlabortag von den Schüler:innen digital ausgefüllt. Mithilfe eines Zuordnungscode, der für jeden Fragebogen erneut eingegeben werden musste, konnte einer anonymisierte Zuordnung zu einer Person ermöglicht werden (Abbildung 82). Der Fragebogen wurde mithilfe der Software *SoSci Survey* und den (mobilen) Endgeräten der Schüler:innen durchgeführt. Da für die Umfrage ein Zugang zum Internet nötig ist, wurde dieser den Schüler:innen über das schuleigene Netzwerk oder aber über einen mobilen Hotspot zur Verfügung gestellt.

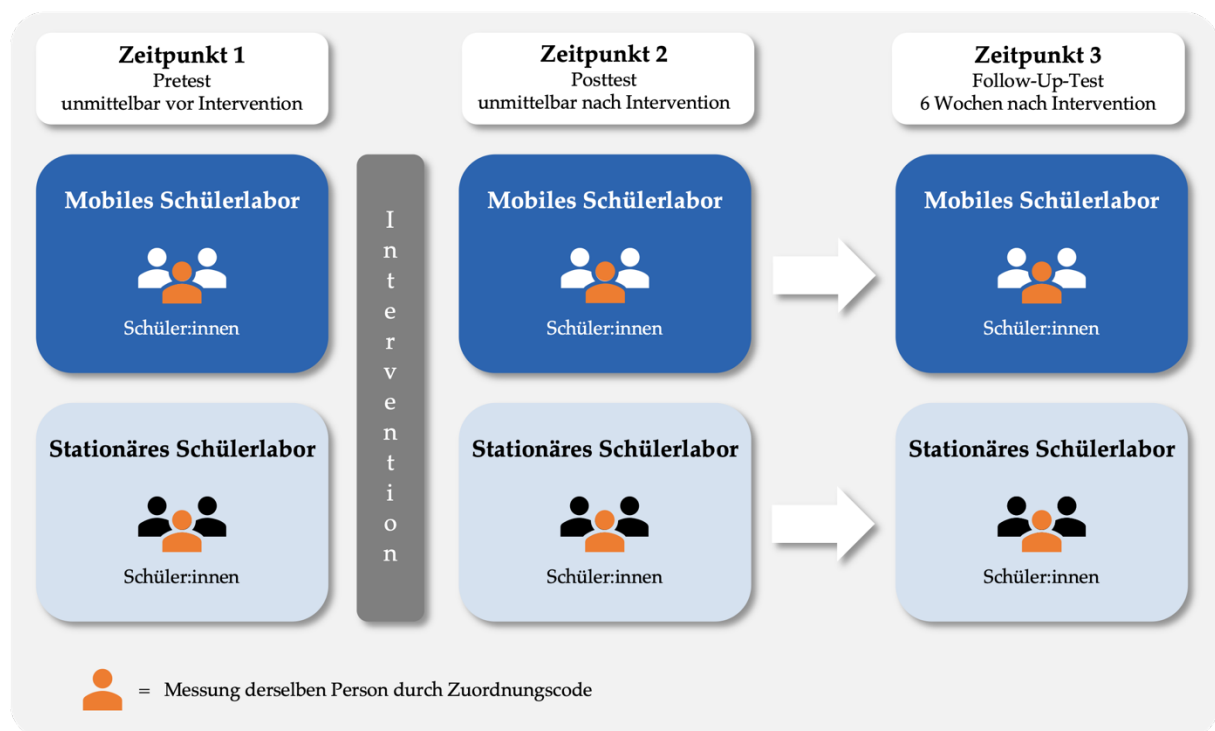


Abbildung 82: Versuchsdesign der Begleitstudie zum Schülerlabor "Es geht um die Wurst" für die Sekundarstufe II.

Als Erhebungsinstrument wurden Skalen gewählt, die den von Budke gewählten und evaluierten Skalen zur Evaluation des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I entsprechen. Auf diese Weise kann eine Vergleichbarkeit der beiden Erhebungen sichergestellt werden. Die Studie wurde um weitere Skalen zur Erhebung des Umweltbewusstseins sowie um soziodemographische Fragen gestellt. Das Pre-Post-Follow-Up-Design ermöglicht die Betrachtung der Entwicklung und Ausbildung von Tendenzen durch die Intervention. So können im Vergleich zwischen Pre- und Posttest Aussagen über kurzfristige Entwicklungen getroffen werden, während die Inbezugnahme des Follow-Up-Test Aussagen über mittelfristige Effekte ermöglicht. Aussagen über langfristige Effekte können mithilfe

dieses Designs nicht getroffen werden, gelten aber durch eine einzelne halbtägige Intervention auch als sehr unwahrscheinlich (Rost, 2013).

4.3.2 Erhebungsinstrumente

Die vollständigen Versionen des Pre-, Post- und des Follow-Up-Fragebogens sind im Anhang vorzufinden. Um die Forschungsfragen hypothesenbasiert beantworten zu können, wurde ein Fragebogen konzipiert, welcher bereits erprobte Skalen enthält. Durch die Verwendung erprobter Skalen kann auf eine vorherige Bestimmung der Validität und Reliabilität der Items in Form einer Vorstudie verzichtet werden (Baur & Blasius, 2022). Der Pretest enthält 57 Items, der Posttest 60 und der Follow-Up-Test 63. Die Unterschiede erklären sich dadurch, dass ab dem zweiten Fragebogenzeitpunkt Fragen aufgenommen worden sind, die zum ersten Zeitpunkt noch nicht beantwortet werden konnten. Neben den genannten Items ist für alle Fragebögen ein Zuordnungscode von den Schüler:innen auszufüllen, in Pre- und Follow-Up-Test zusätzlich soziodemographische Angaben.

Der Fragebogen lässt sich in die folgenden Dimensionen unterteilen: Fachinteresse (FI), Sachinteresse (SI), Fähigkeitsselbstkonzept (SK), Freude (FR), Frustration (FT), Langeweile (LW), aktuelle Interessiertheit (IN), Standort (SO), Umweltaffekt (UA), Umweltkognition (UK) und Umweltverhalten (UV). Das Umweltverhalten ist dabei in ein allgemeines Umweltverhalten und ein spezifisches Umweltverhalten zum Thema Ernährung gegliedert (Tabelle 34).

Tabelle 34: Untersuchte Konstrukte der Begleitstudie mit Dimensionen sowie der Anzahl der Items für Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Konstrukt	Dimension	Anzahl Items		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Interesse / Motivation	FI	3	3	3
	SI	6	6	6
Selbstwirksamkeit	SK	5	5	5
Emotionen	FR	4	4	4
	FT	5	5	5
	LW	4	4	4
	IN	4	4	4
Standort	SO	2	5	6
Allgemeines Umweltbewusstsein	UA	7	7	7
	UK	8	8	8
	UV1	3	3	3
Themenspezifisches Umweltbewusstsein	UV2	6	6	8
Einstellungen zur Ernährung	ER	–	2	2

Die im Fragebogen erhobenen soziodemographischen Daten erheben das Geschlecht (m/w/d), das Alter, den Schultyp (Gymnasium, Integrierte Gesamtschule IGS, Kooperative Gesamtschule KGS, Oberschule, Realschule, Hauptschule, Berufsbildende Schule BBS, andere), den Namen der Schule, die Klassenstufe, das Thema des Schülerlabores („Es geht um die Wurst“, „Plastikmüll und Mikroplastik“, „Nitrat- und Stickstoffproblematik“, „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“, „Stickoxide und der VW-Abgasskandal“), den Interventionsort (Schule, Universität) und die Ernährung (fleischhaltig, vegetarisch, vegan, Sonstiges, und zwar...). Wenngleich der Fragebogen nur im Rahmen des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II eingesetzt worden ist, soll diese soziodemographische Maske auf längere Sicht eine einheitliche Erhebung aller Schülerlaborsettings des Green-Lab_OS zulassen. Die Items zur Erhebung der Dimensionen sind mit einer sechsstufigen Likert-Skala versehen. Dabei ist dem Wert 1 die Aussage „stimme überhaupt nicht zu“, dem Wert 6 die Aussage „stimme voll und ganz zu“ zugeordnet. Geradzahlige Likert-Skalen besitzen keinen exakten Mittelpunkt, sodass sich die Schüler:innen entweder für eine Zustimmung oder eine Ablehnung der Aussage entscheiden müssen. Kritisiert wird hierbei zum Teil, dass einige Aussagen von Befragten neutral bewertet werden können (weder Zustimmung noch Ablehnung) und ein entsprechender Skalenneutralpunkt vorgesehen sein sollte. Andernfalls kann es dazu kommen, dass die Skala nicht als vollständig metrisch betrachtet werden kann (Menold & Bogner, 2015). Um eine Vergleichbarkeit zur Erhebung von Budke zu gewährleisten, der im Fragebogen eine sechsstufige Skala verwendet hat (Budke, 2019), wurde im Rahmen dieser Erhebung ebenfalls eine sechsstufige Likert-Skala gewählt. Um die Validität der Fragebögen sicherzustellen, wurden einige Items der jeweiligen Konstrukte sowohl im Fragebogen

von Budke und entsprechend im Fragebogen für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe II invertiert. Sollte ein:e Schüler:in konsequent eine hohe Ausprägung angeben, müsste bei einem invertierten Item des gleichen Konstruktes eine niedrige Ausprägung angegeben werden. Tritt dies bei mehreren invertierten Items einer Person nicht auf, wird der Fragebogen nicht für die Auswertung berücksichtigt. Ebenso werden Fragebögen nicht berücksichtigt, bei denen eine Zuordnung nicht eindeutig ist, nicht alle drei Erhebungszeitpunkte durchgeführt worden sind oder Teile einzelner Erhebungszeitpunkte unvollständig sind. Die Konstrukte und die entsprechenden Items werden im Folgenden vorgestellt. Zur besseren Lesbarkeit wird der Fragebogen von Budke im Folgenden als *GLO1*, der Fragebogen zur Erhebung des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II als *GLO2* bezeichnet.

Fachinteresse

Das Fachinteresse (FI) erfasst wie zuvor beschrieben grundsätzliche Interessenseinstellungen von Schüler:innen zum Chemieunterricht. Ursprünglich wurden zwei Items zum FI von Engeln für den Physikunterricht entwickelt und validiert (Engeln, 2004). Budke hat die zwei Items für den Chemieunterricht modifiziert und ein drittes Item ergänzt (Budke, 2019). Die drei für *GLO1* entwickelte Items wurden für *GLO2* übernommen (Tabelle 35). Für *GLO2* wurde ein Wort aus semantischen Gründen modifiziert. Umgepolte Items sind mit einem Asteriskus (*) markiert. Änderungen zwischen *GLO1* und *GLO2* sind *kursiv* markiert.

Tabelle 35: Items zur Erhebung des Konstruktes Fachinteresse.

Original (Engeln, 2004)	GLO1	GLO2
Im Physikunterricht fühle ich mich wohl und zufrieden.	Im Chemieunterricht fühle ich mich wohl.	Im Chemieunterricht fühle ich mich wohl.
Der Physikunterricht macht mir Spaß.	Der Chemieunterricht macht mir Spaß.	Der Chemieunterricht macht mir Spaß.
-	Sobald ich den Chemieraum betrete, fühle ich mich schlecht.*	Sobald ich den Chemieraum betrete, fühle ich mich <i>unwohl</i> .*

Sachinteresse

Das Sachinteresse (SI) beschreibt im Gegensatz zum Fachinteresse allgemeine Einstellungen der Schüler:innen zu Naturwissenschaften. Dazu gehört auch die Bereitschaft, sich mit naturwissenschaftlichen Themen, Methoden und Techniken auseinanderzusetzen. Für *GLO1* wurden die Items zur Erhebung des SI ebenfalls von Engeln übernommen. Aufgrund der Gültigkeit für Naturwissenschaften im Allgemeinen, konnten die Items identisch übernommen werden. Für *GLO2* wurden die Items von *GLO1* bzw. von Engeln übernommen (Tabelle 36). Aus orthographischen Gründen wurde für *GLO2* ein Item angepasst („Ich finde es wichtig, mich mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen *auseinanderzusetzen*.“)

Tabelle 36: Items zur Erhebung des Konstruktes Sachinteresse.

Original (Engeln, 2004)	GLO1	GLO2
Experimente durchzuführen, macht mir einfach Spaß.	Experimente durchzuführen, macht mir einfach Spaß.	Experimente durchzuführen, macht mir einfach Spaß.
Ich finde es wichtig, mich mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen auseinander zu setzen.	Ich finde es wichtig, mich mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen auseinander zu setzen.	Ich finde es wichtig, mich mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen <i>auseinanderzusetzen</i> .
Naturwissenschaften bringen mir Spaß.	Naturwissenschaften bringen mir Spaß.	Naturwissenschaften bringen mir Spaß.
Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigen Dingen.	Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigen Dingen.	Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigen Dingen.
Wenn ich an einem Experiment sitze, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.	Wenn ich an einem Experiment sitze, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.	Wenn ich an einem Experiment sitze, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.
Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.	Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.	Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.

Fähigkeitsselbstkonzept

Das Fähigkeitsselbstkonzept wird anhand der Fragen aus *GLO1* erhoben. In *GLO1* modifizierte Budke die Items von Grave, die für den Biologieunterricht bzw. außerschulische biologische Lernorte entwickelt und validiert worden sind (Grave, 2015). Die Items von Grave wiederum sind am hierarchischen

Selbstkonzeptmodell nach Shavelson et al. und der darauf fußenden Studie des Max-Planck-Instituts für Bildungsforschung formuliert (Köller et al., 2000; Shavelson et al., 1976). Budke adaptierte für GLO1 die Items von Grave, indem er alle Biologie-bezogenen Inhalte der Items auf das Fach Chemie transferriert hat (Budke, 2019). Für GLO2 wurden die Items von Budke übernommen (Tabelle 37).

Tabelle 37: Items zur Erhebung des Konstruktes Fähigkeitsselbstkonzept.

Original (Grave, 2015)	GLO1	GLO2
Biologische Themen zu lernen fällt mir leicht.	Chemische Themen zu lernen fällt mir leicht.	Chemische Themen zu lernen fällt mir leicht.
Kein Mensch kann alles. Für Biologie habe ich einfach keine Begabung.*	Kein Mensch kann alles. Für Chemie habe ich einfach keine Begabung.*	Kein Mensch kann alles. Für Chemie habe ich einfach keine Begabung.*
Bei manchen biologischen Inhalten weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie“.*	Bei manchen chemischen Inhalten weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie“.*	Bei manchen chemischen Inhalten weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie“.*
Für das Durchführen von biologischen Inhalten habe ich einfach kein Händchen.*	Für das Durchführen von chemischen Inhalten habe ich einfach kein Händchen.*	Für das Durchführen von chemischen Inhalten habe ich einfach kein Händchen.*
Ich traue mir in Biologie einiges zu.	Ich traue mir in Chemie einiges zu.	Ich traue mir in Chemie einiges zu.

Freude

Das Konstrukt Freude, welches die situative, positive Auseinandersetzung mit einem Gegenstand bezeichnet, steht in direktem Zusammenhang mit einer intrinsischen Motivation. Für die Erhebung in GLO1 hat Budke Items modifiziert, die von Wegner für den Biologieunterricht erstellt und validiert worden sind (Budke, 2019; Wegner, 2008). Die für den Chemieunterricht adaptierten Items für GLO1 wurden in GLO2 zur Vergleichbarkeit übernommen (Tabelle 38).

Tabelle 38: Items zur Erhebung des Konstruktes Freude (Pretest und Follow-Up-Test).

Original (Wegner, 2008)	GLO1	GLO2
Die letzten Stunden in Biologie haben mir sehr viel Spaß gemacht.	Die letzten Stunden in Chemie haben mir sehr viel Spaß gemacht.	Die letzten Stunden in Chemie haben mir sehr viel Spaß gemacht.
Durch die letzten Biostunden freue ich mich richtig auf die kommende Stunde.	Durch die letzte Chemiestunde freue ich mich richtig auf die kommende Stunde.	Durch die letzte Chemiestunde freue ich mich richtig auf die kommende Stunde.
Der Biologieunterricht der letzten Stunden hat mich sehr begeistert.	Der Chemieunterricht der letzten Stunden hat mich sehr begeistert.	Der Chemieunterricht der letzten Stunden hat mich sehr begeistert.
In den letzten Unterrichtsstunden des Faches Biologie fühlte ich mich glücklich und zufrieden.	In den letzten Unterrichtsstunden des Faches Chemie fühlte (fühle ¹) ich mich glücklich und zufrieden.	In den letzten Unterrichtsstunden des Faches Chemie fühlte ich mich glücklich und zufrieden.

¹im Follow-Up-Test (vermutlich als orthographischer Fehler).

Da es sich bei der Intervention um eine Kurzintervention handelt und mit dem Nachtest eine kurzfristige Änderung der Einstellungen überprüft werden sollen, müssen die Items zum Konstrukt Freude im Posttest entsprechend angeglichen werden. Dies hat Budke in GLO1 vorgenommen. Für GLO2 wurden die Items mit kleinen (semantischen bzw. grammatikalischen) Änderungen übernommen (Tabelle 39).

Tabelle 39: Items zur Erhebung des Konstruktes Freude (Posttest).

GLO1	GLO2
Der Labortag zum Thema Wurst hat mir Spaß gemacht.	Der Labortag „Es geht um die Wurst“ hat mir Spaß gemacht.
Durch die Teilnahme am Labortag freue ich mich richtig auf die kommende Stunde.	Durch die Teilnahme am Labortag freue ich mich richtig auf die kommende Stunde.
Der Labortag hat mich begeistert.	Der Labortag hat mich begeistert.
Bei der Teilnahme am Labortag fühle ich mich glücklich und zufrieden.	Bei der Teilnahme am Labortag <i>fühlte</i> ich mich glücklich und zufrieden.

Frustration

Als ein emotionaler Gegenpol zur Freude gilt die Frustration. Diese wurde ebenfalls von Wegner für den Biologieunterricht erhoben und von Budke für GLO1 modifiziert verwendet (Budke, 2019; Wegner, 2008). Das Konstrukt wird über fünf Items gemessen, von denen eines umgepolt ist. Für GLO2 wurden die Items von GLO1 übernommen (Tabelle 40). Da es sich bei der Intervention um eine Kurzintervention handelt und mit dem Nachtest eine kurzfristige Änderung der Einstellungen überprüft werden sollen,

müssen die Items zum Konstrukt Frustration im Posttest entsprechend angeglichen werden. Dies hat Budke in GLO1 vorgenommen. Für GLO2 wurden die Items übernommen (Tabelle 41).

Tabelle 40: Items zur Erhebung des Konstruktes Frustration (Pre- und Follow-Up-Test).

Original (Wegner, 2008)	GLO1	GLO2
Der Biologieunterricht war für mich in den letzten Stunden sehr frustrierend.	Der Chemieunterricht in den letzten Stunden war für mich sehr frustrierend.	Der Chemieunterricht in den letzten Stunden war für mich sehr frustrierend.
In den letzten Biologiestunden war ich eifrig bei der Sache.*	In den letzten Chemiestunden war ich eifrig bei der Sache.*	In den letzten Chemiestunden war ich eifrig bei der Sache.*
Ich wusste nicht, was ich mit den Biologiestunden anfangen sollte.	Ich wusste nicht, was ich mit den Chemiestunden anfangen sollte.	Ich wusste nicht, was ich mit den <i>letzten</i> Chemiestunden anfangen sollte.
Ich wusste in den letzten Biologiestunden nicht, was Sache ist.	Ich wusste in den letzten Chemiestunden nicht, was Sache ist.	Ich wusste in den letzten Chemiestunden nicht, was Sache ist.
In den letzten Biologiestunden habe ich so wenig verstanden, dass es mich genervt hat.	In den letzten Stunden in Chemie war ich genervt.	Von den letzten Stunden in Chemie war ich genervt.

Tabelle 41: Items zur Erhebung des Konstruktes Frustration (Posttest).

GLO1	GLO2
Der Labortag war für mich sehr frustrierend.	Der Labortag „ <i>Es geht um die Wurst</i> “ war für mich sehr frustrierend.
Am Labortag war ich eifrig bei der Sache.*	Am Labortag war ich eifrig bei der Sache.*
Ich wusste nicht, was ich mit dem Labortag anfangen sollte.	Ich wusste nicht, was ich mit dem Labortag anfangen sollte.
Ich wusste heute nicht, was Sache ist.	Ich wusste heute nicht, was Sache ist.
Vom Labortag war ich genervt.	Vom Labortag war ich genervt.

Langeweile

Wie die anderen affektiven Konstrukte, hat Budke im Rahmen von GLO1 auch das Konstrukt Langeweile über von Wegner adaptierte Items erhoben. Diese wurden zuvor von Wegner für den Biologieunterricht entwickelt, validiert und im Anschluss von Budke für den Chemieunterricht adaptiert (Budke, 2019; Wegner, 2008). Für GLO2 wurden die Items von GLO1 mit einer Änderung übernommen. Das Konstrukt wird über vier Items, von denen eines umgepolt ist, erhoben (Tabelle 42).

Tabelle 42: Items zur Erhebung des Konstruktes Langeweile (Pre- und Follow-Up-Test).

Original (Wegner, 2008)	GLO1	GLO2
Ich habe bemerkt, dass ich in den letzten Biologiestunden oft geistig abwesend war.	Ich habe bemerkt, dass ich in den letzten Stunden oft geistig abwesend war.	Ich habe bemerkt, dass ich in den letzten Stunden <i>in Chemie</i> oft geistig abwesend war.
Ich hatte das Gefühl, dass die letzten Unterrichtsstunden in Biologie gar nicht enden wollten.	Ich hatte in den letzten Chemiestunden das Gefühl, dass sie gar nicht enden wollten.	Ich hatte in den letzten Chemiestunden das Gefühl, dass sie gar nicht enden wollten.
Ich habe mich während der letzten Biologiestunden oft mit anderen Dingen beschäftigt.	Ich habe mich während der letzten Chemiestunden oft mit anderen Dingen beschäftigt.	Ich habe mich während der letzten Chemiestunden oft mit anderen Dingen beschäftigt.
Ich habe in den Biologiestunden gar nicht gemerkt, wie schnell die Zeit vergangen ist.*	In den letzten Chemiestunden habe ich gar nicht gemerkt, wie die Zeit verfliegt.*	In den letzten Chemiestunden habe ich gar nicht gemerkt, wie die Zeit verfliegt.*

Wie bei den anderen affektiven Konstrukten, müssen die Items für den Posttest angeglichen werden. Dies hat Budke in GLO1 vorgenommen. Für GLO2 wurden die Items übernommen (Tabelle 43).

Tabelle 43: Items zur Erhebung des Konstruktes Langeweile (Posttest).

GLO1	GLO2
Ich habe gemerkt, dass ich am Labortag oft geistig abwesend war.	Ich habe gemerkt, dass ich am Labortag „ <i>Es geht um die Wurst</i> “ oft geistig abwesend war.
Ich hatte heute das Gefühl, dass der Tag gar nicht enden wollte.	Ich hatte heute das Gefühl, dass der Tag gar nicht enden wollte.
Ich habe mich während des Labortages oft mit anderen Dingen beschäftigt.	Ich habe mich während des Labortages oft mit anderen Dingen beschäftigt.
Heute habe ich gar nicht gemerkt, wie die Zeit verfliegt.*	Heute habe ich gar nicht gemerkt, wie die Zeit verfliegt.*

Aktuelle Interessiertheit

Die (aktuelle) Interessiertheit wird zu den affektiven Konstrukten gezählt, da sie im Gegensatz zum Interesse situativ beeinflusst werden kann. Das situative Interesse (= Interessiertheit) kann allerdings in ein dispositionales Interesse umgewandelt werden, sodass die Erhebung des situativen Interesses auch von Relevanz für die Betrachtung weiterführender Konstrukte sein kann. Wie die anderen affektiven Konstrukte hat Budke für GLO1 die Items von Wegner übernommen und für den Chemieunterricht adaptiert (Budke, 2019; Wegner, 2008). Die Items aus GLO1 wurden für GLO2 übernommen. Das Konstrukt wird über vier Items erhoben (Tabelle 44).

Tabelle 44: Items zur Erhebung des Konstruktes Interessiertheit (Pre- und Follow-Up-Test).

Original (Wegner, 2008)	GLO1	GLO2
Die letzten Stunden im Biologieunterricht fand ich so spannend, dass ich noch mehr über dieses Thema wissen möchte.	Die letzten Stunden in Chemie fand ich so spannend, dass ich noch mehr über dieses Thema wissen möchte.	Die letzten Stunden in Chemie fand ich so spannend, dass ich noch mehr über dieses Thema wissen möchte.
Während des Biologieunterrichts der letzten Stunden sind mir viele Fragen in den Kopf gekommen.	Während des Chemieunterrichts der letzten Stunden sind mir viele Fragen in den Kopf gekommen.	Während des Chemieunterrichts der letzten Stunden sind mir viele Fragen in den Kopf gekommen.
Die letzten Biologiestunden haben mich richtig interessiert.	Die letzten Chemiestunden haben mich richtig interessiert.	Die letzten Chemiestunden haben mich richtig interessiert.
Die letzten Biologiestunden haben mich sehr neugierig gemacht.	Die letzten Stunden in Chemie haben mich sehr neugierig gemacht.	Die letzten Stunden in Chemie haben mich sehr neugierig gemacht.

Wie bei den anderen affektiven Konstrukten, müssen die Items für den Posttest angeglichen werden. Dies hat Budke in GLO1 vorgenommen. Für GLO2 wurden die Items übernommen (Tabelle 45).

Tabelle 45: Items zur Erhebung des Konstruktes Interessiertheit (Posttest).

GLO1	GLO2
Den Labortag fand ich so spannend, dass ich noch mehr über dieses Thema wissen möchte.	Den Labortag „Es geht um die Wurst“ fand ich so spannend, dass ich noch mehr über dieses Thema wissen möchte.
Während des Labortages sind mir viele Fragen in den Kopf gekommen.	Während des Labortages sind mir viele Fragen in den Kopf gekommen.
Der Labortag hat mich richtig interessiert.	Der Labortag hat mich richtig interessiert.
Die [sic!] Labortag hat mich neugierig gemacht.	Der Labortag hat mich neugierig gemacht.

Standort / Akzeptanz

Mithilfe einer Akzeptanzbefragung hat Budke für GLO1 die Einstellungen der Schüler:innen in Bezug auf den Standort des Schülerlabortages bzw. außerschulischen Lernorten im Allgemeinen erhoben. Wenngleich die Schüler:innen die Lernorte nicht vergleichen können, da sie nur einen der beiden Standorte (mobil oder stationär) besucht haben, können über diese Items Präferenzen der Schüler:innen abgebildet werden. Dazu wurden in GLO1 lediglich zwei Items im Pretest abgefragt. Im Nachtest finden sich fünf, im Follow-Up-Test sechs Items. Das sechste Item im Follow-Up-Test erfragt noch einmal die Freude, die die Schüler:innen an dem Labortag hatten. Die Items aus GLO1 wurden für GLO2 übernommen (Tabelle 46).

Tabelle 46: Items zur Erhebung der Standortakzeptanz.

GLO1	GLO2
Es sollte mehr außerschulische Angebote geben, die uns an der Schule besuchen.	Es sollte mehr außerschulische Angebote geben, die uns an der Schule besuchen.
Ich wünsche mir mehr Lernorte außerhalb der Schule zu besuchen.	Ich wünsche <i>mir</i> , mehr Lernorte außerhalb der Schule zu besuchen.
Ich finde es sehr motivierend einen Tag im Rahmen des Schülerlabores zu experimentieren. ¹	Ich finde es sehr <i>motivierend</i> , einen Tag im Rahmen des Schülerlabores zu experimentieren. ¹
Ich möchte lieber nicht nochmal am Schülerlabor teilnehmen.* ¹	Ich möchte lieber nicht nochmal am Schülerlabor teilnehmen.* ¹
Der Besuch des Schülerlabors hat mein Interesse am Chemieunterricht gesteigert. ¹	Der Besuch des Schülerlabors hat mein Interesse am Chemieunterricht gesteigert. ¹
Der Labortag zum Thema Wurst hat mir Spaß gemacht. ^{1,2}	Der Labortag zum Thema Wurst hat mir Spaß gemacht. ^{1,2}

¹Nicht im Pretest enthalten, ² Nicht im Posttest enthalten

Umweltaffekt

Der Umweltaffekt ist die emotional-affektive Komponente des Umweltbewusstseins. Für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe II soll die Veränderung des Umweltbewusstseins durch die Schüler:innen erhoben werden. Das UBA hat im Jahr 2018 Items zur Erhebung des Umweltbewusstseins entwickelt und validiert, die als Grundlage für GLO2 dienen (Umweltbundesamt, 2019). Um die Items für Schüler:innen sinnvoll beantworten lassen zu können, mussten diese an einer Stelle verändert werden (Tabelle 47). Erhoben wird der Umweltaffekt entsprechend des UBA über eine vierstufige Likert-Skala mit den Ausprägungen 1 = „stimme gar nicht zu“, 2 = „stimme eher nicht zu“, 3 = „stimme eher zu“ und 4 = „stimme voll zu“. Darüber hinaus kann die Antwort „weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich“ gegeben werden.

Tabelle 47: Items zur Erhebung des Konstruktes Umweltaffekt.

Original (Umweltbundesamt, 2019)	GLO2
Menschengemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder das Plastik in den Weltmeeren empören mich.	Menschengemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder das Plastik in den Weltmeeren empören mich.
Der Klimawandel bedroht auch unsere Lebensgrundlagen hier in Deutschland.	Der Klimawandel bedroht auch unsere Lebensgrundlagen hier in Deutschland.
Es macht mich wütend, wenn ich sehe, dass Deutschland seine Klimaschutzziele verfehlt.	Es macht mich wütend, wenn ich sehe, dass Deutschland seine Klimaschutzziele verfehlt.
Ich freue mich über Initiativen, die nachhaltige Lebensweisen einfach ausprobieren, zum Beispiel Ökodörfer, Slow-Food-Bewegung.	Ich freue mich über Initiativen, die nachhaltige Lebensweisen einfach ausprobieren, zum Beispiel Ökodörfer oder „Plastiktütenfreies Osnabrück“.
Ich ärgere mich, wenn mir andere vorschreiben wollen, dass ich umweltbewusst leben soll.*	Ich ärgere mich, wenn mir andere vorschreiben wollen, dass ich umweltbewusst leben soll.*
Die Umweltproblematik wird von vielen Umweltschützerinnen und Umweltschützern stark übertrieben.*	Die Umweltproblematik wird von vielen Umweltschützerinnen und Umweltschützern stark übertrieben.*

Umweltkognition

Die Umweltkognition ist die kognitive Dimension des Umweltbewusstseins. Zur Erhebung hat das UBA ebenfalls Items im Rahmen der Umweltbewusstseinsstudie 2018 entwickelt und validiert, die als Grundlage für GLO2 dienen (Umweltbundesamt, 2019). Die insgesamt acht Items wurden für GLO2 nicht modifiziert (Tabelle 48). Erhoben wird die Umweltkognition entsprechend des UBA über eine vierstufige Likert-Skala mit den Ausprägungen 1 = „stimme gar nicht zu“, 2 = „stimme eher nicht zu“, 3 = „stimme eher zu“ und 4 = „stimme voll zu“. Darüber hinaus kann die Antwort „weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich“ gegeben werden.

Tabelle 48: Items zur Erhebung des Konstruktes Umweltkognition.

Original (Umweltbundesamt, 2019)	GLO2
Jede und jeder Einzelne trägt Verantwortung dafür, dass wir nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt hinterlassen.	Jede und jeder Einzelne trägt Verantwortung dafür, dass wir nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt hinterlassen.
Wir sollten nicht mehr Rohstoffe verbrauchen, als nachwachsen können.	Wir sollten nicht mehr Rohstoffe verbrauchen, als nachwachsen können.
Mehr Umweltschutz bedeutet auch mehr Lebensqualität und Gesundheit für alle.	Mehr Umweltschutz bedeutet auch mehr Lebensqualität und Gesundheit für alle.
Wir müssen Wege finden, wie wir unabhängig vom Wirtschaftswachstum gut leben können.	Wir müssen Wege finden, wie wir unabhängig vom Wirtschaftswachstum gut leben können.
Es gibt natürliche Grenzen des Wachstums, die unsere industrialisierte Welt längst erreicht hat.	Es gibt natürliche Grenzen des Wachstums, die unsere industrialisierte Welt längst erreicht hat.
Zugunsten der Umwelt sollten wir alle bereit sein, unseren derzeitigen Lebensstandard einzuschränken.	Zugunsten der Umwelt sollten wir alle bereit sein, unseren derzeitigen Lebensstandard einzuschränken.
Für ein gutes Leben sind andere Dinge wichtig als Umwelt und Natur.*	Für ein gutes Leben sind andere Dinge wichtig als Umwelt und Natur.*
Wir brauchen in Zukunft mehr Wirtschaftswachstum, auch wenn das die Umwelt belastet.*	Wir brauchen in Zukunft mehr Wirtschaftswachstum, auch wenn das die Umwelt belastet.*

Umweltverhalten

Das Umweltverhalten betrachtet die agierende Dimension des Umweltbewusstseins. Zur Erhebung hat das UBA Items im Rahmen der Umweltbewusstseinsstudie 2018 entwickelt und validiert, die als Grundlage für GLO2 dienen (Umweltbundesamt, 2019). In GLO2 wird das Umweltverhalten in zwei Bereiche aufgeteilt. Bereich eins erfragt das allgemeine Umweltverhalten, Bereich zwei das

themenspezifische Umweltverhalten, in diesem Falle das Umweltverhalten in Bezug auf die Ernährung. Die Items für Bereich eins wurden zum Teil aus der Studie des UBA übernommen. Hier wurde allerdings ein Item entfernt, das für Schüler:innen nicht sinnvoll zu beantworten ist. Ein für die Schüler:innen beantwortbares Item wurde ergänzt. Die Items aus Bereich zwei wurden für das GLO2 entwickelt und im Rahmen der Studie auf Reliabilität getestet. Zwei der Items, die von der UBA für das allgemeine Umweltverhalten entwickelt worden sind, werden ebenfalls für das themenspezifische Umweltverhalten im Bereich Ernährung eingesetzt. Das Allgemeine Umweltverhalten wird in GLO2 über insgesamt fünf Items erhoben (Tabelle 49), das Themenspezifische Umweltverhalten über insgesamt sechs Items (Tabelle 50). Es ist zu berücksichtigen, dass das Umweltverhalten ein grundsätzlich schwer zu erfassendes Konstrukt mit geringen Reliabilitäten darstellt (Umweltbundesamt, 2019). Erhoben wird das Umweltverhalten entsprechend des UBA über eine sechsstufige Likert-Skala mit den Ausprägungen 1 = „(nie)“ und 6 = „(immer)“. Die Stufen 2 bis 5 sind nicht benannt. Darüber hinaus kann die Antwort „weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich“ gegeben werden.

Tabelle 49: Items zur Erhebung des Konstruktes Allgemeines Umweltverhalten.

Original (Umweltbundesamt, 2019)	GLO2
Beim Kauf von Haushaltsgeräten wähle ich besonders energieeffiziente Geräte (A+++ oder A++ Energieeffizienzsiegel).	-
Für meine alltäglichen Wege benutze ich das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel oder gehe zu Fuß.	Für meine alltäglichen Wege benutze ich das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel oder gehe zu Fuß.
Beim Einkaufen wähle ich Produkte mit Umweltsiegel, zum Beispiel Blauer Engel, EU-Biosiegel oder EU-Ecolabel.	Beim Einkaufen wähle ich Produkte mit Umweltsiegel, zum Beispiel Blauer Engel, EU-Biosiegel oder EU-Ecolabel.
Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.	Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.
Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*	Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*
-	Wasser, Licht und elektrische Geräte lasse ich nur so lange an wie notwendig.

Tabelle 50: Items zur Erhebung des Konstruktes Themenspezifisches Umweltverhalten (Ernährung).

Original (Umweltbundesamt, 2019)	GLO2
-	Wenn ich zwischen einem Gericht mit und ohne Fleisch wählen kann, entscheide ich mich für die Variante ohne Fleisch.
-	Wenn ich weiß, dass die Tiere besser gehalten wurden, bezahle ich gerne mehr für mein Essen.
-	Bevor ich Lebensmittel kaufe, informiere ich mich zuerst über die Produktionsbedingungen.
Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.	Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.
Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*	Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*
-	Ich achte darauf, mit meinem Essverhalten einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.

Das UBA hat darüber hinaus zur Erhebung des Allgemeinen Umweltverhaltens ein weiteres Item entwickelt, das mit „Ja“ bzw. „Nein“ beantwortet werden kann („Ich engagiere mich aktiv für den Umwelt- und Klimaschutz“) (Umweltbundesamt, 2019). Dies wurde für GLO2 übernommen.

Einstellungen zur Ernährung

Mit den Einstellungen zur Ernährung soll einerseits eine kognitive Dimension, andererseits eine handlungsbasierte Dimension der Individualernährung erhoben werden. Die für GLO2 entwickelten Items werden in Post- und Follow-Up-Test erhoben. Dabei wird mithilfe eines Items die kognitive Dimension, mithilfe des anderen Items die handlungsbasierte (agierende) Dimension erhoben. Die Items werden in Form einer sechsstufigen Likert-Skala durch die Schüler:innen bewertet (Tabelle 51).

Tabelle 51: Items zu Einstellungen zur Ernährung in Post- und Follow-Up-Test.

Original (Umweltbundesamt, 2019)	GLO2
-	Der Labortag „Es geht um die Wurst“ hat dafür gesorgt, dass ich jetzt bewusster über meine Ernährung nachdenke.
-	Durch den Labortag „Es geht um die Wurst“ habe ich mein Essverhalten geändert.

4.3.3 Statistische Methoden

Vorbereitung

Die Fragebögen wurden mithilfe der Software „SoSciSurvey“ erhoben. Dazu beantworteten die Schüler:innen mit ihren (mobilen) Endgeräten zu den jeweiligen Testzeitpunkten die Fragebögen. Bei Bedarf wurde den Schüler:innen dazu ein Internetzugang zur Verfügung gestellt. Die erhobenen Daten wurden als SPSS-Syntax exportiert und in SPSS (Version IBM SPSS Statistics 28) importiert und ausgewertet. Umgepolte Items wurden bereits beim Export durch SoSciSurvey invertiert, nicht beantwortete Items wurden in der Analyse als fehlende Werte interpretiert. Die Pre-, Post- und Follow-Up-Tests wurden anhand der Zuordnungscodes in einer Datei zusammengefügt. Dazu wurde den Items für jeden Testzeitpunkt als Präfix „V_“, „N_“ oder „F_“ vorangestellt, um den Vortest, den Nachtest und den Follow-Up-Test zu identifizieren. Nach Zusammenfügen der Datensätze wurden alle für die weitere Auswertung entfernt, bei denen eine Zusammenlegung durch die Zuordnungscodes nicht möglich war, bzw. nicht alle drei Testzeitpunkte vorhanden waren.

Zur Bestimmung des Testwertes wurde für jede Skala bzw. Subskala das arithmetische Mittel aller Items bestimmt, sofern alle Items des Konstruktes beantwortet worden sind. Wurden nicht alle Items beantwortet, wurde der Testwert nicht bestimmt. Das arithmetische Mittel wurde anstelle von Summenscores gebildet, um verschiedene Skalen mit unterschiedlich vielen Items vergleichen zu können. Die interne Konsistenz, ein Reliabilitätsmaß einer Skala, wurde mithilfe von Cronbachs Alpha (Cronbachs α) bestimmt. Interne Konsistenzen von $\alpha > 0,8$ gelten als reliabel, wenngleich für Skalen mit weniger Items auch Werte von $\alpha > 0,6$ akzeptiert werden (Bortz & Döring, 2016). Sollten Skalen eine interne Konsistenz von $\alpha < 0,6$ aufweisen, wurde geprüft, ob durch das Weglassen eines Items die Reliabilität erhöht wird. In diesem Falle wurde die weitere Auswertung ohne das entsprechende Item durchgeführt.

Testverfahren

Die Skalen wurden zunächst über deskriptive Methoden, wie zum Beispiel Mittelwerte und Streuungsmaße, beschrieben. Anschließend wurden die Skalen mit statistischen Methoden ausgewertet. Dazu wurden zunächst t -Tests für abhängige Stichproben durchgeführt, die auf Unterschiede zwischen Mittelwerten einer abhängigen Variable zu mehreren Zeitpunkten testen. Um die Abhängigkeit des Interventionsortes auf die Einstellungen der Schüler:innen vor, unmittelbar nach und mittelfristig nach der Intervention erheben zu können, wurde eine zweifaktorielle ANOVA mit Messwiederholung für die Dimensionen Zeit (Pre, Post, Follow-Up) und die jeweilige unabhängige Variable (Interventionsort, Geschlecht, Kurswahlverhalten) durchgeführt. Voraussetzung für die Durchführung einer ANOVA sind die näherungsweise Normalverteilung, die Varianzhomogenität und die Sphärizität der Daten. Zur Überprüfung der Normalverteilung wurden Shapiro-Wilk-Tests durchgeführt. Dazu wurde zunächst aus den für die Erhebungszeiträume gemittelten Skalen eine neue Variable gebildet, in der der Skalenmittelwert über alle Erhebungszeiträume gebildet wurde. Diese Variable wurde in die einzelnen abhängigen Variablen (Standort, Geschlecht, Kurswahlverhalten) aufgeteilt und auf Normalverteilung geprüft. Homogenität wurde für die einzelnen Skalen mithilfe des Levene-Tests auf Varianzhomogenität getestet. Die Sphärizität wurde über den Mauchly-Test ermittelt. Bei einer Signifikanz von $p > 0,05$ gelten die Vortests auf Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärizität als valide. Da die ANOVA als robust gegenüber Verletzungen der Normalverteilung und Varianzhomogenität gilt, wurden für die weitere Berechnung auch für nicht gültige Normalverteilungen Varianzanalysen durchgeführt (Schäfer, 2016). Sphärizitäten $< 0,05$ wurden zuvor Greenhouse-Geisser korrigiert (Greenhouse & Geisser, 1959). Als Signifikanzniveau für die Ergebnisse der Varianzanalysen wurde $p < 0,05$ angenommen. Die Varianzanalysen wurden hinsichtlich eines Haupteffektes ausgewertet, indem mögliche Effekte in Bezug auf den Innersubjektfaktor „Erhebungszeitpunkt“ gemessen worden sind. Darüber hinaus wurden Zwischensubjekteffekte in Bezug auf die abhängige Variable (Standort, Geschlecht, Kurswahlverhalten) und eine mögliche Beeinflussung der abhängigen Variable durch die unabhängige Variable als Interaktionseffekte bestimmt. Für die Varianzanalysen wurden jeweils die F-Werte und das partielle Eta-Quadrat (η^2) berechnet. η^2 wird nach Cohen als Maß der Effektstärke genutzt, wobei gilt:

$0,01 \leq \eta^2 < 0,06$	kleiner Effekt
$0,06 \leq \eta^2 < 0,14$	mittlerer Effekt
$0,14 \leq \eta^2 $	großer Effekt

(Cohen, 1988)

Korrelationen zwischen den Konstrukten wurden als bivariate Korrelation nach Pearson über den Korrelationskoeffizienten r berechnet. Reliabilitätsanalysen wurden für die Konstrukte Fachinteresse, Sachinteresse, Fähigkeitsselbstkonzept, Freude, Frustration, Langeweile, Interessiertheit, Umweltaffekt, Umweltkognition, sowie allgemeines und themenspezifisches Umweltverhalten zum jeweiligen Testzeitpunkt erhoben. Die Reliabilitäten nach Cronbach sind in Tabelle 52 aufgeführt.

Tabelle 52: Skalenreliabilitäten, gemessen als Cronbachs α für die drei Testzeitpunkte.

Skala	Items	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Fachinteresse	3	0,802	0,766	0,741
Sachinteresse	6	0,749	0,817	0,827
Fähigkeitsselbstkonzept	5	0,823	0,878	0,885
Freude	4	0,914	0,841	0,933
Frustration	5	0,886	0,877	0,889
Langeweile	4	0,733	0,666	0,742
Interessiertheit	4	0,834	0,831	0,822
Umweltaffekt	7	0,762	0,817	0,785
Umweltkognition	8	0,810	0,854	0,777
Allgemeines Umweltverhalten	5	<u>0,541</u>	<u>0,549</u>	<u>0,483</u>
Themenspezifisches Umweltverhalten	6	0,853	0,807	0,845

Für die verwendeten Skalen zeigen sich mit Ausnahme des allgemeinen Umweltverhaltens akzeptable bis gute Reliabilitäten. Wie zuvor diskutiert, zeigt das allgemeine Umweltverhalten generell schwache Reliabilitäten (Umweltbundesamt, 2019). Die Skalen zum allgemeinen Umweltverhalten werden entsprechend der Vorlage des UBA dennoch ausgewertet.

4.3.4 Beschreibung der Stichprobe

Die an der Fragebogenstudie teilnehmenden Schüler:innen konnten den Interventionsort innerhalb ihrer Gruppe nicht wählen. Die Wahl des Interventionsortes ging von der betreuenden Lehrkraft aus, sodass das Design als quasi-experimentell beschrieben werden kann. Der Pretest wurde von insgesamt 152 Schüler:innen ausgefüllt, der Posttest von 148 Personen, der Follow-Up-Test von 96 Personen. Vollständig ausgefüllt wurden die Fragebögen von 147, 142 bzw. 87 Personen. Nach Zuordnung der Fragebögen anhand des Zuordnungscodes und Entfernung aller nicht vollständig oder nicht sinnvoll ausgefüllter Fragebögen ergab sich eine Stichprobengröße von $N = 73$. In Bezug auf den Pretest entspricht dies einer Rücklaufquote von 49,3 %.

Nach Bereinigung des Datensatzes wurde der Fragebogen von 50 Schüler:innen am Standort Schule und von 23 Schüler:innen am Standort Universität ausgefüllt. Dies entspricht einem Verhältnis von 68,5 % zu 31,5 % (Abbildung 83). Alle befragten Schüler:innen besuchten zum Zeitpunkt des Fragebogens die gymnasiale Oberstufe eines Gymnasiums.

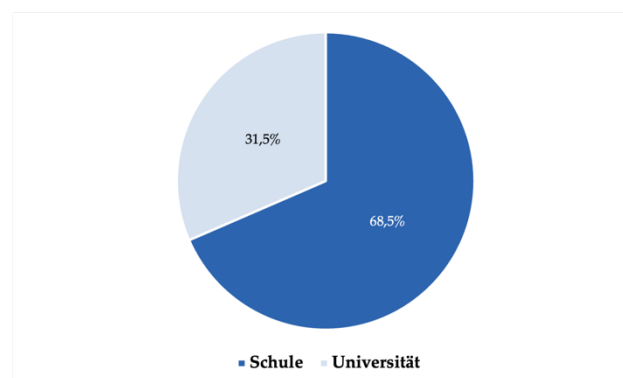


Abbildung 83: Stichprobengröße von GLO2 in Abhängigkeit des Standortes.

Das Geschlechterverhältnis der Studie liegt bei 36 Schülerinnen zu 37 Schülern, was einem Verhältnis von 49,3 % zu 50,7 % entspricht. Aufgeteilt auf die Standorte liegt das Verhältnis bei 25 Schülerinnen zu 25 Schülern für den Standort Schule (50 % zu 50 %) bzw. bei 11 Schülerinnen zu 12 Schülern für den

Standort Universität (47,8 % zu 52,2 %). Das Geschlechterverhältnis kann daher als näherungsweise gleichverteilt angenommen werden (Abbildung 84).

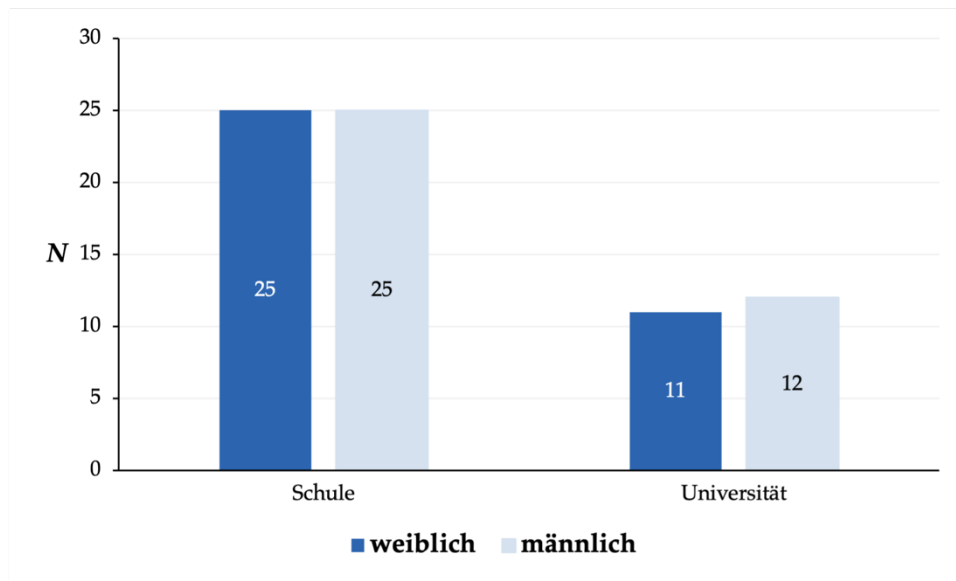


Abbildung 84: Geschlechterverhältnis in GLO2 in Abhängigkeit des Standortes.

Die Schüler:innen waren zum Zeitpunkt der Erhebung (gemessen am Pretest) im Durchschnitt 17,79 Jahre alt, der Median liegt bei 18 Jahren (SD = .816). In Abhängigkeit des Interventionsortes liegt der Altersdurchschnitt am Standort Schule bei 17,86 Jahren, am Standort Universität bei 17,65 Jahren. Der Median liegt jeweils bei 18 Jahren. Das Altersminimum liegt am Standort Schule bei 16 Jahren, am Standort Universität bei 17 Jahren. Das Altersmaximum liegt bei beiden Standorten bei 19 Jahren (Abbildung 85). Die Altersverteilung wird daher näherungsweise als gleichverteilt angenommen.

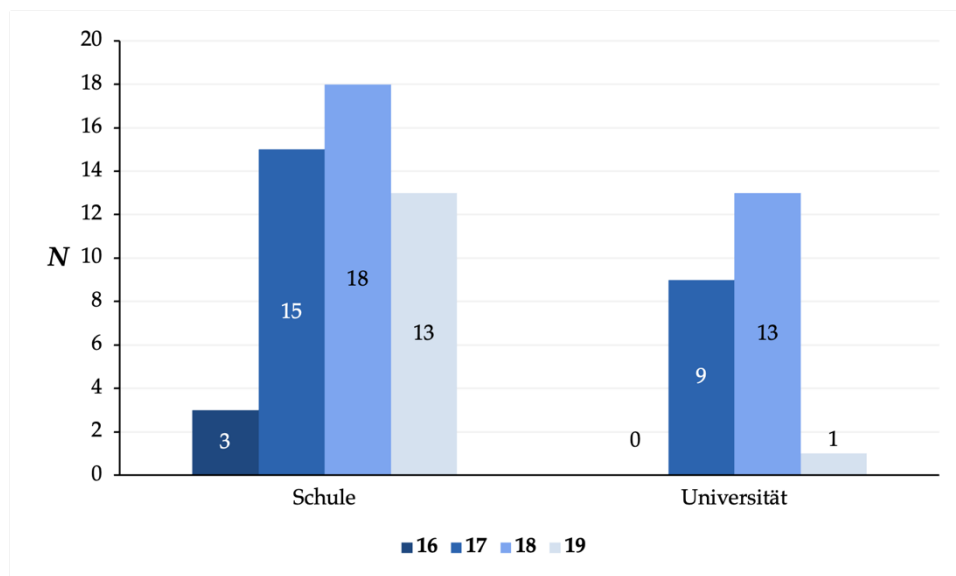


Abbildung 85: Altersverteilung in GLO2 in Abhängigkeit des Standortes.

In Bezug auf das Kurswahlverhalten haben 41 Schüler:innen das Fach Chemie auf erhöhtem Anforderungsniveau belegt. Die anderen Schüler:innen belegen das Fach Chemie als Prüfungsfach auf grundlegendem Niveau (5 Schüler:innen), als „Abdecker“ auf grundlegendem Niveau (6 Schüler:innen) oder als Seminarfach (13 Schüler:innen). 8 Schüler:innen belegen das Fach Chemie nicht mehr und haben im Rahmen von Projekten an der Intervention teilgenommen. Das Kurswahlverhalten in Abhängigkeit des Standortes (aufgeteilt als erhöhtes Anforderungsniveau und nicht-erhöhtes Anforderungsniveau) ist in Abbildung 86 dargestellt.

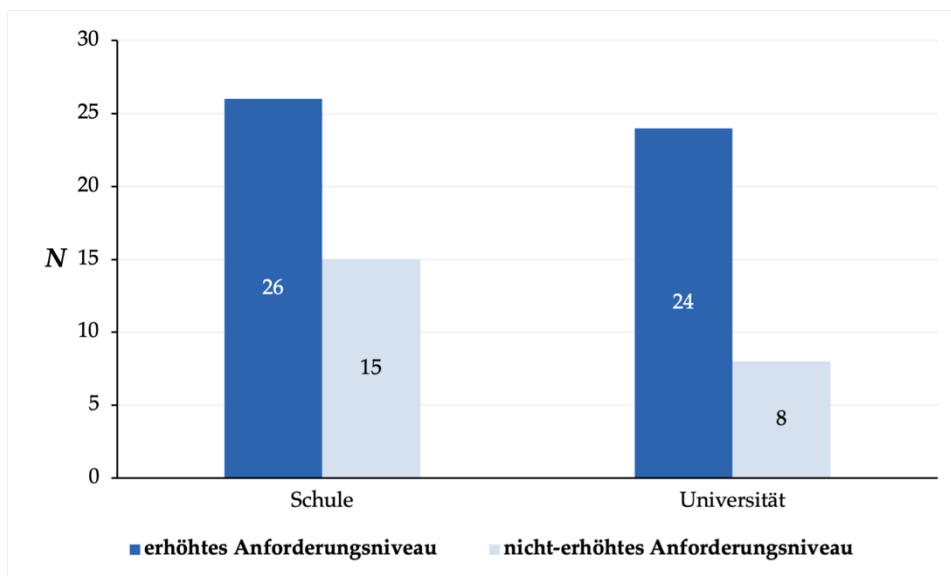


Abbildung 86: Kurswahlverhalten in GLO2 in Abhängigkeit des Standortes.

69 Schüler:innen ernähren sich omnivor, 3 Schüler:innen ernähren sich vegetarisch, ein:e Schüler:in vegan (Abbildung 87). Ausgehend von einer Verteilung von ca. 10 % vegetarisch lebenden Personen in Deutschland, kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Stichprobe in Bezug auf das Ernährungsverhalten querschnittartig verteilt ist. Eine Auswertung der Stichprobe in Bezug auf das Ernährungsverhalten als unabhängige Variable ist darüber hinaus aufgrund der geringen Stichprobe vegetarischer und veganer Personen nicht möglich.

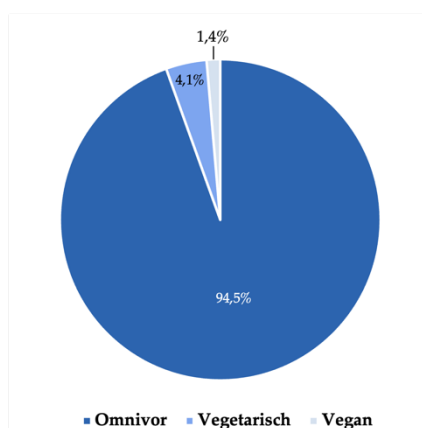


Abbildung 87: Ernährungsverhalten der Schüler:innen in GLO2.

4.4 Ergebnisse der Begleitstudie

Wie Tabelle 52 zeigt, ist die interne Konsistenz der Skalen mit Ausnahme des allgemeinen Umweltbewusstseins reliabel. Diese Grundannahme ermöglicht die Auswertung der Konstrukte ohne weitere Veränderung der Items.

4.4.1 Korrelationen zwischen einzelnen Konstrukten

Für die emotional-affektiven und die motivationalen Konstrukte wurde der Korrelationskoeffizient r nach Pearson berechnet. Für alle Konstrukte ergeben sich hochsignifikant positive Korrelationen ($p < 0,01$) in Bezug auf den Pretest. Ausnahmen gelten hier für die negativ konnotierten affektiven Konstrukte Frustration und Langeweile, die miteinander positiv, mit allen anderen Konstrukten allerdings negativ korrelieren ($p < 0,01$). Besonders hohe Korrelationen ergeben sich in den emotional-affektiven Konstrukten Freude, Frustration, Langeweile und Interessiertheit zueinander (Tabelle 53). Die Korrelationen zwischen den Konstrukten sind zu erwarten, da auch Budke und Wegner in den von ihnen durchgeführten Studien Korrelationen der dargestellten Skalen ermittelt haben (Budke, 2019; Wegner, 2008).

Tabelle 53: Korrelationen der Skalen zur Motivation und zur Emotion (Pretest), Angabe als Korrelationskoeffizient r nach Pearson. Signifikanzniveau ** entspricht $p < 0,01$.

	FI	SI	SK	FR	FT	LW	IN
SI	0,506**	(1)	0,622**	0,451**	-0,507**	-0,447**	0,515**
SK	0,716**		(1)	0,601**	-0,737**	-0,408**	0,401**
FR	0,574**			(1)	-0,793**	-0,629**	0,600**
FT	-0,609**				(1)	0,691**	-0,557**
LW	-0,479**					(1)	-0,694**
IN	0,389**						(1)

Korreliert wurden auch die Skalen zur Erhebung des Umweltbewusstseins. Auch hier ergeben sich hochsignifikante positive Korrelationen zwischen allen Skalen (Umweltaffekt, Umweltkognition, allgemeines Umweltverhalten, themenspezifisches Umweltverhalten) ($p < 0,01$) (Tabelle 54). Die ermittelten Korrelationen entsprechen den Ergebnissen der Umweltbewusstseinsstudie des UBA. Die Korrelationen zwischen Umweltaffekt und Umweltkognition sind höher als die Korrelationen zwischen Umweltaffekt bzw. Umweltkognition mit beiden Skalen zum Umweltverhalten (Umweltbundesamt, 2019). Die UBA hat Korrelationskoeffizienten von $r = 0,73$ für Umweltaffekt–Umweltkognition ermittelt, was der im Rahmen von GLO2 ermittelten Korrelation von $r = 0,802$ ** nahekommt. Die für die bivariaten Konstrukte Umweltaffekt–Umweltverhalten und Umweltkognition–Umweltverhalten von der UBA ermittelten Korrelationen von $r = 0,51$ bzw. $r = 0,48$ entsprechen näherungsweise gut den in GLO2 ermittelten Korrelationskoeffizienten von $r = 0,614$ ** bzw. $r = 0,528$ **.

Tabelle 54: Korrelationen der Skalen zum Umweltbewusstsein (Pretest), Angabe als Korrelationskoeffizient r nach Pearson. Signifikanzniveau ** entspricht $p < 0,01$.

	UA	UK	UV1	UV2
UK	0,802**	(1)	0,528**	0,643**
UV1	0,614**		(1)	0,776**
UV2	0,636**			(1)

Keine eindeutigen Korrelationen lassen sich hingegen zwischen den Konstrukten des Umweltbewusstseins und den Konstrukten der Motivation bzw. Emotion erkennen (Tabelle 55). Dies erscheint vor dem Hintergrund sinnvoll, dass ein Zusammenhang zwischen dem Umweltbewusstsein und den Emotionen bzw. der Motivation im Fach Chemie und den Naturwissenschaften nicht gegeben ist. Vereinzelt positive bzw. negative Korrelationen können aufgrund der kleinen Stichprobe zufällig sein oder aber auf ein bei den Schüler:innen ähnliches ausgeprägtes (positives) Wahlverhalten sowohl bei den emotionalen und motivationalen als auch den Konstrukten zum Umweltbewusstsein zurückzuführen sein. Auffällig ist weiterhin, dass das motivationale Konstrukt Fachinteresse (im Fach Chemie) nicht mit dem

Umweltbewusstsein der Schüler:innen korreliert, während sich für das Sachinteresse (der Naturwissenschaften) höhere Korrelationskoeffizienten ergeben.

Tabelle 55: Korrelationen zwischen Skalen zu Emotion und Motivation sowie den Skalen zum Umweltbewusstsein, Angabe als Korrelationskoeffizient r nach Pearson. Signifikanzniveau * entspricht $p < 0,05$; Signifikanzniveau ** entspricht $p < 0,01$.

	FI	SI	SK	FR	FT	LW	IN
UA	0,124	0,317**	0,176	0,384**	-0,313	-0,304**	0,419**
UK	0,077	0,314**	0,139	0,312**	-0,233*	-0,208	0,366**
UV1	0,181	0,284*	0,194	0,333**	-0,327**	-0,288*	0,322**
UV2	0,015	0,259*	0,083	0,265*	-0,184	-0,184	0,226

4.4.2 Überprüfung der Hypothesen

Im Folgenden werden die einzelnen Hypothesen, die in Kapitel 4.2 formuliert worden sind, anhand verschiedener statistischer Messmethoden überprüft. Dazu werden zunächst die motivationalen Konstrukte Fachinteresse, Sachinteresse und das Fähigkeitsselbstkonzept anhand der zugehörigen Skalen erhoben, anschließend werden die emotional-affektiven Konstrukte Freude, Frustration, Langeweile und Interesse sowie das Umweltbewusstsein mit den Konstrukten Umweltaffekt, Umweltkognition, allgemeines Umweltverhalten und themenspezifisches Umweltverhalten überprüft. Ebenso wird die Akzeptanzbewertung bezüglich des Standortes geprüft. Zur Bestimmung werden die zuvor vorgestellten Messmethoden t -Test (bei abhängigen Stichproben) und mehrfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA mit Messwiederholung) angewendet. Zu jedem Konstrukt werden die für die Skalen zuvor erhobenen Reliabilitäten, sowie Randbedingungen für die Messungen dargestellt.

Fachinteresse

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 56: Reliabilitätsanalyse für die Skala Fachinteresse nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Fachinteresse	3	0,802	0,766	0,741

Die Reliabilitätsanalyse zeigt akzeptable bzw. gute interne Konsistenzen für die Skala zum Fachinteresse in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass alle der Skala zugrundeliegenden Items für die Auswertung berücksichtigt worden sind (Tabelle 56). Die Items der Skala sind in Tabelle 57 dargestellt.

Tabelle 57: Items zur Erhebung des Fachinteresses in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
FI_01	Im Chemieunterricht fühle ich mich wohl.	Im Chemieunterricht fühle ich mich wohl.	Im Chemieunterricht fühle ich mich wohl.
FI_02	Der Chemieunterricht macht mir Spaß.	Der Chemieunterricht macht mir Spaß.	Der Chemieunterricht macht mir Spaß.
FI_03	Sobald ich den Chemieraum betrete, fühle ich mich unwohl.*	Sobald ich den Chemieraum betrete, fühle ich mich unwohl.*	Sobald ich den Chemieraum betrete, fühle ich mich unwohl.*

Ergebnisse zum Fachinteresse:

Für das Fachinteresse kann eine quasi-Normalverteilung angenommen werden (Shapiro-Wilks: $p = 0,069$). Ebenso werden die Varianzhomogenität und Sphärizität nicht verletzt. Die Schüler:innen zeigen recht hohe Skalenmittelwerte in Bezug auf das Fachinteresse ($M_{\text{pre}} = 4,86$; $M_{\text{post}} = 4,71$ und $M_{\text{followup}} = 4,75$). Am Interventionsort Schule zeigen die Schüler:innen im Vor- und Follow-Up-Test leicht höhere Einstellungen zum Fachinteresse als am Interventionsort Universität (Tabelle 58).

Tabelle 58: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	73	4,86	0,87	4,71	0,80	4,75	0,78
Schule	50	4,89	0,83	4,71	0,79	4,80	0,74
Universität	23	4,80	0,97	4,71	0,84	4,65	0,87

Es zeigt sich kein signifikanter Haupteffekt in Bezug auf den Erhebungszeitpunkt ($F(2.142) = 1,517$; $p = 0,223$; $\eta^2 = 0,021$), sodass für die Intervention nur ein kleiner Einfluss auf das dispositionale Fachinteresse festgestellt werden kann. Ebenfalls liegt für den Interventionsort kein signifikanter Einfluss auf das Fachinteresse vor ($F(1.1.588) = 0,186$; $p = 0,667$; $\eta^2 = 0,003$). Aufgrund des Einflusses des Interventionsortes auf die Effektstärke kann angenommen werden, dass dieser nahezu keinen Einfluss auf das dispositionale Fachinteresse aufweist. Ebenfalls zeigt die Interaktion zwischen Erhebungszeitpunkt und Interventionsort (Erhebungszeitpunkt*Interventionsort) keinen signifikanten Einfluss auf das Fachinteresse der Schüler:innen ($F(2.142) = 0,412$; $p = 0,663$; $\eta^2 = 0,006$). Es kann daher angenommen werden, dass der Standort das Fachinteresse der Schüler:innen in Bezug auf Pre-, Post- und Follow-Up-Test nicht unterschiedlich stark beeinflusst. Das Fachinteresse in Abhängigkeit von Erhebungszeitpunkt und Interventionsort ist in Abbildung 88 dargestellt.

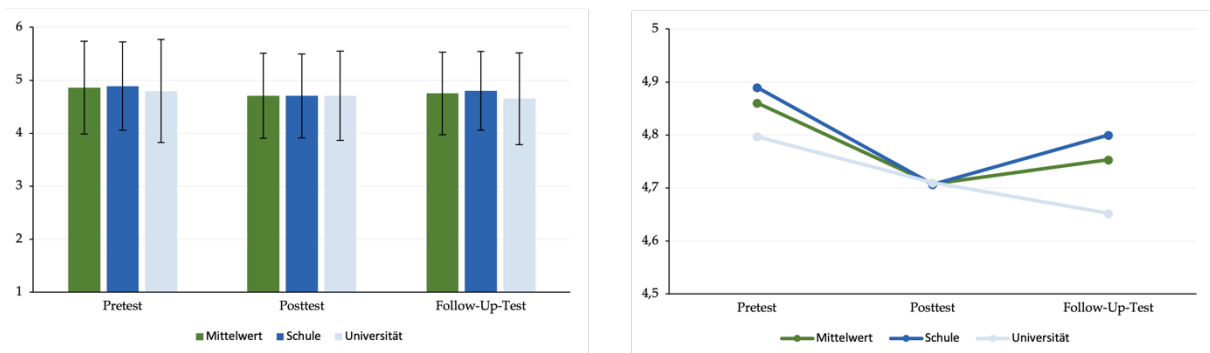


Abbildung 88: Fachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Die Schüler zeigen im Vorfeld der Erhebung ein leicht höheres Fachinteresse als die Schülerinnen ($M_{pre,m} = 5,02$; $M_{pre,w} = 4,70$). Unmittelbar nach der Intervention sinkt das Fachinteresse der Schüler, während das Fachinteresse der Schülerinnen konstant bleibt ($M_{post,m} = 4,72$; $M_{post,w} = 4,70$). Im Anschluss steigt das Fachinteresse der Schüler wieder an ($M_{followup,m} = 4,85$; $M_{followup,w} = 4,66$) (Tabelle 59). Der kleine Effekt des Geschlechtes auf das Fachinteresse ist allerdings nicht signifikant ($F(1.71) = 1,109$; $p = 0,296$; $\eta^2 = 0,015$). Das Fachinteresse in Abhängigkeit von Erhebungszeitpunkt und Geschlecht ist in Abbildung 89 dargestellt.

Tabelle 59: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	73	4,86	0,87	4,71	0,80	4,75	0,78
Weiblich	36	4,70	0,98	4,70	0,89	4,66	0,89
Männlich	37	5,02	0,74	4,72	0,74	4,85	0,65

Das Fachinteresse in Abhängigkeit von Interventionsort und Geschlecht ist in Abbildung 89 dargestellt.

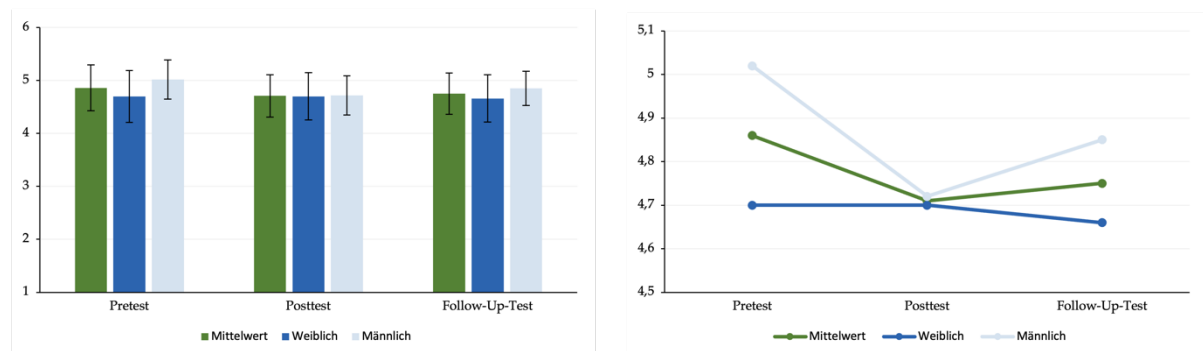


Abbildung 89: Fachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Neben dem Interventionsort und Geschlecht wurde die Abhängigkeit des Fachinteresses vom Kurswahlverhalten der Schüler:innen untersucht. Dazu wurde die Kurswahl der Schüler:innen im Fach Chemie in die beiden Ausprägungen erhöhtes Anforderungsniveau und nicht erhöhtes Anforderungsniveau (grundlegendes Anforderungsniveau als Prüfungsfach, grundlegendes Anforderungsniveau ohne Prüfungsfach, Seminarfach, Chemie nicht belegt) unterteilt. Die Schüler:innen, die das Fach Chemie auf erhöhtem Anforderungsniveau gewählt haben, zeigen ein grundsätzlich höheres Fachinteresse am Fach Chemie als die Schüler:innen, die das Fach Chemie nicht auf erhöhtem Anforderungsniveau belegt haben (Tabelle 60). Der Einfluss des Kurswahlverhaltens auf das Fachinteresse zeigt einen signifikanten, mittleren Effekt ($F(1,68) = 4,864$; $p = 0,031$; $\eta^2 = 0,067$).

Tabelle 60: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Kurswahlverhaltens.

Kurswahl	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	70	4,85	0,88	4,67	0,80	4,75	0,77
Erhöhtes Anforderungsniveau	41	5,01	0,65	4,84	0,66	4,89	0,58
Nicht erhöhtes Anforderungsniveau	29	4,61	1,01	4,44	0,92	4,55	0,77

Das Fachinteresse in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Kurswahlverhalten ist in Abbildung 90 dargestellt.

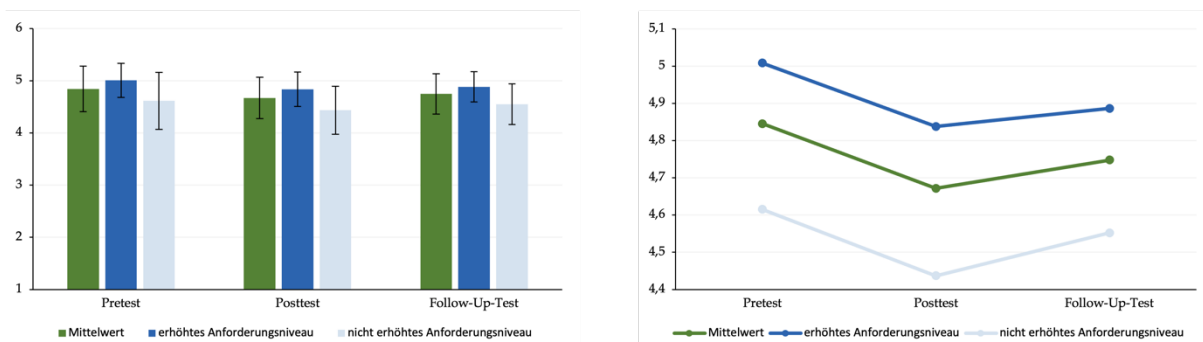


Abbildung 90: Fachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Kurswahlverhalten und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Die Ergebnisse sind vergleichbar zur Änderung des Fachinteresses in der GLO1-Studie. Budke stellte für GLO1 fest, dass das Fachinteresse durch die Intervention nicht signifikant beeinflusst wird (Budke, 2019) und konnte ebenfalls keine signifikanten Einflüsse des Interventionsortes und des Geschlechtes auf das dispositionale Fachinteresse ausmachen. Dies deckt sich mit den Befunden von Brandt, der in seiner Studie zu stationären Schülerlaboren beschrieben hat, dass das dispositionale Fachinteresse durch Kurzinterventionen wie Schülerlabortage nicht oder nicht wesentlich beeinflusst werden kann (Brandt, 2005). Das unmittelbar nach der Intervention leicht gesunkene Fachinteresse im Vergleich zum Pre- und Follow-Up-Test kann anhand des Hypothesen und Befunde nicht näher erklärt werden. Es kann anhand der Signifikanzen und sehr geringen Effektstärken antizipiert werden, dass die Effekte zufällig auftreten, bzw. nicht von den untersuchten Einflüssen abhängig sind.

Sachinteresse

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 61: Reliabilitätsanalyse für die Skala Sachinteresse nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Sachinteresse	6	0,749	0,817	0,827

Die Reliabilitätsanalyse zeigt akzeptable bzw. gute interne Konsistenzen für die Skala zum Sachinteresse in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass für die Auswertung alle der Skala zugrundeliegenden Items berücksichtigt worden sind (Tabelle 61). Die Items der Skala sind in Tabelle 62 dargestellt.

Tabelle 62: Items zur Erhebung des Sachinteresses in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
SI_01	Experimente durchzuführen, macht mir einfach Spaß.	Experimente durchzuführen, macht mir einfach Spaß.	Experimente durchzuführen, macht mir einfach Spaß.
SI_02	Ich finde es wichtig, mich mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen auseinanderzusetzen.	Ich finde es wichtig, mich mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen auseinanderzusetzen.	Ich finde es wichtig, mich mit naturwissenschaftlichen Fragestellungen auseinanderzusetzen.
SI_03	Naturwissenschaften bringen mir Spaß.	Naturwissenschaften bringen mir Spaß.	Naturwissenschaften bringen mir Spaß.
SI_04	Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigen Dingen.	Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigen Dingen.	Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigen Dingen.
SI_05	Wenn ich an einem Experiment sitze, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.	Wenn ich an einem Experiment sitze, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.	Wenn ich an einem Experiment sitze, kann es passieren, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.
SI_06	Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.	Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.	Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.

Ergebnisse zum Sachinteresse:

In Bezug auf die Skalen zum Sachinteresse ergeben sich eine gute Näherung der Normalverteilung und gute Varianzhomogenitäten nach Levene. Die Sphärizität nach Mauchly ergibt für das Sachinteresse in Abhängigkeit des Interventionsortes, des Geschlechtes und des Kurswahlverhaltens Signifikanzen von $p = 0,016$; $p = 0,017$ bzw. $p = 0,011$, sodass die vorliegenden Werte Greenhouse-Geisser korrigiert worden sind. Ähnlich wie das Fachinteresse ist das Sachinteresse über alle drei Erhebungszeitpunkte im Mittel als hoch anzusehen. Das Sachinteresse sinkt im Laufe der Erhebungszeitraums vom Pre- zum Posttest ($d = 0,08$) und vom Post- zum Follow-Up-Test ($d = 0,04$) leicht ab (Tabelle 63). Dieser kleine Effekt ist allerdings nicht signifikant ($F(1,800.127,800) = 2,419$; $p = 0,099$; $\eta^2 = 0,033$). In Bezug auf den Interventionsort zeigen sich für den Standort Schule höhere Mittelwerte als für die Universität. Während an der Schule ein kontinuierliches, leichtes Absinken des Sachinteresses feststellbar ist, sinkt das Sachinteresse am Standort Universität zunächst leicht und steigt dann wieder an (Tabelle 63). Die Unterschiede zwischen den Standorten sind allerdings nicht signifikant ($F(1,71) = 2,569$; $p = 0,113$; $\eta^2 = 0,035$). Die Betrachtung des Faktorenproduktes Erhebungszeitpunkt*Standort für das Sachinteresse zeigt ebenfalls keine signifikanten Effekte, sodass angenommen werden kann, dass das Sachinteresse über den Erhebungszeitraum hinweg durch den Standort nicht unterschiedlich stark beeinflusst wird ($F(1,800.127,800) = 0,314$; $p = 0,708$; $\eta^2 = 0,004$).

Tabelle 63: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Sachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	73	4,59	0,65	4,51	0,72	4,48	0,81
Schule	50	4,67	0,65	4,61	0,69	4,56	0,78
Universität	23	4,43	0,64	4,29	0,75	4,30	0,87

Das Sachinteresse in Abhängigkeit von Erhebungszeitpunkt und Interventionsort ist in Abbildung 91 dargestellt.

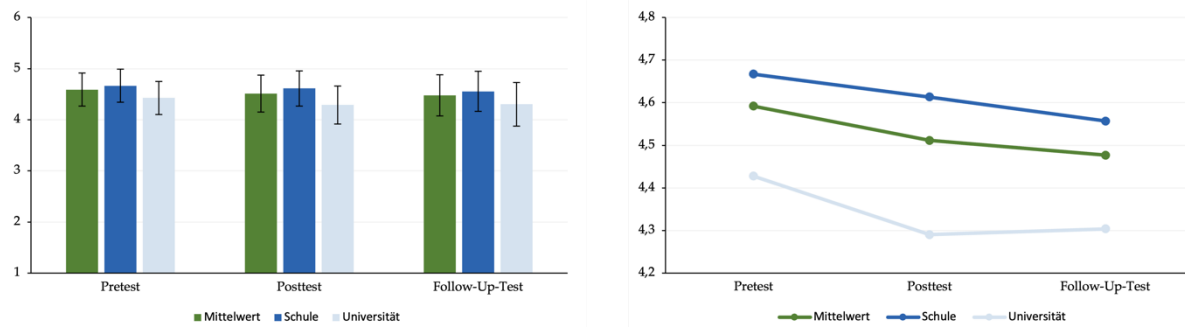


Abbildung 91: Sachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Bei Betrachtung der Geschlechter zeigt sich, dass das Sachinteresse über den Erhebungszeitraum hinweg sowohl bei den Schülern als auch bei den Schülerinnen leicht absinkt (Tabelle 64). Dieser kleine Effekt ist allerdings ebenfalls nicht signifikant ($F(1,801.127,893) = 2,478$; $p = 0,094$; $\eta^2 = 0,034$). Das Geschlecht selbst hat als Zwischensubjektfaktor keinen signifikanten Einfluss auf das Sachinteresse der Schüler:innen ($F(1,71) = 0,227$; $p = 0,635$; $\eta^2 = 0,003$). Dementsprechend ergibt sich für den Einfluss des Geschlechtes auf die Änderung des Sachinteresses über den Erhebungszeitraum hinweg ebenfalls kein messbarer Effekt ($F(1,801.127,893) = 0,071$; $p = 0,915$; $\eta^2 = 0,001$).

Tabelle 64: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Sachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	73	4,59	0,65	4,51	0,72	4,48	0,81
Weiblich	36	4,62	0,60	4,56	0,63	4,52	0,88
Männlich	27	4,56	0,70	4,46	0,80	4,44	0,75

Das Sachinteresse in Abhängigkeit des Erhebungszeitpunktes und des Geschlechtes ist in Abbildung 92 dargestellt.

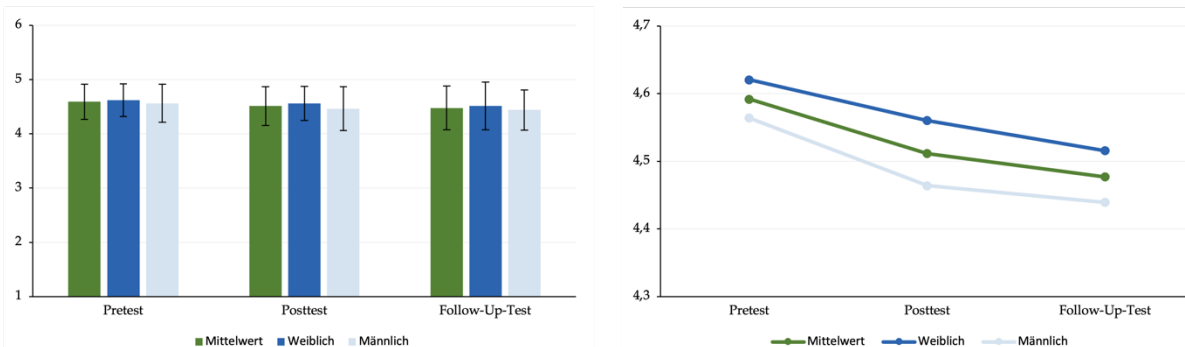


Abbildung 92: Sachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Wird die Stichprobe entsprechend des Kurswahlverhaltens aufgeteilt, zeigt sich für das erhöhte Anforderungsniveau ein leichtes Absinken des Sachinteresses im Posttest, während das Sachinteresse der Schüler:innen, die Chemie nicht auf erhöhtem Anforderungsniveau belegen, leicht, aber kontinuierlich sinkt (Tabelle 65). Dieser leichte Haupteffekt ist allerdings nicht signifikant ($F(1,776.120,781) = 3,115$; $p = 0,054$; $\eta^2 = 0,044$). Ein signifikanter Zwischensubjekteffekt zeigt sich hingegen beim Vergleich der beiden Gruppen. So zeigen die Schüler:innen, die Chemie auf erhöhtem Anforderungsniveau belegt haben, ein signifikant höheres Sachinteresse an den Naturwissenschaften als Schüler:innen, die das Fach Chemie nicht auf erhöhtem Anforderungsniveau belegt haben ($F(1,68) = 7,831$; $p = 0,007$;

$\eta^2 = 0,103$). Ein Interaktionseffekt des Kurswahlverhaltens auf die Änderung des Sachinteresses über die Zeit kann jedoch nicht angenommen werden ($F(1,776.120,781) = 1,680$; $p = 0,194$; $\eta^2 = 0,024$).

Tabelle 65: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Sachinteresse der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Kurswahlverhaltens.

Kurswahl	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	70	4,58	0,65	4,48	0,72	4,47	0,82
Erhöhtes Anforderungsniveau	41	4,74	0,58	4,65	0,66	4,70	0,63
Nicht erhöhtes Anforderungsniveau	29	4,36	0,69	4,25	0,72	4,15	0,95

Das Sachinteresse in Abhängigkeit des Erhebungszeitpunktes und des Kurswahlverhaltens ist in Abbildung 93 dargestellt.

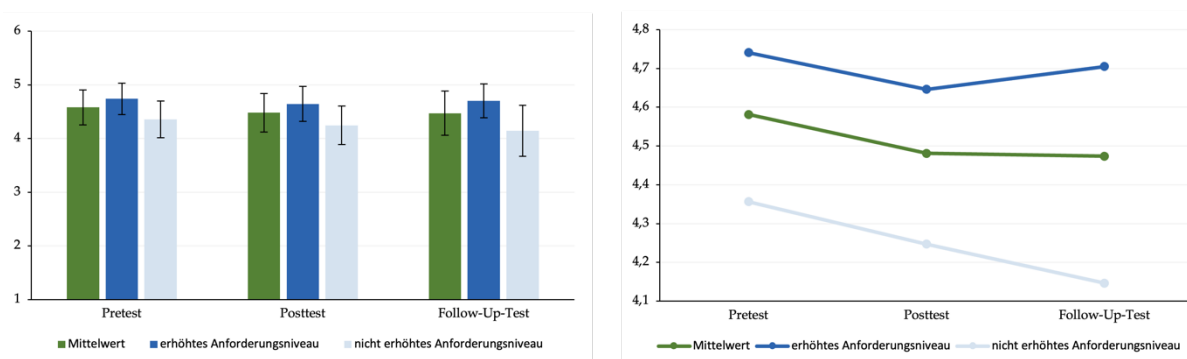


Abbildung 93: Sachinteresse der Schüler:innen getrennt nach Kurswahlverhalten und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Die Analyse der Daten zeigt zum Teil Unterschiede zu den Ergebnissen von Budke. Dieser stellte in GLO1 signifikante Einflüsse des Interventionsortes auf das Sachinteresse fest und konnte einen Haupteffekt eines absinkenden Sachinteresses feststellen (Budke, 2019). In GLO2 zeigt sich hingegen weder ein Haupteffekt noch ein Standorteffekt in Bezug auf das Sachinteresse, wengleich dieses am Standort Schule generell leicht höher liegt als am Standort Universität. Signifikante Unterschiede treten in GLO2 nur in der Betrachtung des Kurswahlverhaltens auf, was den Ergebnissen von Bergmann entspricht (Bergmann, 2020).

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothese:

Die Betrachtung des Interesses für das Fach Chemie und des Sachinteresses für Naturwissenschaften der Schüler:innen in GLO2 zeigt grundsätzlich ähnliche Ergebnisse. So lassen sich leicht sinkende Interessenshaltungen der gesamten Stichprobe im Laufe des Erhebungszeitraumes feststellen, wengleich diese Effekte nicht signifikant sind. Es ist davon auszugehen, dass diese Haupteffekte allerdings zufällig, fehlerhaft oder von anderen, nicht erhobenen Faktoren abhängig sind. Da das Fach- und Sachinteresse dispositionale Interessenshaltungen sind, die bei Individuen als starr zu betrachten sind, entsprechen die Ergebnisse den Erwartungen. Ein nahezu unverändertes Fach- und Sachinteresse zeigte in der Untersuchung von Schülerlaboren zuvor beispielsweise bereits Engeln (Engeln, 2004). Die zuvor gebildete Hypothese I-H1 kann daher angenommen werden.

I-H1: Die Intervention ist nicht in der Lage, das dispositionale Fach- oder Sachinteresse der Schüler:innen kurz- oder mittelfristig zu beeinflussen.

Ebenfalls beeinflussen der Interventionsort und das Geschlecht das Fach- und Sachinteresse innerhalb von GLO2 nicht signifikant. Bergmann stellte in seiner Erhebung fest, dass das Geschlecht einen signifikanten Einfluss auf das Fach- und Sachinteresse aufweist. Er konnte erheben, dass Schüler höhere dispositionale Interessen in den Naturwissenschaften aufweisen als Schülerinnen (Bergmann, 2020). In diesem Zusammenhang muss berücksichtigt werden, dass die Erhebung von Bergmann für die Sekundarstufe I durchgeführt worden ist. In der Sekundarstufe II kann von einem durchschnittlich allgemein

höheren Fach- und Sachinteresse für das Fach Chemie und die Naturwissenschaften ausgegangen werden, da die Schüler:innen durch ihre Kurswahlentscheidung das Fach Chemie nicht belegen müssen. Da die Stichprobe von GLO2 nahezu ausschließlich aus Chemie-Kursen und Chemie-Seminarfächern besteht, kann das vergleichsweise hohe Fach- und Sachinteresse anhand der Kurswahlentscheidung erklärt werden. Ein ausbleibender Zwischensubjekteffekt des Geschlechtes auf das dispositionale Fach- und Sachinteresse kann auf diesem Wege erklärt werden. Die Hypothese I-H2 kann daher nicht angenommen werden.

I-H2: Schüler der Sekundarstufe II zeigen ein höheres dispositionales Fach- und Sachinteresse im Fach Chemie als Schülerinnen der Sekundarstufe II.

Wie zuvor erwähnt, ist davon auszugehen, dass das Kurswahlverhalten einen Einfluss auf Fachinteresse am Fach Chemie und das Sachinteresse in den Naturwissenschaften hat. Die an GLO2 partizipierenden Schüler:innen haben zum Großteil (41 Schüler:innen) das Fach Chemie auf erhöhtem Anforderungsniveau belegt. Auch in Bezug auf die Studie von Bergmann ist davon auszugehen, dass mit einer Wahl des Faches Chemie auf erhöhtem Anforderungsniveau ein höheres Interesse am Fach Chemie und möglicherweise auch ein höheres Sachinteresse an den Naturwissenschaften einhergeht (Bergmann, 2020). Im Rahmen von GLO2 konnte dieser Zwischensubjekteffekt bestätigt werden, da die Schüler:innen, die das Fach Chemie auf erhöhtem Anforderungsniveau belegt haben, ein signifikant höheres Fach- und Sachinteresse aufweisen als die Schüler:innen, die das Fach Chemie nicht auf erhöhtem Anforderungsniveau belegt haben. Die Hypothese I-H3 kann daher angenommen werden.

I-H3: Das Fach- und Sachinteresse von Schüler:innen im erhöhten Anforderungsniveau ist höher als von Schüler:innen auf nicht erhöhtem Anforderungsniveau.

Fähigkeitsselbstkonzept

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 66: Reliabilitätsanalyse für die Skala Fähigkeitsselbstkonzept nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Fähigkeitsselbstkonzept	5	0,823	0,878	0,885

Die Reliabilitätsanalyse zeigt akzeptable bzw. gute interne Konsistenzen für die Skala zum Fähigkeitsselbstkonzept in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass für die Auswertung alle der Skala zugrundeliegenden Items berücksichtigt worden sind (Tabelle 66). Die Items der Skala sind in Tabelle 67 dargestellt.

Tabelle 67: Items zur Erhebung des Fähigkeitsselbstkonzeptes in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
SK_01	Chemische Themen zu lernen fällt mir leicht.	Chemische Themen zu lernen fällt mir leicht.	Chemische Themen zu lernen fällt mir leicht.
SK_02	Kein Mensch kann alles. Für Chemie habe ich einfach keine Begabung.*	Kein Mensch kann alles. Für Chemie habe ich einfach keine Begabung.*	Kein Mensch kann alles. Für Chemie habe ich einfach keine Begabung.*
SK_03	Bei manchen chemischen Inhalten weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie“.*	Bei manchen chemischen Inhalten weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie“.*	Bei manchen chemischen Inhalten weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie“.*
SK_04	Für das Durchführen von chemischen Inhalten habe ich einfach kein Händchen.*	Für das Durchführen von chemischen Inhalten habe ich einfach kein Händchen.*	Für das Durchführen von chemischen Inhalten habe ich einfach kein Händchen.*
SK_05	Ich traue mir in Chemie einiges zu.	Ich traue mir in Chemie einiges zu.	Ich traue mir in Chemie einiges zu.

Ergebnisse zum Fähigkeitsselbstkonzept:

Für das Konstrukt Fähigkeitsselbstkonzept kann eine quasi-Normalverteilung angenommen werden (Shapiro-Wilks: $p = 0,053$). Die Varianzhomogenität und Sphärizität sind ebenfalls nicht verletzt. Das Fähigkeitsselbstkonzept zeigt einen signifikanten Haupteffekt im Innersubjektfaktor Erhebungszeitpunkt ($F(2,142) = 4,153$; $p = 0,018$; $\eta^2 = 0,055$). Durch die Intervention ist im Posttest ein Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzeptes sowohl am Interventionsort Schule als auch an der Universität festzustellen ($t_{\text{Schule}}(49) = -1,959$; $p = 0,056$ | $t_{\text{Universität}}(22) = -2,435$; $p = 0,023$). Der Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzeptes ist daher für den Standort Universität im Gegensatz zum Standort Schule signifikant. Der Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzeptes für beide Interventionsorte von Pre- zu Posttest ($d_{\text{pre/post}} = 0,13$) kann als signifikant betrachtet werden ($t(72) = -3,057$; $p = 0,003$). Während das Fähigkeitsselbstkonzept an der Schule auch im Follow-Up-Test weiter ansteigt, lässt sich für die Universität ein wieder sinkendes Fähigkeitsselbstkonzept erkennen (Tabelle 68). Das im Mittel beider Interventionsorte wieder leicht absinkende Fähigkeitsselbstkonzept ist jedoch nicht signifikant ($t(72) = 0,475$; $p = 0,636$). Der Zwischen-subjektfaktor Interventionsort zeigt einen kleinen, nicht signifikanten Einfluss auf das Fähigkeitsselbstkonzept ($F(1,71) = 1,439$; $p = 0,234$; $\eta^2 = 0,020$), wengleich sich am Interventionsort Schule ein generell höheres Fähigkeitsselbstkonzept als am Interventionsort Universität erkennen lässt. Ebenfalls zeigt der Einfluss des Standortes auf die Änderung des Fähigkeitsselbstkonzeptes einen kleinen, nicht signifikanten Einfluss, was am Rezidiv des Skalenmittelwertes des Ortes Universität im Vergleich zum weiteren Anstieg des Skalenmittelwertes am Standort Schule zu erkennen ist ($F(2,142) = 1,958$; $p = 0,145$; $\eta^2 = 0,027$).

Tabelle 68: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	73	4,39	0,84	4,52	0,86	4,49	0,94
Schule	50	4,47	0,84	4,56	0,85	4,60	0,89
Universität	23	4,21	0,82	4,42	0,88	4,25	1,02

Das Fähigkeitsselbstkonzept in Abhängigkeit des Erhebungszeitpunktes und des Standortes ist in Abbildung 94 dargestellt.

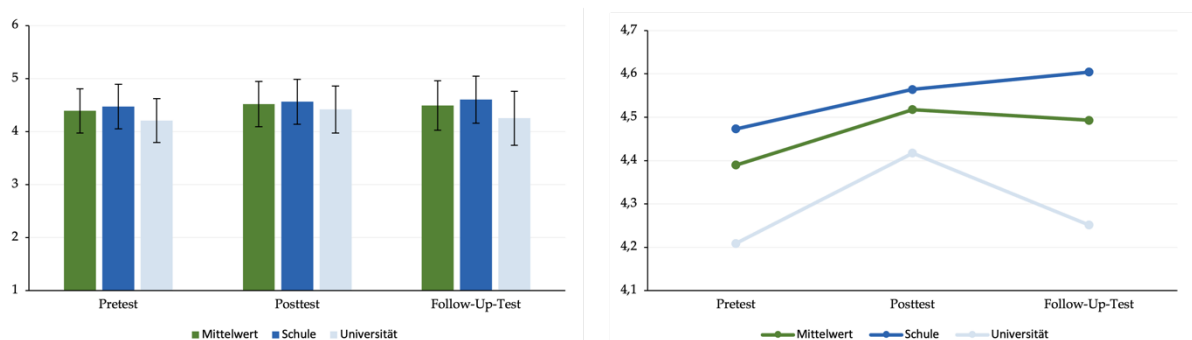


Abbildung 94: Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Nach Aufteilung der Stichprobe anhand des Geschlechtes ist erkennbar, dass das Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler im Mittel höhere Werte annimmt als das Fähigkeitsselbstkonzept der Schülerinnen (Tabelle 69). In Bezug auf den Pretest ist dieser Unterschied zwischen den Geschlechtern signifikant ($t(71) = -2,007$; $p = 0,049$). Die Schüler, die an GLO2 teilgenommen haben, weisen daher vor der Intervention ein signifikant höheres Fähigkeitsselbstkonzept als die Schülerinnen auf. Über den gesamten Erhebungszeitraum ist ein Geschlechterunterschied im Fähigkeitsselbstkonzept anhand des Eta-Quadrates messbar, allerdings nicht signifikant ($F(1,71) = 3,135$; $p = 0,081$; $\eta^2 = 0,042$). Das Fähigkeitsselbstkonzept der Schülerinnen nimmt durch die Intervention vom Pre- zum Posttest stärker zu als das Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler ($d_{\text{pre/post,w}} = 0,19$; $d_{\text{pre/post,m}} = 0,07$). Während das Fähigkeitsselbstkonzept bei den Schülerinnen kurzzeitig signifikant ansteigt ($t(35) = -2,814$; $p = 0,008$), ist dieser Effekt bei den Schülern nicht signifikant ($t(36) = -1,387$; $p = 0,174$). Dieser Unterschied zwischen den

Geschlechtern in Bezug auf die Mittelwertsentwicklung zwischen Pre- und Posttest ist allerdings nicht signifikant ($F(1,71) = 2,893$; $p = 0,093$; $\eta^2 = 0,039$). Ein Unterschied der Änderung des Fähigkeitsselbstkonzeptes zwischen den Geschlechtern kann daher nicht eindeutig angenommen werden.

Tabelle 69: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	73	4,39	0,84	4,52	0,86	4,49	0,94
Weiblich	36	4,19	0,89	4,38	0,91	4,30	1,00
Männlich	27	4,58	0,74	4,65	0,79	4,68	0,84

Das Fähigkeitsselbstkonzept in Abhängigkeit des Erhebungszeitpunktes und des Geschlechtes ist in Abbildung 95 dargestellt.

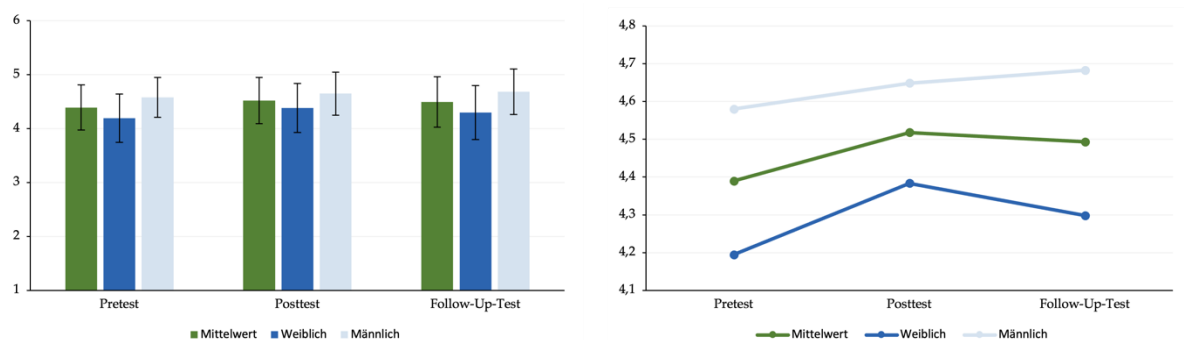


Abbildung 95: Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothese:

Das Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen in GLO2 steigt durch die Intervention signifikant an. Ein besonders starker Effekt lässt sich durch die Intervention vom Pre- zum Posttest erkennen, sodass der Einfluss der Intervention vor allem kurzzeitige Auswirkungen zeigt. Im Anschluss bleibt das Konstrukt im Mittel nahezu stabil, während sich allerdings für die Zwischensubjektfaktoren Interventionsort bzw. Geschlecht Unterschiede ergeben. Die Interventionsgruppe Schule zeigt auch nach der Intervention hohe Werte des Fähigkeitsselbstkonzeptes, während dieses in der Interventionsgruppe Universität wieder leicht zurückgeht. Die Zunahme des Fähigkeitsselbstkonzeptes ist am Interventionsort Universität von Pre- zu Posttest signifikant, am Standort Schule zeigt sich knapp keine Signifikanz. In Betrachtung der Geschlechter zeigen die Schüler ein konstant steigendes Fähigkeitsselbstkonzept, während das Fähigkeitsselbstkonzept der Schülerinnen mittelfristig wieder rückläufig ist. Die Effekte der jeweiligen Interventionsgruppen sind allerdings nicht signifikant. Aufgrund der gemessenen Effekte kann die Hypothese FS-H1 angenommen werden: Das Fähigkeitsselbstkonzept steigt durch die Intervention kurzzeitig hochsignifikant stark an.

FS-H1: Die Intervention fördert kurzzeitig das chemische Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler:innen.

Ebenso lassen sich, wie zuvor beschrieben, Unterschiede hinsichtlich der Schülerinnen und Schüler in Bezug auf das Fähigkeitsselbstkonzept feststellen. Da diese Unterschiede zwar messbar, aber nicht signifikant sind, kann die Hypothese FS-H2 nur eingeschränkt angenommen werden. Da eine signifikante Annahme der Hypothese bei ausreichender statistischer Sicherheit wahrscheinlich ist, empfiehlt es sich, die Intervention mit einer größeren Stichprobe erneut durchzuführen.

FS-H2: Bei der Änderung des chemischen Fähigkeitsselbstkonzeptes durch die Intervention lassen sich Unterschiede zwischen den Geschlechtern feststellen.

In der GLO1-Studie konnte Budke ebenfalls eine signifikante Änderung des Fähigkeitsselbstkonzeptes feststellen, die allerdings nur für den Interventionsort Schule gilt. Eine signifikante Änderung am Standort Universität konnte nicht festgestellt werden. Damit ergibt sich eine Inversion der Ergebnisse in Bezug auf den Standort im Vergleich von GLO1 zu GLO2: Während in GLO1 eine signifikante Änderung des Konstruktes nur in der Schule feststellbar war, ist dieser Effekt in GLO2 nur an der Universität messbar. Berücksichtigt werden muss in diesem Zusammenhang, dass der Effekt am Standort Schule in GLO2 nur knapp nicht signifikant ist ($p = 0,056$). Mögliche Interpretationen des Ergebnisses sollten also erneut überprüft werden. Gründe für die Umkehrung dieses Effektes können im Alter der Schüler:innen begründet liegen. Während bei Schüler:innen der Sekundarstufe I hohe Effekte dann zu vermuten sind, wenn eine hohe Verbundenheit der Intervention zum gewohnten Lernort (zumeist die Schule) gegeben ist, kann angenommen werden, dass bei Schüler:innen der Sekundarstufe II Effekte wie eine baldige Begegnung mit dem möglichen Lernort Universität überwiegen. Diese Kongruenz zwischen Lern- und Interventionsort könnte folglich bei jüngeren Schüler:innen stärker ausgeprägt sein, was einen möglichen Effekt erklärt (Bower, 1981). Weitere Effekte sollten demnach in den emotional-affektiven Konstrukten und der Akzeptanzbewertung feststellbar sein.

Freude

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 70: Reliabilitätsanalyse für die Skala Freude nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Freude	4	0,914	0,841	0,933

Die Reliabilitätsanalyse zeigt gute interne Konsistenzen für die Skala zum emotionalen Konstrukt Freude in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass für die Auswertung alle der Skala zugrundeliegenden Items berücksichtigt worden sind (Tabelle 70). Die Items der Skala sind in Tabelle 71 dargestellt. Da das Konstrukt Freude eine situative Eigenschaft beschreibt, wurden die Items für den Posttest entsprechend angepasst.

Tabelle 71: Items zur Erhebung der Freude in Pre-, Post- und Follow-Up-Test

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
V/N/F_FR_01 ¹	Die letzten Stunden in Chemie haben mir sehr viel Spaß gemacht.	Der Labortag „Es geht um die Wurst“ hat mir Spaß gemacht.	Die letzten Stunden in Chemie haben mir sehr viel Spaß gemacht.
V/N/F_FR_02	Durch die letzte Chemiestunde freue ich mich richtig auf die kommende Stunde.	Durch die Teilnahme am Labortag freue ich mich richtig auf die kommende Stunde.	Durch die letzte Chemiestunde freue ich mich richtig auf die kommende Stunde.
V/N/F_FR_03	Der Chemieunterricht der letzten Stunden hat mich sehr begeistert.	Der Labortag hat mich begeistert.	Der Chemieunterricht der letzten Stunden hat mich sehr begeistert.
V/N/F_FR_04	In den letzten Unterrichtsstunden des Faches Chemie fühlte ich mich glücklich und zufrieden.	Bei der Teilnahme am Labortag fühlte ich mich glücklich und zufrieden.	In den letzten Unterrichtsstunden des Faches Chemie fühlte ich mich glücklich und zufrieden.

¹Da die Items für Pre-, Post- und Follow-Up-Test divergieren, wurde im Datenblatt der jeweilige Erhebungszeitpunkt mit V (Vor-/Pretest), N (Nach-/Posttest) oder F (Follow-Up-Test) codiert.

Ergebnisse zur Freude:

Für das Konstrukt Freude kann eine Normalverteilung der Stichprobe angenommen werden (Shapiro-Wilks: $p = 0,743$). Ebenso kann entsprechend des Levene-Tests Varianzhomogenität und des Mauchly-Tests Sphärizität angenommen werden, sodass eine Korrektur der Daten nicht erfolgt. Im Mittel zeichnet sich über den gesamten Erhebungszeitraum ein hochsignifikanter Haupteffekt ab ($F(2,134) = 20,918$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,238$). Die Freude der Schüler:innen nimmt durch die Intervention vom Pre- zum Posttest zunächst stark zu ($M_d = 0,78$), anschließend fällt sie vom Post- zum Follow-Up-Test wieder nahezu auf das Ausgangsniveau zurück ($M_d = -0,70$) (Tabelle 72). Dieser starke kurzfristige Effekt ist hochsignifikant ($t_{pre/post}(70) = -6,919$; $p = < 0,01$ | $t_{post/followup}(69) = 5,390$; $p = < 0,01$). Der starke Effekt ist dabei lediglich auf die Intervention, nicht aber auf den Standort zurückzuführen. Über den gesamten Erhebungszeitraum zeigt sich kein standortabhängiger Zwischensubjekteffekt ($F(1,67) = 0,051$; $p = 0,822$;

$\eta^2 = 0,001$). Auch die Kovarianzanalyse zeigt, dass der Interventionsort lediglich einen geringen Einfluss auf die Änderung der Freude der Schüler:innen aufweist ($F(2,134) = 0,510$; $p = 0,602$; $\eta^2 = 0,008$).

Tabelle 72: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Freude der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	73	3,98	0,97	4,76	0,72	4,06	1,02
Schule	50	3,97	0,96	4,80	0,75	4,03	1,12
Universität	23	3,98	1,01	4,67	0,66	4,13	0,79

Die Freude in Abhängigkeit des Erhebungszeitraumes und des Interventionsortes ist in Abbildung 96 dargestellt.

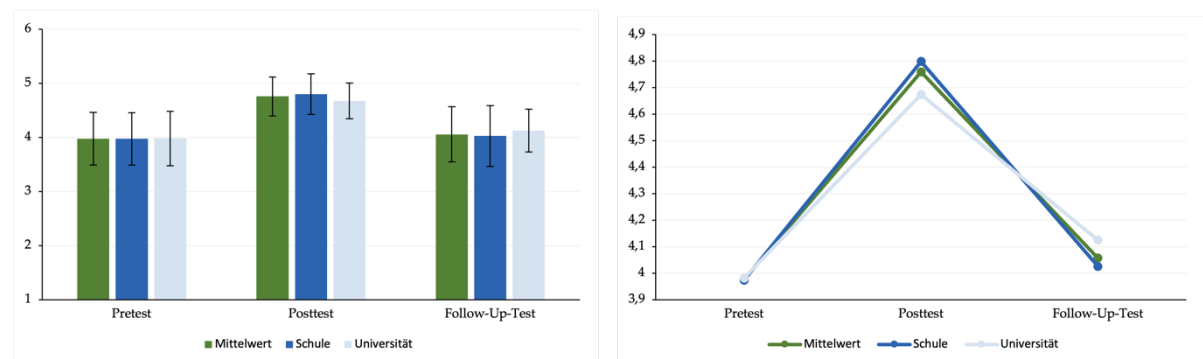


Abbildung 96: Freude der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Wird die Stichprobe nach Geschlechtern getrennt betrachtet, zeigt sich eine höhere Mittelwertsänderung bei den Schülerinnen als bei den Schülern vom Pre- zum Posttest ($d_{pre/post,Schülerinnen} = 1,04$; $d_{pre/post,Schüler} = 0,61$) (Tabelle 73). Ein nach Geschlechtern aufgetrennter t-Test zeigt daher bei den Schülerinnen einen größeren Effekt als bei den Schülern, der allerdings für beide Geschlechter hochsignifikant ist ($t_{pre/post,w}(33) = -5,600$; $p < 0,001$ | $t_{pre/post,m}(36) = -4,259$; $p < 0,001$) Der Einfluss des Geschlechtes auf die Änderung der Freude ist messbar, allerdings nicht signifikant ($F(1,69) = 3,147$; $p = 0,080$; $\eta^2 = 0,044$).

Tabelle 73: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Freude der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	73	3,97	0,97	4,79	0,72	4,06	1,03
Weiblich	36	3,90	1,11	4,94	0,69	3,96	1,18
Männlich	27	4,03	0,85	4,64	0,72	4,15	1,03

Die Freude in Abhängigkeit des Erhebungszeitpunktes und des Geschlechtes ist in Abbildung 97 dargestellt.

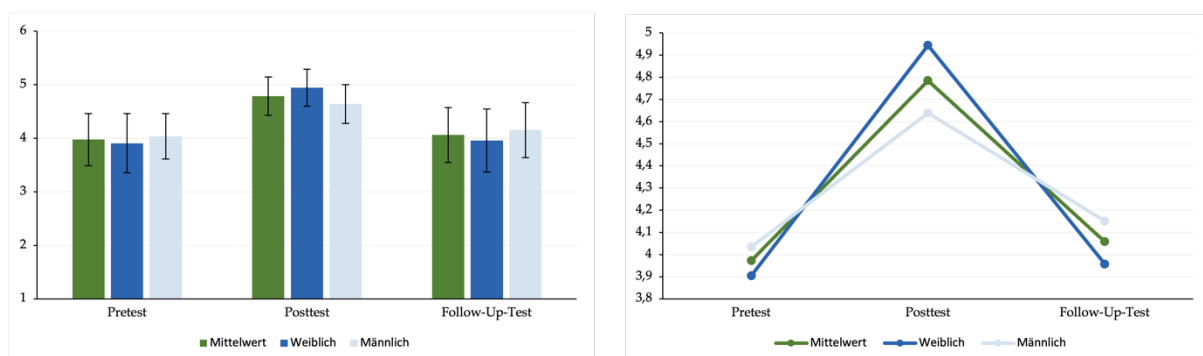


Abbildung 97: Freude der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothese:

Die Freude der Schüler:innen steigt durch die Intervention stark an und fällt anschließend wieder nahezu auf das Ausgangsniveau ab. Dieser kurzfristige, starke Effekt ähnelt den Ergebnissen von Budke und Wegner, die für ihre Studien auch kurzfristig starke emotionale Effekte feststellen konnten (Budke, 2019; Wegner, 2008). Budke konnte für GLO1 einen Anstieg der Freude der Schüler:innen feststellen, der ebenfalls nur für den Posttest messbar war. Dieser kurzfristige Effekt in GLO1 und GLO2 ist voraussichtlich mit der höheren Freude an der Durchführung einer für die Schüler:innen besonderen Situation, dem hohen Autonomie- und Kompetenzerleben sowie dem starken Unterschied zum Regelunterricht zu erklären. Dies begründet auch den im Follow-Up-Test wieder absinkenden Effekt der Freude, da die Kurzintervention die situative Einstellung zur Freude nicht mittelfristig beeinflussen kann, sondern für die Freude am Fach Chemie unterrichtliche, repetitive Effekte überwiegen. Die Hypothese E-H1 kann somit angenommen werden.

E-H1: Die Freude an der Auseinandersetzung mit dem Chemieunterricht wird durch die Intervention kurzfristig erhöht.

Im Gegensatz zu GLO1 kann für GLO2 allerdings keine Standortabhängigkeit des Konstruktes Freude gemessen werden. Während bei GLO1 neben einer grundsätzlich höheren Ausprägung der Freude am Interventionsort Schule auch ein Zwischensubjekteffekt des Interventionsortes signifikant messbar ist (signifikanter Anstieg des Mittelwertes des Konstruktes Freude am Interventionsort Schule im Vergleich zum Interventionsort Universität), lässt sich dieser Effekt für GLO2 nicht feststellen.

FrustrationReliabilitätsanalyse:

Tabelle 74: Reliabilitätsanalyse für die Skala Frustration nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Frustration	5	0,886	0,877	0,889

Die Reliabilitätsanalyse zeigt gute interne Konsistenzen für die Skala zum emotionalen Konstrukt Frustration in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass für die Auswertung alle der Skala zugrundeliegenden Items berücksichtigt worden sind (Tabelle 74). Die Items der Skala sind in Tabelle 75 dargestellt. Da das Konstrukt Frustration eine situative Eigenschaft beschreibt, wurden die Items für den Posttest entsprechend angepasst.

Tabelle 75: Items zur Erhebung der Frustration in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
V/N/F_FT_01	Der Chemieunterricht in den letzten Stunden war für mich sehr frustrierend.	Der Labortag „Es geht um die Wurst“ war für mich sehr frustrierend.	Der Chemieunterricht in den letzten Stunden war für mich sehr frustrierend.
V/N/F_FT_02	In den letzten Chemiestunden war ich eifrig bei der Sache.*	Am Labortag war ich eifrig bei der Sache.*	In den letzten Chemiestunden war ich eifrig bei der Sache.*
V/N/F_FT_03	Ich wusste nicht, was ich mit den letzten Chemiestunden anfangen sollte.	Ich wusste nicht, was ich mit dem Labortag anfangen sollte.	Ich wusste nicht, was ich mit den letzten Chemiestunden anfangen sollte.
V/N/F_FT_04	Ich wusste in den letzten Chemiestunden nicht, was Sache ist.	Ich wusste heute nicht, was Sache ist.	Ich wusste in den letzten Chemiestunden nicht, was Sache ist.
V/N/F_FT_05	Von den letzten Stunden in Chemie war ich genervt.	Vom Labortag war ich genervt.	Von den letzten Stunden in Chemie war ich genervt.

*Da die Items für Pre-, Post- und Follow-Up-Test divergieren, wurde im Datenblatt der jeweilige Erhebungszeitpunkt mit V (Vor-/Pretest), N (Nach-/Posttest) oder F (Follow-Up-Test) codiert.

Ergebnisse zur Frustration:

Für das Konstrukt Frustration kann keine Normalverteilung angenommen werden (Shapiro-Wilks: $p = 0,012$). Da der Levene-Test allerdings Varianzhomogenität ergibt, und die Sphärizität in Bezug auf den Interventionsort (Mauchly-Test_{Interventionsort}: $p = 0,015$) Greenhouse-Geisser (0,892) korrigiert wird,

wird das Konstrukt aufgrund der Robustheit von Varianzanalysen ausgewertet. Die Interpretation der Ergebnisse der Varianzanalysen kann daher lediglich sehr restriktiv erfolgen.

Die im Rahmen von GLO2 gemessene Frustration in Bezug auf das Fach Chemie kann durchschnittlich als gering bezeichnet. Im Laufe des Erhebungszeitraumes nimmt diese im Mittel vom Pre- zum Posttest stark ab ($d_{\text{pre/post}} = -0,70$). Sechs Wochen nach der Intervention steigt die Frustration der Schüler:innen wieder nahezu auf das Ausgangsniveau an ($d_{\text{post/followup}} = 0,56$) (Tabelle 76). Sowohl die Abnahme der Frustration vom Pre- zum Posttest als auch die anschließende Zunahme zum Follow-Up-Test sind hochsignifikant ($t_{\text{pre/post}}(68) = 5,515; p < 0,001$ | $t_{\text{post/followup}}(68) = -5,417; p < 0,001$). Die Intervention führt somit zu einer kurzfristigen Abnahme der Frustration in Bezug auf die gesamte Stichprobe. Die Effekte treten sowohl für den Interventionsort Schule als auch für den Interventionsort Universität auf, wenngleich die Effekte an der Schule stärker sind. Beispielsweise nimmt die Frustration vom Pre- zum Posttest an der Schule stärker ab als an der Universität ($t_{\text{pre/post,Schule}}(48) = 4,675; p < 0,001$ | $t_{\text{pre/post,Universität}}(22) = 2,869; p = 0,009$). Entsprechend der durchgeführten t-Tests liegt auch über den gesamten Erhebungszeitraum ein hochsignifikanter Haupteffekt für den Faktor Zeitpunkt vor ($F(1,783.117,708) = 21,744; p < 0,001; \eta^2 = 0,248$). Wenngleich Unterschiede der Frustration zwischen Schule und Universität feststellbar sind, hat der Zwischensubjektfaktor Interventionsort keinen signifikanten Einfluss auf die Frustration ($F(1,66) = 0,755; p = 0,388; \eta^2 = 0,011$). Darüber hinaus beeinflusst der Interventionsort die Änderung der Frustration über die Testzeitpunkte hinweg nahezu nicht ($F(1,783.117,708) = 0,167; p = 0,823; \eta^2 = 0,003$).

Tabelle 76: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Frustration der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	68	2,58	1,00	1,88	0,78	2,44	0,93
Schule	47	2,54	1,08	1,83	0,67	2,37	0,96
Universität	21	2,66	0,80	1,99	0,98	2,61	0,86

Die Frustration in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 98 dargestellt.

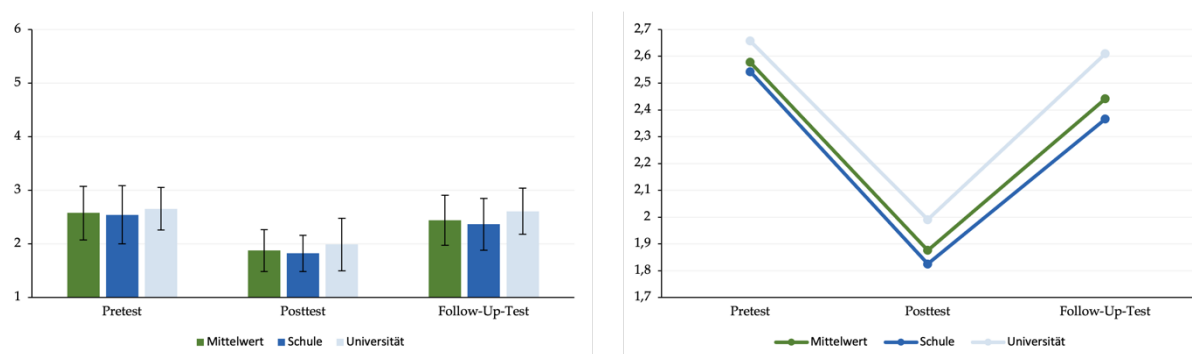


Abbildung 98: Frustration der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Wird die Stichprobe anhand der Geschlechter überprüft, kann Sphärizität angenommen werden (Mauchly-Test: $p = 0,070$), sodass keine Greenhouse-Geisser-Korrektur erfolgen muss. Zu Beginn des Erhebungszeitpunktes zeigen die Schülerinnen höhere Frustrationswerte als die Schüler ($d_{w/m} = 0,26$) (Tabelle 77). Der Unterschied zwischen den Geschlechtern ist allerdings nicht signifikant ($t_{\text{pre,w/m}}(70) = 1,085; p = 0,281$). Der Einfluss des Geschlechtes auf die Ausprägung der Frustration ist über den gesamten Erhebungszeitraum betrachtet nicht signifikant ($F(1,66) = 0,008; p = 0,929; \eta^2 = 0$). Durch die Intervention sinkt die Frustration bei den Schülerinnen stärker als bei den Schülern ($d_{\text{pre/post,w}} = -1,05; d_{\text{pre/post,m}} = -0,44$). Die Abnahme der Frustration ist bei den Schülerinnen im Gegensatz zu den Schülern signifikant ($t_{\text{pre/post,w}}(34) = -6,353; p < 0,001$ | $t_{\text{pre/post,m}}(36) = -1,959; p < 0,058$). Der Einfluss des Geschlechtes auf die Änderung der Frustration durch die Intervention über den gesamten Erhebungszeitraum ist hochsignifikant ($F(2,132) = 7,485; p < 0,001; \eta^2 = 0,102$). Es kann geschlossen werden, dass die Intervention den kurzfristigen Rückgang der Frustration bei den Schülerinnen stärker induziert als bei den Schülern.

Tabelle 77: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Frustration der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	68	2,58	1,00	1,88	0,78	2,44	0,93
Weiblich	34	2,71	1,05	1,66	0,57	2,55	1,01
Männlich	34	2,45	0,95	2,09	0,90	2,34	0,42

Die Frustration in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Geschlecht ist in Abbildung 98 dargestellt.

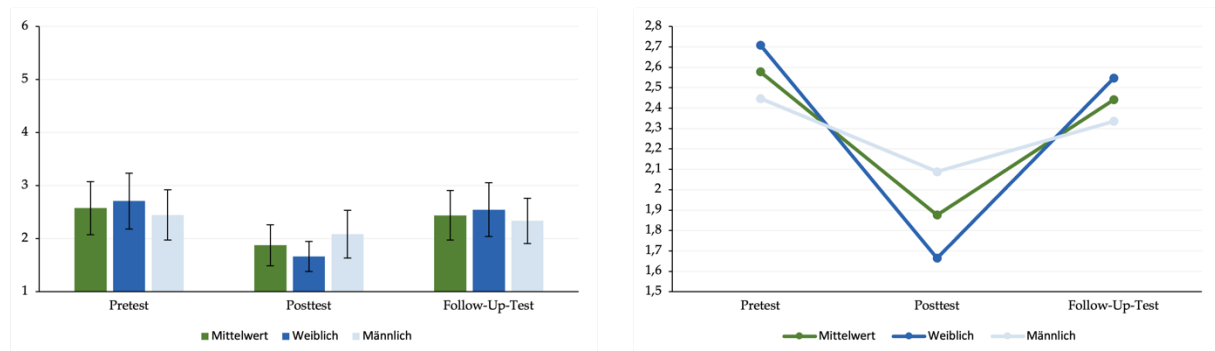


Abbildung 99: Frustration der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothese:

Durch die Intervention sinkt die Frustration der Schüler:innen signifikant und steigt in der Erhebung des Follow-Up-Tests wieder nahezu auf den Ursprungswert an. Dieser kurzfristige Rückgang der Frustration durch die Intervention ist voraussichtlich auf das hohe Autonomieerleben, die soziale Eingebundenheit und das Kompetenzerleben während des Schülerlabortages zurückzuführen. Der Anstieg der Frustration im Follow-Up-Test ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass im Anschluss an das Schülerlabor Effekte aus dem Regelunterricht überwiegen, die das situative Konstrukt Frustration stark beeinflussen. Die Hypothese E-H2 kann daher angenommen werden:

E-H2: Die Frustration der Schüler:innen gegenüber dem Chemieunterricht wird durch die Intervention kurzfristig reduziert.

Wenngleich ein Haupteffekt im Faktor Zeitpunkt feststellbar ist, lässt sich kein Zwischensubjekteffekt des Interventionsortes feststellen. Die Frustration ist zwar im Mittel am Standort Universität höher, allerdings ist dieser Effekt nicht signifikant. Besonders vor dem Hintergrund einer nicht gegebenen Normalverteilung könnte dieser Effekt zufällig sein. Ebenfalls zeigt sich kein Interaktionseffekt zwischen dem Erhebungszeitraum und dem Interventionsort. An beiden Interventionsorten zeigt sich ein vergleichbarer Rückgang der Frustration zum Posttest und ein anschließendes Ansteigen des Skalenwertes der Frustration im Follow-Up-Test. Budke konnte in der GLO1-Studie ebenfalls einen kurzfristigen, signifikanten Rückgang der Frustration feststellen. Im Gegensatz zur GLO2-Studie stellte Budke allerdings auch einen signifikanten Effekt des Interventionsortes sowie einen signifikanten Interaktionseffekt des Interventionsortes fest (Budke, 2019), der mit einer geringeren Frustration am Interventionsort Schule und einem stärkeren Rückgang der Frustration an diesem Interventionsort verbunden war. In der GLO2-Studie ergibt sich darüber hinaus ein signifikanter Interaktionseffekt des Geschlechtes. Die am Schülerlabor teilnehmenden Schülerinnen zeigen durch die Intervention einen stärkeren Rückgang der Frustration als die an der Intervention teilnehmenden Schüler. Diesen Effekt konnte Budke in der GLO1-Studie nicht feststellen (Budke et al., 2019). Besonders unter Berücksichtigung der fehlerhaften Normalverteilung muss das Ergebnis aus der GLO2-Studie vorsichtig interpretiert werden. Mögliche Erklärungsansätze können beispielsweise in der Thematik des Schülerlabortages liegen, die bei Schülerinnen eine geringere Frustration induziert als bei Schülern. Eine abschließende Erklärung kann anhand der vorliegenden Daten allerdings nicht erfolgen.

Die Ergebnisse der GLO2-Studie widersprechen wie auch die Ergebnisse der GLO1-Studie zum Teil den Ergebnissen von Wegner. Dieser konnte für seine Interventionsgruppe eine konstante Frustration zeigen, während die Kontrollgruppe eine signifikant höhere Frustration ausbildete (Wegner, 2008).

Langeweile

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 78: Reliabilitätsanalyse für die Skala Langeweile nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Langeweile	4	0,733	0,666	0,742

Die Reliabilitätsanalyse zeigt akzeptable interne Konsistenzen für die Skala zum emotionalen Konstrukt Langeweile in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass für die Auswertung alle der Skala zugrundeliegenden Items berücksichtigt worden sind (Tabelle 78). Die Items der Skala sind in Tabelle 79 dargestellt. Da das Konstrukt Langeweile eine situative Eigenschaft beschreibt, wurden die Items für den Posttest entsprechend angepasst.

Tabelle 79: Items zur Erhebung des Konstruktes Langeweile in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
V/N/F_LW_01 ¹	Ich habe bemerkt, dass ich in den letzten Stunden in Chemie oft geistig abwesend war.	Ich habe gemerkt, dass ich am Labortag „Es geht um die Wurst“ oft geistig abwesend war.	Ich habe bemerkt, dass ich in den letzten Stunden in Chemie oft geistig abwesend war.
V/N/F_LW_02	Ich hatte in den letzten Chemiestunden das Gefühl, dass sie gar nicht enden wollten.	Ich hatte heute das Gefühl, dass der Tag gar nicht enden wollte.	Ich hatte in den letzten Chemiestunden das Gefühl, dass sie gar nicht enden wollten.
V/N/F_LW_03	Ich habe mich während der letzten Chemiestunden oft mit anderen Dingen beschäftigt.	Ich habe mich während des Labortages oft mit anderen Dingen beschäftigt.	Ich habe mich während der letzten Chemiestunden oft mit anderen Dingen beschäftigt.
V/N/F_LW_04	In den letzten Chemiestunden habe ich gar nicht gemerkt, wie die Zeit verfliegt.*	Heute habe ich gar nicht gemerkt, wie die Zeit verfliegt.*	In den letzten Chemiestunden habe ich gar nicht gemerkt, wie die Zeit verfliegt.*

¹Da die Items für Pre-, Post- und Follow-Up-Test divergieren, wurde im Datenblatt der jeweilige Erhebungszeitpunkt mit V (Vor-/Pretest), N (Nach-/Posttest) oder F (Follow-Up-Test) codiert.

Ergebnisse zur Langeweile:

Für die Skalen zum Konstrukt Langeweile kann eine Normalverteilung angenommen werden (Shapiro-Wilks: $p = 0,722$). Ebenso kann entsprechend des Levene-Tests Varianzhomogenität und des Mauchly-Tests Sphärizität angenommen werden, sodass eine Korrektur der Daten nicht erfolgt. Für das Konstrukt Langeweile ergibt sich ein hochsignifikanter Haupteffekt im Faktor Erhebungszeitpunkt ($F(2.132) = 12,315$; $p < 0,001$; $\eta^2 = 0,157$). Im Mittel liegt zunächst ein geringer Skalenwert für das Konstrukt Langeweile vor, der im Posttest weiter absinkt ($d_{\text{pre/post}} = -0,52$). Vom Post- zum Follow-Up-Test steigt der Skalenmittelwert wieder ungefähr auf das Ausgangsniveau an ($d_{\text{post/followup}} = 0,55$) (Tabelle 80). Beide Effekte sind ebenso wie der Haupteffekt über den gesamten Erhebungszeitraum hochsignifikant ($t_{\text{pre/post}}(71) = 4,362$; $p < 0,001$ | $t_{\text{post/followup}}(67) = -4,345$; $p < 0,001$). Die Intervention verringert die Langeweile der Schüler:innen, die am Schülerlabortag teilgenommen haben, daher kurzfristig vom Pre- zum Posttest signifikant.

Wird das Konstrukt in Abhängigkeit des Interventionsortes betrachtet, zeigen sich leicht höhere Mittelwerte für alle Erhebungszeitpunkte am Interventionsort Universität ($d_{\text{pre,Interventionsort}} = 0,07$ | $d_{\text{post,Interventionsort}} = 0,14$ | $d_{\text{followup,Interventionsort}} = 0,13$). t-Tests für unabhängige Stichproben zeigen, dass die Mittelwertsunterschiede zwischen beiden Interventionsorten nicht signifikant sind ($p_{\text{pre}} = 0,912$ | $p_{\text{post}} = 0,451$ | $p_{\text{followup}} = 0,622$). Die Abnahme des Skalenmittelwertes vom Pre- zum Posttest am Standort Schule zeigt einen hochsignifikanten Effekt, der Effekt am Interventionsort Universität ist hingegen nicht signifikant ($t_{\text{pre/post,Schule}}(48) = 4,160$; $p < 0,001$ | $t_{\text{pre/post,Schule}}(48) = 1,746$; $p = 0,095$). Über den gesamten Erhebungszeitraum betrachtet zeigt der Standort allerdings nahezu keinen Einfluss auf die Langeweile der Schüler:innen ($F(1.66) = 0,381$; $p = 0,539$; $\eta^2 = 0,006$). Ebenfalls ist der Interaktionseffekt des Interventionsortes auf die Änderung der Langeweile über den Erhebungszeitraum vernachlässigbar ($F(2.132) = 0,38$; $p = 0,953$;

$\eta^2 = 0,001$). Es kann folglich davon ausgegangen werden, dass der Interventionsort die Langeweile der Schüler:innen nicht beeinflusst.

Tabelle 80: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Langeweile der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	68	2,75	0,91	2,23	0,74	2,78	0,99
Schule	47	2,73	0,91	2,19	0,70	2,74	1,04
Universität	21	2,80	0,95	2,33	0,83	2,87	0,90

Die Langeweile in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 100 dargestellt.

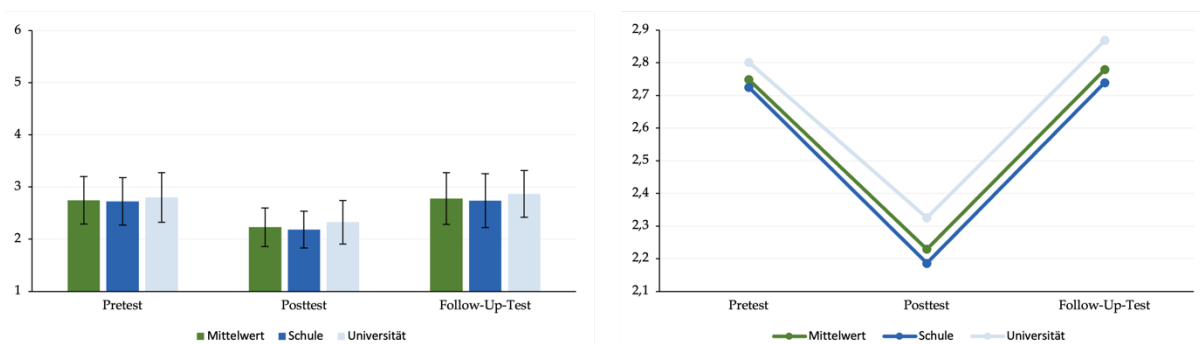


Abbildung 100: Langeweile der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Da für die Aufteilung der Stichprobe anhand des Geschlechtes keine Sphärizität (Mauchly-Test: $p = 0,043$) vorliegt, werden die erhaltenen Werte Greenhouse-Geisser (0,916) korrigiert. Im Mittel zeigen die Schülerinnen eine grundsätzlich geringere Ausprägung der Langeweile als die Schüler, die an der Intervention teilgenommen haben ($d_{\text{pre,Geschlecht}} = 0,24$ | $d_{\text{post,Geschlecht}} = 0,39$ | $d_{\text{followup,Geschlecht}} = 0,16$) (Tabelle 81). Der Unterschied zwischen den Geschlechtern ist für Pre- und Follow-Up-Test nicht signifikant ($p_{\text{pre}} = 0,322$ | $p_{\text{followup}} = 0,505$), für den Posttest jedoch schon ($t_{\text{post,Geschlecht}}(71) = -2,434$; $p = 0,017$). Sowohl bei den Schülerinnen als auch bei den Schülern nimmt die Langeweile durch die Intervention vom Pre- zum Posttest signifikant ab. Dieser Effekt ist bei den Schülerinnen allerdings stärker ausgeprägt als bei den Schülern ($t_{\text{pre/post,w}}(34) = -3,727$; $p < 0,001$ | $t_{\text{pre/post,m}}(36) = 2,491$; $p = 0,018$). Über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg zeigt der Zwischensubjektfaktor Geschlecht allerdings keinen signifikanten Effekt ($F(1,66) = 2,373$; $p = 0,128$; $\eta^2 = 0,035$). Auch zeigt das Geschlecht keinen signifikanten Interaktionseffekt zur Änderung der Langeweile über den Erhebungszeitraum ($F(2,132) = 0,529$; $p = 0,575$; $\eta^2 = 0,008$). Wird die Geschlechterabhängigkeit der Langeweile getrennt nach den einzelnen Standorten betrachtet, ergibt sich lediglich für den Interventionsort Schule ein signifikanter Zwischensubjekteffekt ($F(1,45) = 4,215$; $p = 0,046$; $\eta^2 = 0,086$). Hier zeigen die Schülerinnen im Mittel deutlich geringere Skalenergebnisse der Langeweile in allen drei Erhebungszeiträumen als die Schüler. Am Interventionsort Universität ist dieser Effekt nicht signifikant ($p = 0,800$). Interaktionseffekte des Geschlechtes, getrennt nach den einzelnen Standorten, lassen sich nicht feststellen ($p_{\text{Schule}} = 0,807$ | $p_{\text{Universität}} = 0,625$). Allerdings zeigt sich, dass die Abnahme der Langeweile vom Pre- zum Posttest, getrennt nach Standort und Geschlecht für Schüler in der Universität kein signifikantes Ergebnis zeigt ($p = 0,213$). Berücksichtigt werden muss hier allerdings die kleine Stichprobe von $N = 12$. Ein signifikanter Einfluss des Geschlechtes auf die Langeweile der Schüler:innen kann daher nicht eindeutig angenommen werden.

Tabelle 81: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Langeweile der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	68	2,75	0,91	2,23	0,74	2,78	0,99
Weiblich	34	2,63	0,99	2,03	0,64	2,70	1,13
Männlich	34	2,87	0,99	2,42	0,79	2,86	0,84

Die Langeweile in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Geschlecht ist in Abbildung 101 dargestellt.

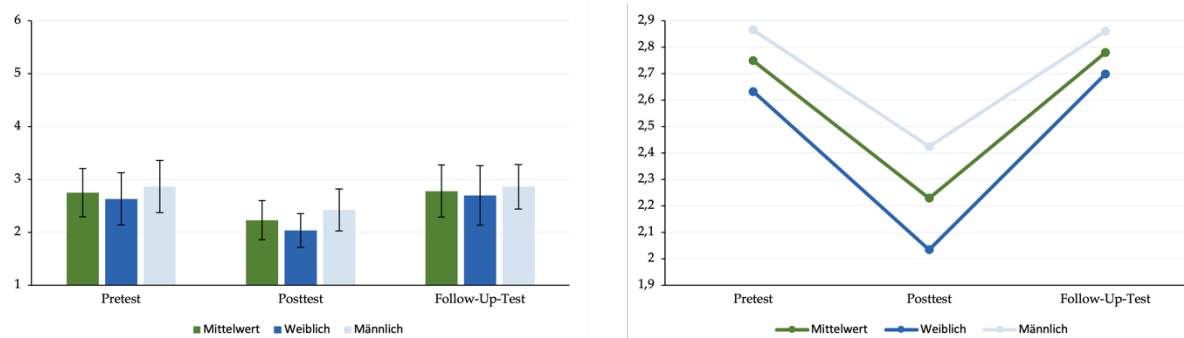


Abbildung 101: Langeweile der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothese:

Die Langeweile der Schüler:innen nimmt durch die Intervention zum Posttest hin ab. Sechs Wochen nach der Intervention hat die Langeweile der Schüler:innen, gemessen im Follow-Up-Test, wieder ungefähr den ursprünglichen Skalenmittelwert erreicht. Dieser kurzfristige, signifikante Effekt, lässt sich ähnlich wie die Konstrukte Freude und Frustration durch das hohe Autonomieerleben, die soziale Eingebundenheit und das Kompetenzerleben am Schülerlabortag erklären, welche die situative Langeweile reduzieren. Dieser Effekt ist nicht mittel- bzw. langfristig, da in Bezug auf das Langeweileempfinden der Schüler:innen im Folgenden Effekte aus dem Chemieunterricht überwiegen werden. Die Hypothese E-H3 kann daher angenommen werden:

E-H3: Die Intervention führt kurzfristig zu einer reduzierten Langeweile bei den Schüler:innen.

Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen der GLO1-Studie von Budke und der Erhebung von Wegner. Beide konnten ebenfalls eine kurzfristig gesenkte Langeweile unmittelbar nach der jeweiligen Intervention feststellen (Budke, 2019; Wegner, 2008). In Bezug auf den Interventionsort lassen sich stärkere Effekte an der Schule als an der Universität feststellen. Eine eindeutige Feststellung, dass der Interventionsort einen Einfluss auf die Langeweile hat, lässt sich anhand einer Varianzanalyse allerdings nicht belegen. Ähnliche Ergebnisse konnte Budke feststellen. In der GLO1-Studie zeigten sich für den Interventionsort Schule ebenfalls stärkere Effekte, die allerdings über eine Varianzanalyse nicht bestätigt werden konnten (Budke, 2019). Eine geschlechtergetrennte Betrachtung zeigt für die GLO2-Studie, dass die Schülerinnen im Mittel geringere Skalenwerte für das Konstrukt Langeweile annehmen. Durch die Intervention sinkt die Langeweile der Schülerinnen darüber hinaus stärker als die Langeweile der Schüler. Varianzanalysen ergeben jedoch keine signifikanten Zwischensubjekteffekte des Geschlechtes auf die Langeweile. Am Standort Schule zeigen die Schülerinnen signifikant geringere Skalenmittlerwerte als die Schüler, wenngleich keine Interaktionseffekte festgestellt werden können. Eine Abnahme der Langeweile erfolgt in der Schule für beide Geschlechter, in der Universität ist dieser Effekt nur für die Schülerinnen signifikant. In der GLO1-Studie konnten ähnliche Ergebnisse festgestellt werden: Wenngleich kein genereller Zwischensubjekteffekt oder Interaktionseffekte des Geschlechtes festgestellt werden konnten, konnte gezeigt werden, dass die Langeweile für Schülerinnen in der Universität nicht signifikant abnimmt. Im Vergleich zur GLO2-Studie liegt hier ein Geschlechterunterschied vor. Aufgrund der kleinen Stichprobe, die sich durch die Auftrennung anhand des Interventionsortes und des Geschlechtes ergibt, sollten die Ergebnisse allerdings lediglich sehr konservativ interpretiert werden.

Aktuelle Interessiertheit

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 82: Reliabilitätsanalyse für die Skala Interessiertheit nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Interessiertheit	4	0,834	0,831	0,822

Die Reliabilitätsanalyse zeigt gute interne Konsistenzen für die Skala zum emotionalen Konstrukt Interessiertheit in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass für die Auswertung alle der Skala zugrundeliegenden Items berücksichtigt worden sind (Tabelle 82). Die Items der Skala sind in Tabelle 83 dargestellt. Da das Konstrukt Interessiertheit eine situative Eigenschaft beschreibt, wurden die Items für den Posttest entsprechend angepasst.

Tabelle 83: Items zur Erhebung des Konstruktes Interessiertheit in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
V/N/F_IN_01 ¹	Die letzten Stunden in Chemie fand ich so spannend, dass ich noch mehr über dieses Thema wissen möchte.	Den Labortag „Es geht um die Wurst“ fand ich so spannend, dass ich noch mehr über dieses Thema wissen möchte.	Die letzten Stunden in Chemie fand ich so spannend, dass ich noch mehr über dieses Thema wissen möchte.
V/N/F_IN_02	Während des Chemieunterrichts der letzten Stunden sind mir viele Fragen in den Kopf gekommen.	Während des Labortages sind mir vielen Fragen in den Kopf gekommen.	Während des Chemieunterrichts der letzten Stunden sind mir viele Fragen in den Kopf gekommen.
V/N/F_IN_03	Die letzten Chemiestunden haben mich richtig interessiert.	Der Labortag hat mich richtig interessiert.	Die letzten Chemiestunden haben mich richtig interessiert.
V/N/F_IN_04	Die letzten Stunden in Chemie haben mich sehr neugierig gemacht.	Der Labortag hat mich neugierig gemacht.	Die letzten Stunden in Chemie haben mich sehr neugierig gemacht.

¹Da die Items für Pre-, Post- und Follow-Up-Test divergieren, wurde im Datenblatt der jeweilige Erhebungszeitpunkt mit V (Vor-/Pretest), N (Nach-/Posttest) oder F (Follow-Up-Test) codiert.

Ergebnisse zur Interessiertheit:

Für das Konstrukt Interessiertheit kann eine Normalverteilung angenommen werden (Shapiro-Wilks: $p = 0,537$). Ebenso kann entsprechend des Levene-Tests Varianzhomogenität und des Mauchly-Tests Sphärizität angenommen werden, sodass eine Korrektur der Daten nicht erfolgt. Die (aktuelle) Interessiertheit der Schüler:innen nimmt durch die Intervention vom Pre- zum Posttest im Skalenmittel zu ($d_{pre/post} = 0,47$). Nach der Intervention sinkt der Skalenmittelwert vom Post- zum Follow-Up-Test wieder ungefähr auf das Ausgangsniveau (Pretest) ab ($d_{post/followup} = -0,51$) (Tabelle 84). Sowohl die Änderung des Skalenmittelwertes vom Pre- zum Posttest als auch vom Post- zum Follow-Up-Test sind hochsignifikant ($t_{pre/post}(71) = -3,467; p < 0,001$ | $t_{post/followup}(67) = -4,045; p < 0,001$). Für den Faktor Zeit ergibt sich ein hochsignifikanter Haupteffekt ($F(2,132) = 8,938; p < 0,001; \eta^2 = 0,119$). Dieser Effekt zeigt sich an beiden Interventionsorten in ähnlicher Weise ($d_{pre/post,Schule} = 0,46$ | $d_{pre/post,Universität} = 0,47$), wengleich sich aufgrund der größeren Stichprobe am Interventionsort Schule eine höhere Signifikanz ergibt ($t_{pre/post,Schule}(48) = -2,640; p = 0,011$ | $t_{pre/post,Universität}(22) = -2,369; p = 0,027$). Bezogen auf den gesamten Erhebungszeitraum ergibt sich weder ein Zwischensubjekteffekt des Interventionsortes ($F(1,66) = 1,231; p < 0,271; \eta^2 = 0,018$) noch ein Interaktionseffekt zwischen Erhebungszeitpunkt und Interventionsort ($F(2,132) = 0,164; p < 0,849; \eta^2 = 0,002$). Der Standort hat folglich keinen Effekt auf die Interessiertheit der Schüler:innen.

Tabelle 84: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Interessiertheit der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	68	3,76	0,94	4,23	0,84	3,72	0,91
Schule	47	3,84	0,97	4,30	0,90	3,76	1,03
Universität	21	3,59	0,86	4,06	0,67	3,64	0,60

Die Interessiertheit in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 102 dargestellt.

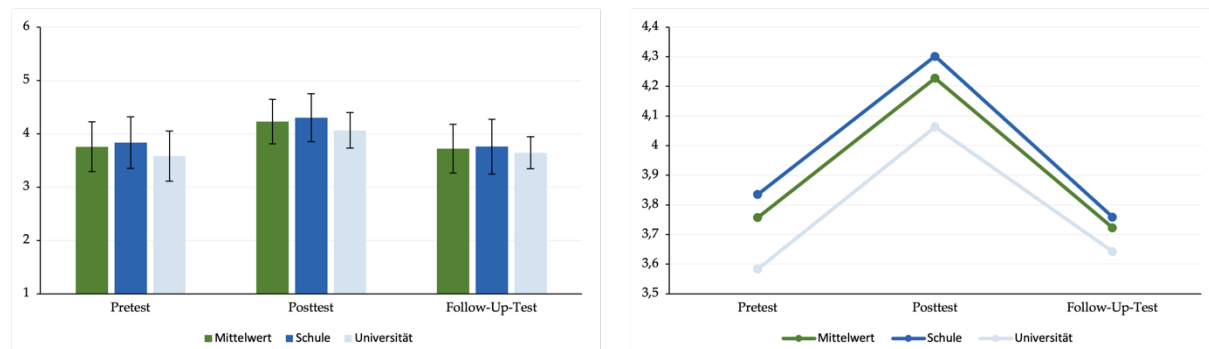


Abbildung 102: Interessiertheit der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Wird die Stichprobe anhand des Geschlechtes aufgeteilt, ergeben die Vortests ebenfalls eine ausreichende Normalverteilung, Varianzhomogenität und Sphärizität. Zu Beginn der Erhebung ist die Interessiertheit am Chemieunterricht bei den Schülerinnen stärker ausgeprägt als bei den Schülern ($M_w = 3,92 \mid M_m = 3,60 \mid d_{w/m} = -0,32$) (Tabelle 85). Dieser Unterschied ist allerdings nicht signifikant ($t_{pre,w/m}(70) = 1,496; p = 0,139$). Über den gesamten Erhebungszeitraum lässt sich kein signifikanter Zwischensubjekteffekt des Geschlechtes feststellen ($F(1,66) = 1,018; p = 0,317; \eta^2 = 0,015$). Bei beiden Geschlechtern nimmt die Interessiertheit durch die Intervention vom Pre- zum Posttest zu, wobei die Zunahme des Skalenwertes bei den Schülern größer ist als bei den Schülerinnen ($d_{pre/post,m} = 0,68 \mid d_{pre/post,w} = 0,26$). Im Posttest überschreitet der Skalenmittelwert der Schüler den Skalenmittelwert der Schülerinnen ($M_w = 4,18 \mid M_m = 4,28 \mid d_{w/m} = 0,10$). Der Anstieg der Interessiertheit vom Pre- zum Posttest ist lediglich bei den Schülern, nicht aber bei den Schülerinnen signifikant ($t_{pre/post,m}(36) = -3,484; p = 0,001 \mid t_{pre/post,w}(34) = -4,464; p = 0,152$). Über den gesamten Zeitraum hinweg zeigt sich ein kleiner, nicht signifikanter Interaktionseffekt des Geschlechtes ($F(2,132) = 1,918; p = 0,151; \eta^2 = 0,028$). Ein Einfluss des Geschlechtes ist daher nicht eindeutig feststellbar.

Tabelle 85: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Interessiertheit der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	68	3,76	0,94	4,23	0,84	3,72	0,91
Weiblich	34	3,92	1,0	4,18	0,91	3,87	0,91
Männlich	34	3,60	0,86	4,28	0,77	3,58	0,91

Die Interessiertheit in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Geschlecht ist in Abbildung 103 dargestellt.

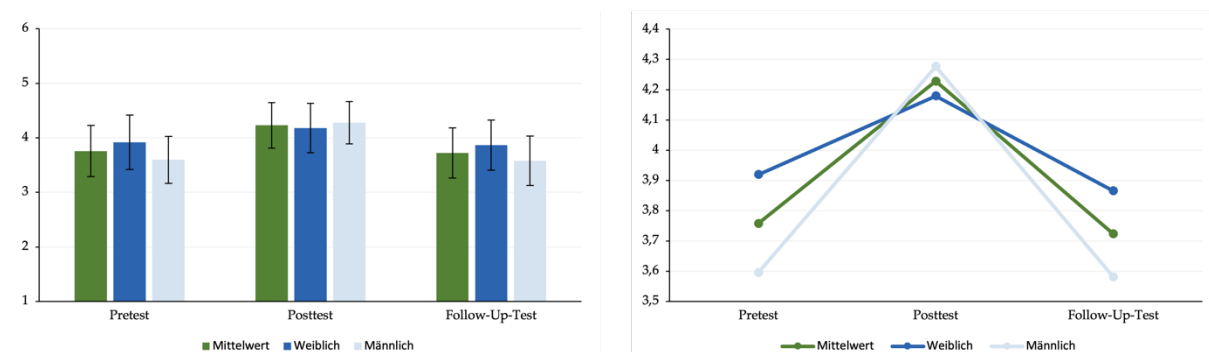


Abbildung 103: Interessiertheit der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothese:

Wie die anderen emotionalen Konstrukte zeigt auch die aktuelle Interessiertheit einen die gesamte Stichprobe umfassenden signifikanten, kurzfristigen Effekt. Die Interessiertheit steigt durch die Intervention zunächst vom Pre- zum Posttest an und sinkt anschließend zum Follow-Up-Test wieder ungefähr auf das Ausgangsniveau ab. Dieser Effekt ist, wie zuvor auch, durch die Struktur des emotionalen Empfindens Interessiertheit zu erklären. Da dieses Konstrukt situative Emotionen abbildet, beeinflusst eine Kurzintervention in Form eines Schülerlabortages die Ausprägung des Konstruktes nur kurzfristig. In mittelfristiger Betrachtung überwiegen wiederum Effekte aus dem Chemieunterricht, die dem Einfluss des Schülerlabortages überwiegen. Es muss berücksichtigt werden, dass dieser kurzfristige Effekt lediglich bei den Schülern signifikant ist, bei den Schülerinnen jedoch kein signifikanter Anstieg der Interessiertheit messbar ist. Die Hypothese E-H4 kann daher mit Einschränkungen angenommen werden:

E-H4: Die Intervention führt zu einer kurzfristigen Steigerung der aktuellen Interessiertheit der Schüler:innen.

Eine Interpretation der Geschlechterabhängigkeit der Interessiertheit ist nur konservativ durchführbar. Für gewöhnlich zeigen Mädchen im naturwissenschaftlichen Unterricht ein höheres Interesse an den Themenfeldern Ernährung und Nachhaltigkeit/Umweltschutz (Elster, 2007; Holstermann & Bögeholz, 2007). Davon ausgehend wäre eine höhere aktuelle Interessiertheit der Schülerinnen an der Intervention zu erwarten. Gleichzeitig werden im Rahmen des Schülerlabortages verschiedene Aspekte von Forschung und Wissenschaft (chemische Analytik, Inhalte aus der aktuellen Forschung) thematisiert und nach wissenschaftlichen Grundprinzipien gearbeitet (Kontrollansätze und Vergleichsproben, analytische Fachmethodik). Für diese Themen weisen entsprechend der ROSE-Studie Jungen höhere dispositionale Interessenshaltungen auf (Elster, 2007; Holstermann & Bögeholz, 2007). Welche der beiden Effekte für den Geschlechtereffekt in der GLO2-Studie führen und ob weitere Faktoren die Interessiertheit der Schüler:innen beeinflussen, ist anhand der Erhebung nicht feststellbar. Budke konnte in der Erhebung von GLO1 ähnliche Effekte feststellen, wenngleich eine Interessenssteigerung in der Sekundarstufe I nur für Schülerinnen, nicht aber für Schüler gelang (Budke, 2019). Möglicherweise ist die gestiegene Komplexität der Arbeitsaufträge hin zu einer näher an Forschung ausgerichteten Arbeitsweise der Schüler:innen im Schülerlabor der Sekundarstufe II eine Begründung für die divergierende Geschlechterabhängigkeit der aktuellen Interessiertheit.

Eine Abhängigkeit der Interessiertheit vom Interventionsort konnte nicht gezeigt werden. Zwar zeigt die Interventionsgruppe Schule im Mittel höhere Skalenwerte als die Interventionsgruppe Universität, allerdings sind diese Effekte nicht signifikant. Ein Interaktionseffekt zeigt sich darüber hinaus ebenfalls nicht. In der GLO1-Studie konnte im Gegensatz dazu, eine signifikant höhere Interessiertheit für den Interventionsort Schule festgestellt werden, wenngleich sich ebenfalls kein Interaktionseffekt zeigte (Budke et al., 2019). Eine Diskussion dieser Standorteffekte erfolgt in der Abschlussdiskussion der Begleitstudie.

Akzeptanzbewertung des mobilen und stationären Schülerlabores

Neben der Erhebung motivationaler und emotionaler Effekte durch die Intervention wurden die Schüler:innen nach ihrer Standortpräferenz für außerschulische Lernangebote befragt. Diese zwei Items wurden im Pre-, Post- und Follow-Up-Test von den Schüler:innen beantwortet. Darüber hinaus wurde die Standortakzeptanz im Post- und Follow-Up-Test noch mit drei bzw. vier weiteren Items untersucht (Tabelle 86).

Tabelle 86: Items zur Erhebung der Standortakzeptanz in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
V/N/F_SO_01 ¹	Es sollte mehr außerschulische Angebote geben, die uns an der Schule besuchen.	Es sollte mehr außerschulische Angebote geben, die uns an der Schule besuchen.	Es sollte mehr außerschulische Angebote geben, die uns an der Schule besuchen.
V/N/F_SO_02 ¹	Ich wünsche mir, mehr Lernorte außerhalb der Schule zu besuchen.	Ich wünsche mir, mehr Lernorte außerhalb der Schule zu besuchen.	Ich wünsche mir, mehr Lernorte außerhalb der Schule zu besuchen.
N/F_SO_03 ¹		Ich finde es sehr motivierend, einen Tag im Rahmen des Schülerlabores zu experimentieren.	Ich finde es sehr motivierend, einen Tag im Rahmen des Schülerlabores zu experimentieren.
N/F_SO_04 ¹		Ich möchte lieber nicht nochmal am Schülerlabor teilnehmen.*	Ich möchte lieber nicht nochmal am Schülerlabor teilnehmen.*
N/F_SO_05 ¹		Der Besuch des Schülerlabors hat mein Interesse am Chemieunterricht gesteigert.	Der Besuch des Schülerlabors hat mein Interesse am Chemieunterricht gesteigert.
SO_06			Der Labortag zum Thema Wurst hat mir Spaß gemacht.

¹Da die Items für Pre-, Post- und Follow-Up-Test divergieren, wurde im Datenblatt der jeweilige Erhebungszeitpunkt mit V (Vor-/Pretest), N (Nach-/Posttest) oder F (Follow-Up-Test) codiert.

Außerschulische Angebote am Standort Schule:

Für das Item V/N/F_SO_01 („Es sollte mehr außerschulische Angebote geben, die uns an der Schule besuchen.“) kann keine Sphärizität angenommen werden (Mauchly-Test: $p < 0,001$), weshalb die Werte Greenhouse-Geisser korrigiert (0,818) wurden. Die Varianzhomogenität ist hingegen entsprechend des Levene-Tests erfüllt. Zu Beginn der Erhebung ist im Pretest ein durchschnittlich hoher Skalenmittelwert festzustellen ($M_{\text{pre}} = 4,81$), der nicht signifikant ($p = 0,472$) zwischen den Schüler:innen am Interventionsort Schule ($M_{\text{pre,Schule}} = 4,72$) und am Interventionsort Universität ($M_{\text{pre,Universität}} = 5,00$) divergiert ($d = 0,28$) (Tabelle 87). Nach der Intervention lässt sich im Posttest eine Steigerung des Skalenmittelwertes auf ein sehr hohes Skalenniveau feststellen ($M_{\text{post}} = 5,15$ | $d_{\text{pre/post}} = 0,34$). Sechs Wochen nach der Intervention sinkt der Skalenmittelwert wieder leicht ab ($M_{\text{followup}} = 4,96$ | $d_{\text{post/followup}} = -0,19$). Dieser Haupteffekt ist signifikant ($F(1,618.106,758) = 5,679$; $p = 0,008$; $\eta^2 = 0,079$). Wird die Stichprobe anhand des Standortes getrennt, ist ein ähnlicher Anstieg der Akzeptanzbewertung außerschulischer Lernorte in der Schule für beide Interventionsorte von Pre- zu Posttest zu erkennen ($d_{\text{pre/post,Schule}} = 0,34$ | $d_{\text{pre/post,Universität}} = 0,33$). Während die Akzeptanzbewertung am Interventionsort Schule von Post- zu Follow-Up-Test anschließend wieder absinkt ($d_{\text{post/followup,Schule}} = -0,27$), stagniert die Akzeptanzbewertung am Interventionsort Universität auf hohem Niveau ($d_{\text{post/followup,Schule}} = 0,00$). Dieser kleine Interaktionseffekt ist jedoch nicht signifikant ($F(1,618.106,758) = 1,231$; $p = 0,290$; $\eta^2 = 0,018$). Es lässt sich durch die Mittelwertsunterschiede zwischen beiden Standorten ein kleiner, nicht signifikanter Zwischensubjektseffekt des Interventionsortes feststellen ($F(1,66) = 2,040$; $p = 0,158$; $\eta^2 = 0,030$). Insgesamt zeigen beide Interventionsgruppen den Wunsch, häufiger außerschulische Lernangebote an der eigenen Schule wahrzunehmen. Dabei hält diese Akzeptanzbewertung für die Interventionsgruppe Universität auch mittelfristig an, während sie für die Interventionsgruppe Schule sechs Wochen nach der Intervention wieder auf ein nahezu ursprüngliches Akzeptanzniveau abgesunken ist.

Tabelle 87: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte in der Schule der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	68	4,81	1,14	5,15	1,06	4,96	1,03
Schule	47	4,72	1,19	5,06	0,86	4,79	0,91
Universität	21	5,00	1,00	5,33	0,86	5,33	0,91

Die Akzeptanz für außerschulische Angebote am Standort Schule in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 104 dargestellt.

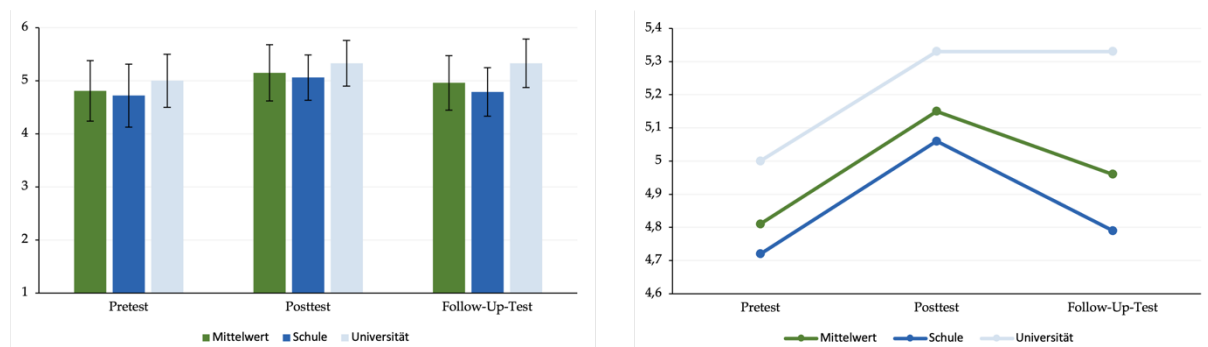


Abbildung 104: Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte in der Schule der Schüler:innen getrennt nach Interventionstyp und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Außerschulische Angebote außerhalb der Schule:

Für das Item V/N/F_SO_02 („Ich wünsche mir, mehr Lernorte außerhalb der Schule zu besuchen.“) kann Sphärizität angenommen werden (Mauchly-Test: $p = 0,402$), weshalb keine Korrektur der Daten von Nöten ist. Ebenfalls ist Varianzhomogenität entsprechend des Levene-Tests mit Ausnahme des Posttests ($p = 0,016$) erfüllt. Aufgrund der Robustheit von Varianzanalysen werden die erhobenen Daten konservativ ausgewertet. Im Mittel der gesamten Stichprobe ist ein Anstieg der Akzeptanzbewertung außerschulischer Lernorte außerhalb der Schule durch die Intervention von Pre- zu Posttest feststellbar ($d_{\text{pre/post}} = 0,29$) (Tabelle 88). Dieser Anstieg des Itemmittelwertes ist signifikant ($t(72) = -3,048$; $p = 0,002$). Sechs Wochen nach der Intervention steigt der Itemmittelwert im Follow-Up-Test weiter leicht an ($d_{\text{post/followup}} = 0,03$), wobei dieser Effekt nicht signifikant ist ($t(67) = -0,270$; $p = 0,788$). Insgesamt ergibt sich ein signifikanter Haupteffekt für die Akzeptanzbewertung außerschulischer Lernorte außerhalb der Schule ($F(2.132) = 5,262$; $p = 0,006$; $\eta^2 = 0,074$). Die beiden Interventionsgruppen Schule und Universität zeigen bezüglich der Akzeptanzbewertung außerschulischer Lernorte außerhalb der Schule Unterschiede. Bereits zu Beginn der Erhebung lassen sich im Pretest signifikante Mittelwertsunterschiede zwischen beiden Interventionsgruppen feststellen, da die Interventionsgruppe Universität eine höhere Akzeptanzbewertung als die Interventionsgruppe Schule aufweist ($M_{\text{Schule}} = 4,09$ | $M_{\text{Universität}} = 4,86$ | $d_{\text{Schule/Universität}} = 0,77$) ($t(71) = -2,422$; $p = 0,018$). An beiden Interventionsorten steigt die Akzeptanzbewertung durch die Intervention vom Pre- zum Posttest an. Dieser Anstieg ist allerdings nur für den Interventionsort Universität signifikant ($t_{\text{Schule}}(49) = -1,669$; $p = 0,102$ | $t_{\text{Universität}}(22) = -3,867$; $p < 0,001$). Der anschließende leichte Rückgang bzw. die leichte Steigerung der Akzeptanzbewertung an den Interventionsorten Universität bzw. Schule zeigen keine Signifikanz ($p_{\text{Universität}} = 0,492$ | $p_{\text{Schule}} = 0,561$). Für die Akzeptanzbewertung außerschulischer Lernorte außerhalb der Schule zeigt sich ein signifikanter, mittelstarker Intersubjekteffekt des Interventionsortes ($F(1.66) = 10,668$; $p = 0,002$; $\eta^2 = 0,139$). Ein Interaktionseffekt kann nicht festgestellt werden ($F(2.132) = 0,536$; $p = 0,587$; $\eta^2 = 0,008$). Die Intervention führt zu einer steigenden Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte außerhalb der Schule. Die Interventionsgruppe, die selbst einen außerschulischen Lernort außerhalb der Schule besucht hat, weist dabei bereits im Pretest einen höheren Itemmittelwert auf, verzeichnet aber auch im Gegensatz zur schulischen Gruppe einen signifikanten Mittelwertsanstieg zum Posttest.

Tabelle 88: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte außerhalb der Schule der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	68	4,34	1,25	4,63	1,26	4,66	1,17
Schule	46	4,09	1,08	4,30	1,31	4,39	1,16
Universität	22	4,86	1,26	5,32	0,78	5,23	0,97

Die Akzeptanz für außerschulische Angebote außerhalb der Schule in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 105 dargestellt.

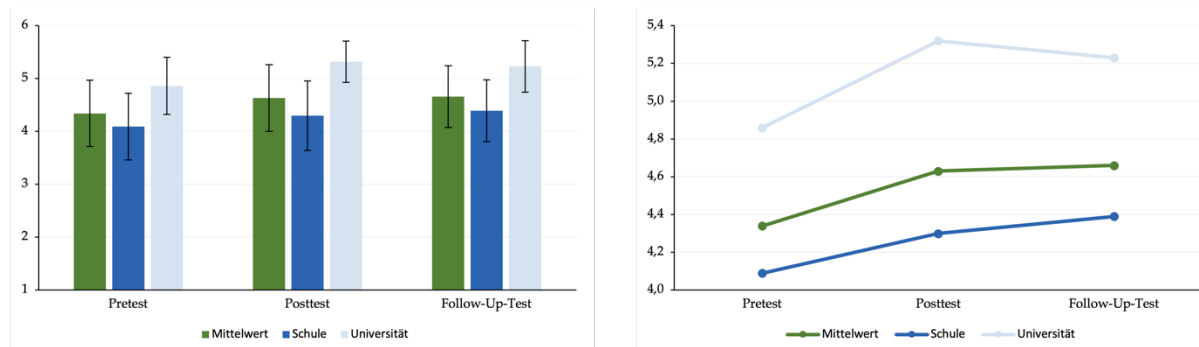


Abbildung 105: Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte außerhalb der Schule der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenführung beider Standortbewertungen:

Bereits vor der Intervention lassen sich für außerschulische Angebote sowohl innerhalb als auch außerhalb der Schule hohe Akzeptanzbewertungen der Schüler:innen erkennen. Dies deutet auf ein grundsätzlich hohes Interesse an der Teilnahme außerschulischer Lernangebote hin. Durch die Intervention kann für beide Items im Posttest eine Steigerung der Akzeptanzbewertung festgestellt werden, was ein durch die Intervention weiter gesteigertes Interesse am Besuch außerschulischer Lernangebote vermuten lässt. Dennoch zeigen sich zwischen den beiden Interventionsorten Unterschiede in der Akzeptanzbewertung. Die Interventionsgruppe Universität zeigt für beide Items sowohl vor als auch nach der Intervention höhere Akzeptanzbewertungen als die Interventionsgruppe Schule. Während der Unterschied beider Interventionsgruppen für außerschulische Angebote in der Schule recht gering ausfällt (Abbildung 106, dunkelblaue Graphen), ist der Akzeptanzunterschied für außerschulische Angebote außerhalb der Schule größer (Abbildung 106, hellblaue Graphen). Dieser signifikante Effekt wurde bereits im vorherigen Abschnitt gezeigt. Werden die beiden Items innerhalb einer Interventionsgruppe verglichen, so zeigen sich signifikante Unterschiede lediglich bei der Interventionsgruppe Schule. Vor der Intervention liegt im Pretest zwischen der Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernorte innerhalb und außerhalb der Schule bereits eine signifikante Mittelwertsdifferenz ($d_{\text{Schule,V}_{SO_1/2}} = 0,62 \mid t_{\text{Schule,V}_{SO_1/2}}(49) = 4,109; p < 0,001$). Nach der Intervention ist dieser Effekt noch stärker messbar ($d_{\text{Schule,N}_{SO_1/2}} = 0,72 \mid t_{\text{Schule,N}_{SO_1/2}}(49) = 4,938; p < 0,001$). Auch sechs Wochen nach der Intervention ist noch ein signifikanter Mittelwertsunterschied feststellbar ($d_{\text{Schule,F}_{SO_1/2}} = 0,39 \mid t_{\text{Schule,V}_{SO_1/2}}(45) = 2,598; p = 0,013$). Für die Interventionsgruppe Universität liegen zu allen drei Messzeitpunkten wesentlich geringere Mittelwertsunterschiede zwischen den Items vor ($d_{\text{Universität,V}_{SO_1/2}} = 0,05 \mid d_{\text{Universität,N}_{SO_1/2}} = 0,00 \mid d_{\text{Universität,F}_{SO_1/2}} = 0,09$), die allesamt nicht signifikant sind ($p_V = 0,825 \mid p_N = 1,000 \mid p_F = 0,427$). Die Interventionsgruppe Schule zeigt folglich ein hohes Interesse an außerschulischen Angeboten innerhalb der Schule und ein gemäßigttes Interesse an außerschulischen Angeboten außerhalb der Schule, während für die Interventionsgruppe Universität keine Präferenz für außerschulische Angebote innerhalb oder außerhalb der Schule erkennbar ist.

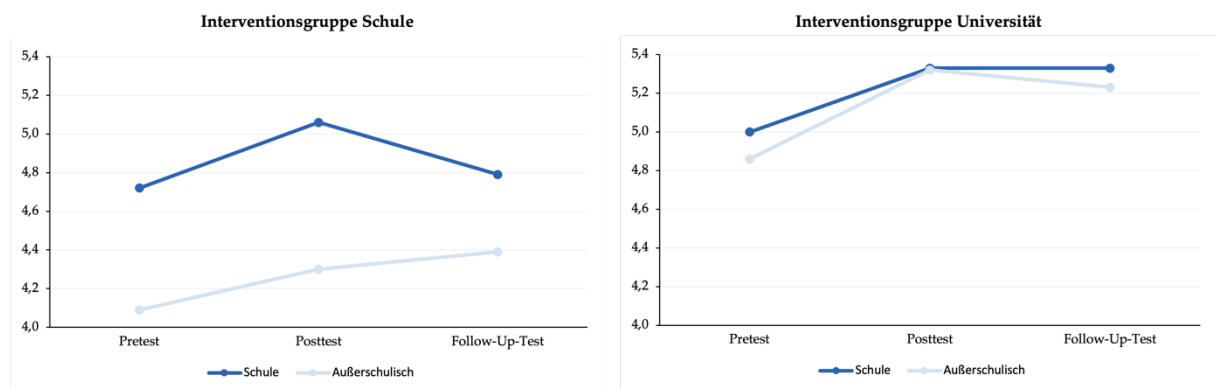


Abbildung 106: Akzeptanzbewertung für außerschulische Lernangebote in der Schule und außerhalb der Schule aufgeteilt in die Interventionsgruppen Schule (links) und Universität (rechts).

Eine Interpretation der Ergebnisse kann nur konservativ erfolgen. Dass beide Gruppen eine hohe Bereitschaft zeigen, an außerschulischen Lernorten teilzuhaben, entspricht den auch in vielen anderen Studien geäußerten Wünschen von Schüler:innen, den Regelunterricht durch außerschulische

Angebote und Exkursionen aufzubrechen (Behrendt & Franklin, 2014). Die höhere Akzeptanz eines außerschulischen Lernortes außerhalb der Schule innerhalb der Interventionsgruppe Universität im Vergleich zu Interventionsgruppe Schule kann beispielsweise auf eine fehlende Bewertungsmöglichkeit für die Interventionsgruppe Schule zurückzuführen sein. Da diese im Erhebungszeitraum mit großer Wahrscheinlichkeit nicht an einem außerschulischen Lernort außerhalb der Schule teilgenommen hat, könnten aufgrund der möglicherweise reduzierten Einstellungen moderatere Skalenwerte angegeben worden sein. Um die beiden Standorte vollständig zu vergleichen, werden im Folgenden die verbleibenden Items aus Post- und Follow-Up-Test miteinander verglichen und anschließend den Ergebnissen der GLO1-Studie gegenübergestellt.

Motivationssteigerung:

Die Schüler:innen wurden in Post- und Follow-Up-Test befragt, inwiefern sie der Tag im Schülerlabor motiviert hat (N/F_SO_03: „Ich finde es sehr motivierend, einen Tag im Rahmen des Schülerlabores zu experimentieren.“). Für dieses Item kann anhand des Levene-Tests Varianzhomogenität angenommen werden. Im Itemmittelwert ergibt sich sowohl für den Post- als auch für den Follow-Up-Test eine hohe Motivationsbewertung, die allerdings von Post- zu Follow-Up-Test leicht absinkt ($M_{\text{post}} = 5,15 \mid M_{\text{followup}} = 5,03 \mid d_{\text{post/followup}} = -0,12$) (Tabelle 89). Die leichte Abnahme der Motivation ist allerdings nicht signifikant ($t(71) = 1,266; p = 0,210$). Wird die Stichprobe anhand der Interventionsorte getrennt, ist ein Unterschied zwischen beiden Standorten zu erkennen. Sowohl im Post- als auch im Follow-Up-Test zeigt die Interventionsgruppe Universität höhere Itemmittelwerte als die Interventionsgruppe Schule ($d_{\text{post}} = 0,22 \mid d_{\text{followup}} = 0,40$). Dieser Unterschied ist allerdings für beide Erhebungszeitpunkte nicht signifikant ($t_{\text{post}}(71) = -1,173; p = 0,245 \mid t_{\text{followup}}(70) = -1,571; p = 0,121$). Während in der Interventionsgruppe Schule ein leichtes Absinken der Motivationsbewertung von Post- zu Follow-Up-Test messbar ist, bleibt die Motivationsbewertung in der Interventionsgruppe Universität konstant ($d_{\text{post/followup,Schule}} = -0,18 \mid d_{\text{post/followup,Universität}} = 0,00$). Auch die anhand der Interventionsgruppen getrennte Motivationsänderung ist nicht signifikant ($t_{\text{Schule}}(48) = 1,498; p = 0,141 \mid t_{\text{Universität}}(22) = 0,000; p = 1,000$). Der Einfluss des Interventionsortes auf die Motivationssteigerung ist nicht signifikant ($F(1,70) = 2,142; p = 0,148; \eta^2 = 0,030$). Insgesamt lässt sich daher eine leicht höhere Motivation in der Interventionsgruppe Universität im Vergleich zur Interventionsgruppe Schule feststellen, die allerdings nicht signifikant ist.

Tabelle 89: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) der Motivationssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD
Mittelwert	72	5,15	0,87	5,03	1,03
Schule	49	5,08	0,91	4,90	1,12
Universität	23	5,30	0,77	5,30	0,77

Die Motivationssteigerung der Schüler:innen in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 107 dargestellt.

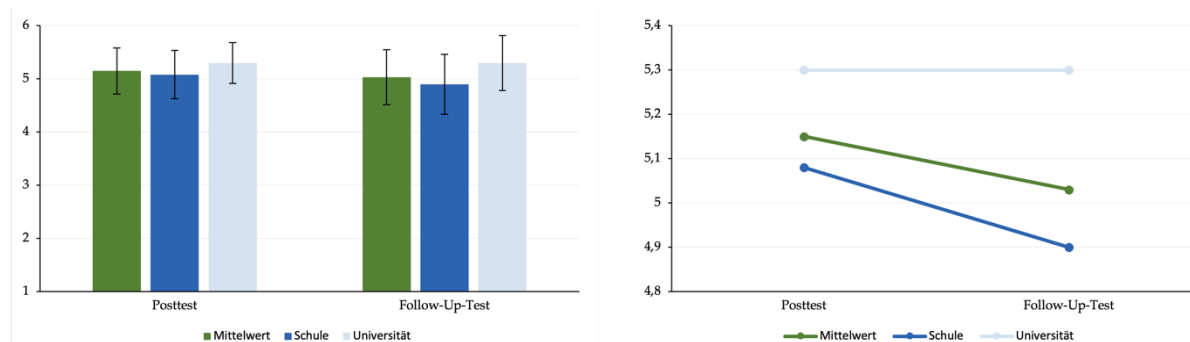


Abbildung 107: Motivationssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungzeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Erneute Teilnahme:

Die Schüler:innen wurden weiterhin gefragt, ob sie noch einmal am Schülerlabor teilnehmen würden (N/F_SO_04*: „Ich möchte lieber nicht nochmal am Schülerlabor teilnehmen.“). Für das Item kann für Post- und Follow-Up-Test Varianzhomogenität entsprechend des Levene-Tests angenommen werden. Insgesamt zeigen sich hier, vergleichbar zur Motivationssteigerung hohe bis sehr hohe Mittelwerte in Post- und Follow-Up-Test ($M_{\text{post}} = 5,25 \mid M_{\text{followup}} = 5,17$) (Tabelle 90). Vom Post- zum Follow-Up-Test nimmt die Zustimmung zur erneuten Teilnahme leicht ab ($d_{\text{post/followup}} = 0,08$), wenngleich diese Mittelwertsänderung nicht signifikant ist ($t(71) = 0,736; p = 0,464$). Im Vergleich der Interventionsgruppen Schule und Universität lässt sich am Standort Universität ein leicht höherer Mittelwert in Post- und Follow-Up-Test feststellen ($d_{\text{post}} = 0,08 \mid d_{\text{followup}} = 0,20$). Der Unterschied zu beiden Testzeitpunkten ist nicht signifikant ($t_{\text{post}}(71) = -0,672; p = 0,504 \mid t_{\text{followup}}(70) = -0,742; p = 0,460$). Es lässt sich kein signifikanter Zwischensubjekteffekt des Interventionsortes auf die Zustimmung zur erneuten Teilnahme messen ($F(1,70) = 0,445; p = 0,507; \eta^2 = 0,006$). Während in der Interventionsgruppe Universität keine Änderung des Itemmittelwertes von Post- zu Follow-Up-Test feststellbar ist ($d_{\text{Universität}} = 0,00$), ist am Interventionsort Schule eine leichte Abnahme des Mittelwertes messbar ($d_{\text{Schule}} = -0,12$). Die Mittelwertsänderung am Interventionsort Schule ist nicht signifikant ($t_{\text{Schule}}(48) = 0,785; p = 0,436$). Insgesamt zeigen sich für beide Interventionsorte hohe Zustimmungswerte für eine erneute Teilnahme am Schülerlabor. Die leichten Unterschiede zwischen beiden Interventionsorten sind nicht signifikant.

Tabelle 90: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur erneuten Teilnahme der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD
Mittelwert	72	5,25	0,84	5,17	1,08
Schule	49	5,22	0,87	5,10	1,20
Universität	23	5,30	0,77	5,30	0,77

Die Zustimmung der Schüler:innen zu einer erneuten Teilnahme am Schülerlabor in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 108 dargestellt.

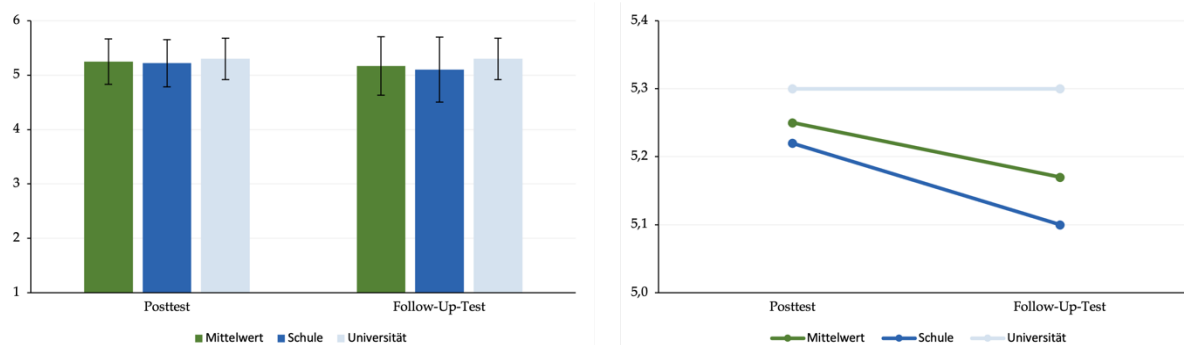


Abbildung 108: Zustimmung zur erneuten Teilnahme der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Steigerung des Interesses:

In Post- und Follow-Up-Test sollten die Schüler:innen letztlich angeben, ob der Besuch des Schülerlabores ihr Interesse am Chemieunterricht gesteigert hat (N/F_SO_05: „Der Besuch des Schülerlabors hat mein Interesse am Chemieunterricht gesteigert.“). Für dieses Item kann entsprechend des Levene-Tests Varianzhomogenität angenommen werden. Im Itemmittel zeigt sich sowohl für den Post- als auch für den Follow-Up-Test eine mittelhohe Steigerung des Interesses am Chemieunterricht der Schüler:innen ($M_{\text{post}} = 4,37 \mid M_{\text{followup}} = 4,34$) (Tabelle 91). Zwischen Post- und Follow-Up-Test ist keine signifikante Änderung des Mittelwertes messbar ($t(66) = 0,241; p = 0,810$). Ebenfalls zeigen beide Interventionsgruppen Schule und Universität keine signifikanten Unterschiede in Post- und Follow-Up-Test ($t_{\text{post}}(68) = -0,021; p = 0,983 \mid t_{\text{followup}}(68) = -0,337; p = 0,738$). Insgesamt ergibt sich daher für den Interventionsort kein Zwischensubjekteffekt ($F(1,65) = 0,053; p = 0,819; \eta^2 = 0,001$). Auffällig ist die im Vergleich zu den anderen Standortakzeptanzitems hohe Standardabweichung der Mittelwerte. Diese könnte darauf zurückzuführen sein, dass einige Schüler:innen bereits ein hohes Interesse am Chemieunterricht

aufweisen (vgl. Skalen zum Fachinteresse) und dieses durch die Intervention nicht weiter gesteigert worden ist. Im Gegensatz könnten einige Schüler:innen durch das Schülerlabor eine Interessensteigerung am Chemieunterricht erfahren haben. Eine Interpretation der Daten muss allerdings wie zuvor erwähnt konservativ erfolgen.

Tabelle 91: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Interessenssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD
Mittelwert	67	4,37	1,00	4,34	1,18
Schule	47	4,36	1,01	4,32	1,24
Universität	20	4,40	0,75	4,40	1,05

Die Steigerung des Interesses am Chemieunterricht der Schüler:innen in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 109 dargestellt.

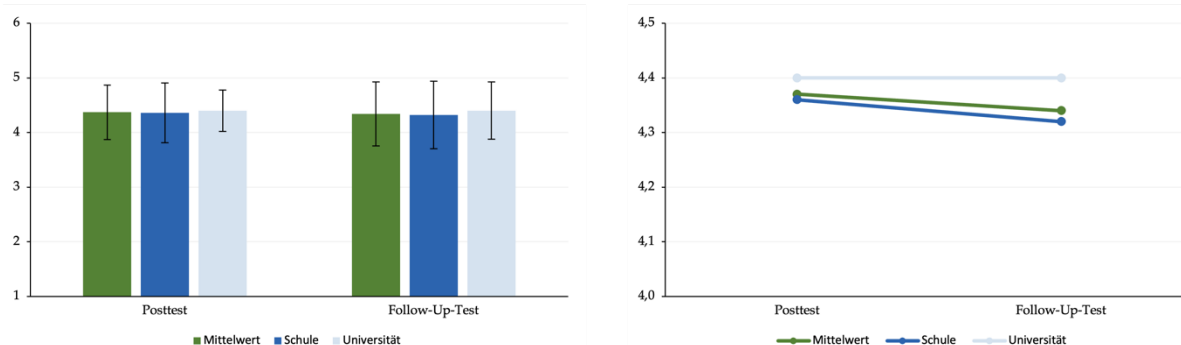


Abbildung 109: Interessenssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Spaß am Labortag:

Im Follow-Up-Test sollten die Schüler:innen retrospektiv Stellung nehmen, ob sie am Labortag „Es geht um die Wurst“ Spaß empfunden haben (F_SO_06). Im Mittel zeigen sich hohe Zustimmungswerte an beiden Interventionsorten ($M = 5,14$ | $M_{\text{Schule}} = 5,16$ | $M_{\text{Universität}} = 5,09$) (Tabelle 92). Die Mittelwerte beider Interventionsorte weichen nicht signifikant voneinander ab ($t(69) = 0,317$; $p = 0,752$), sodass ein Effekt des Interventionsortes auf das Spaßempfinden nicht gegeben ist. Insgesamt geben die Schüler:innen demnach an, am Schülerlabortag Spaß empfunden zu haben.

Tabelle 92: Mittelwerte (M) und Standardabweichung (SD) zum Spaß am Labortag der Schüler:innen im Follow-Up-Test in Abhängigkeit des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Follow-Up-Test	
		M	SD
Mittelwert	71	5,14	0,88
Schule	49	5,16	0,87
Universität	22	5,09	0,92

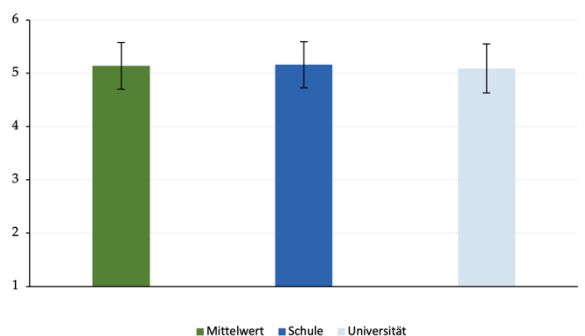


Abbildung 110: Interessenssteigerung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothese:

Die Akzeptanzbewertung des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II wurde insgesamt mit 6 Items überprüft, die nicht zu einem Konstrukt zusammengefasst werden können. Zunächst sollten die Schüler:innen bewerten, ob sie gerne häufiger außerschulische Lernorte in der Schule wahrnehmen wollen würden (V/N/F_SO01) und ob sie gerne häufiger außerschulische Lernorte außerhalb der Schule wahrnehmen wollen würden (V/N/F_SO_02). Diese beiden Items stellen keinen semantischen Gegensatz dar, da beispielsweise auch der Wunsch erfolgen kann, sowohl innerhalb als auch außerhalb der Schule mehr außerschulische Lernorte wahrzunehmen. Der Wunsch, außerschulische Lernorte innerhalb der eigenen Schule zu besuchen, ist bei den Schüler:innen an beiden Interventionsorten stark ausgeprägt. Durch die Intervention nimmt der Wunsch eines solchen Lernangebotes signifikant zu. Wenngleich die Interventionsgruppe Universität einen leicht höheren Zustimmungsmittelwert erzielt als die Interventionsgruppe Schule, ist der Zwischensubjekteffekt des Interventionsortes nicht signifikant. Ein ähnliches Bild zeichnet sich für den Wunsch nach einem Angebot außerschulischer Lernorte außerhalb der Schule ab. Beide Interventionsgruppen zeigen bereits im Vorfeld den Wunsch nach außerschulischen Lernorten außerhalb der Schule, wobei dieser Mittelwert nach der Intervention signifikant ansteigt. Im Gegensatz zum Wunsch nach außerschulischen Lernorten in der Schule zeigt sich bei diesem Item allerdings ein Zwischensubjekteffekt. Die Interventionsgruppe Universität zeigt bereits vor als auch unmittelbar nach der Intervention einen signifikant höheren Wunsch nach Lernangeboten außerhalb der Schule als die Interventionsgruppe Schule. Wird die Stichprobe anhand der Interventionsgruppen geteilt betrachtet, ergibt sich für die Interventionsgruppe Schule ein signifikant höherer Wunsch nach außerschulischen Lernangeboten in der Schule als außerhalb der Schule. Die Interventionsgruppe Universität wünscht sich hingegen außerschulische Lernangebote innerhalb und außerhalb der Schule gleichermaßen. Diese Effekte stehen zum Teil im Kontrast zu den Ergebnissen von Budke in der GLO1-Studie. In der von ihm untersuchten Stichprobe von Schüler:innen der Sekundarstufe I zeigt sich ebenfalls der Wunsch nach außerschulischen Lernangeboten innerhalb und außerhalb der Schule, wenngleich die Mittelwerte geringer ausfallen als in der GLO2-Studie (Tabelle 93).

Tabelle 93: Vergleich der Standortakzeptanzbewertung der Schüler:innen für außerschulische Lernorte innerhalb und außerhalb der eigenen Schule in der GLO1- (Budke, 2019) und GLO2-Studie. Dargestellt sind die jeweiligen Skalenmittelwerte *M* und Standardabweichungen (*SD*) in Klammern.

Testzeitpunkt	Interventionsort	Lernort innerhalb der Schule		Lernort außerhalb der Schule	
		GLO1	GLO2	GLO1	GLO2
Pretest	Mittelwert	4,51 (1,47)	4,81 (1,14)	3,74 (1,92)	4,34 (1,25)
	Schule	4,50 (1,43)	4,72 (1,19)	3,65 (1,63)	4,09 (1,08)
	Universität	4,55 (1,55)	5,00 (1,00)	3,98 (1,88)	4,86 (1,26)
Posttest	Mittelwert	4,89 (1,78)	5,15 (1,06)	4,21 (1,61)	4,63 (1,26)
	Schule	5,00 (1,26)	5,06 (0,86)	4,15 (1,57)	4,30 (1,31)
	Universität	4,62 (1,61)	5,33 (0,86)	4,38 (1,66)	5,32 (0,78)
Follow-Up-Test	Mittelwert	4,36 (1,55)	4,96 (1,03)	3,85 (1,67)	4,66 (1,17)
	Schule	4,37 (1,51)	4,79 (0,91)	3,71 (1,59)	4,39 (1,16)
	Universität	4,33 (1,68)	5,33 (0,91)	4,19 (1,82)	5,23 (0,97)

Es kann vermutet werden, dass in der Sekundarstufe II der Wunsch nach außerschulischen Lernorten größer ist als in der Sekundarstufe I. Weitere Unterschiede zeigen sich vor allem, wenn die jeweiligen Stichproben anhand des Interventionsortes aufgeteilt werden. In der GLO1-Studie wünschen sich die Schüler:innen, die das Schülerlabor an ihrer Schule durchgeführt haben, nach der Intervention stärker außerschulische Lernorte innerhalb der Schule, während Schüler:innen, die das Schülerlabor an der Universität durchgeführt haben, nach der Intervention außerschulische Lernorte außerhalb ihrer Schule präferieren. Dieser standort-korrelative Effekt zeigt sich in der GLO2-Studie nicht in gleichem Maße. Zwar wünschen sich auch hier die Schüler:innen, die das Schülerlabor an ihrer Schule durchgeführt haben, signifikant stärker weitere außerschulische Lernangebote in ihrer Schule als außerhalb, allerdings tritt innerhalb der Interventionsgruppe, die das Schülerlabor in der Universität durchgeführt haben, kein solcher Effekt auf. Gründe für diese Unterschiede können auf eine fehlende Imagination des jeweils anderen Lernortes zurückzuführen sein. Möglich ist, dass sich Schüler:innen, beispielsweise aufgrund einer bis zu diesem Zeitpunkt fehlenden Realisierung, einen außerschulischen Lernort stärker dort wünschen, wo sie ihn bislang durchgeführt haben. In der Sekundarstufe I kann dies bedeuten, dass die Schüler:innen mit Ausnahme des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ keinen Vergleich zu

anderen außerschulischen Lernorten abrufen können. Innerhalb der Kohorte der Sekundarstufe II besteht die Möglichkeit, dass für die gesamte Stichprobe zwar außerschulische Angebote innerhalb der Schule, nicht aber außerhalb der Schule bekannt bzw. abrufbar sind. Aufgrund der in beiden Studien fehlenden Befragung nach Vorerfahrungen mit außerschulischen Lernorten kann eine solche Frage nicht abschließend und eindeutig beantwortet werden.

In der GLO2-Studie konnte weiterhin gezeigt werden, dass die Schüler:innen hohe Zustimmungswerte zu einer Motivations- und Interessenssteigerung für den Chemieunterricht durch die Intervention zeigen, retrospektiv ein hohes Maß an Spaß durch die Intervention empfunden haben und einer erneuten Teilnahme am Schülerlabor zustimmen. In Bezug auf den Interventionsort zeigen sich für diese vier Items keinerlei signifikante Unterschiede, sodass davon ausgegangen wird, dass im Schülerlabor der Sekundarstufe II für diese Akzeptanzitems keinerlei standortbezogenen Differenzen auftreten. Dies steht zum Teil im Gegensatz zur von Budke durchgeführten GLO1-Studie. Budke konnte für alle vier Items signifikante Unterschiede des Interventionsortes feststellen. Für alle Items zeigten die Schüler:innen der Interventionsgruppe Schule höhere Akzeptanzbewertungen als die Schüler:innen der Interventionsgruppe Universität (Budke, 2019). Durch die hohe positive Affektion bei einer starken Verknüpfung zwischen Lern- und Interventionsort hatte Budke für GLO1 eine positivere Bewertung des außerschulischen Lernortes Schule im Vergleich zu außerschulischen Angeboten außerhalb der Schule vermutet. Diese Erwartung konnte in GLO1 bestätigt werden, da die Akzeptanzitems signifikant höhere Zustimmungswerte für das mobile als für das stationäre Schülerlabor aufweisen. Für GLO2 wurde antizipiert, dass bei älteren Schüler:innen zum einen eine größere Loslösung der Lernort-Interventions-Kongruenz vorliege, sowie aufgrund einer Neugiererfahrung der Besuch der Universität mit positiveren Affektionen bzw. Akzeptanzbewertungen einhergehe. Aufgrund der vorliegenden Daten kann dies nicht bestätigt werden. Vielmehr wird der generelle Wunsch nach außerschulischen Lernorten durch die Schüler:innen ausgedrückt und das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ unabhängig des Standortes positiv bewertet. Die Hypothese SO-H1 kann daher nicht angenommen werden.

SO-H1: Die Akzeptanzbewertung für das stationäre Schülerlabor durch die Schüler:innen ist höher als für das mobile Schülerlabor.

Umweltaffekt

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 94: Reliabilitätsanalyse für die Skala Umweltaffekt nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Umweltaffekt	7	0,762	0,817	0,785

Die Reliabilitätsanalyse zeigt akzeptable bis gute interne Konsistenzen für die Skala zum Umweltaffekt in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass für die Auswertung alle der Skala zugrundeliegenden Items berücksichtigt worden sind (Tabelle 94). Die Items der Skala sind in Tabelle 95 dargestellt.

Ergebnisse zum Umweltaffekt:

Das Konstrukt Umweltaffekt wurde in einer vierstufigen Likert-Skala erhoben. Die Ausprägung „1“ steht dabei für „stimme überhaupt nicht zu“, die Ausprägung „4“ für „stimme voll und ganz zu“. Für das Konstrukt Umweltaffekt kann eine Normalverteilung angenommen werden. Ebenso kann anhand des Levene-Tests für Pre-, Post- und Follow-Up-Test Varianzhomogenität angenommen werden. Da die Sphärizität verletzt ist (Mauchly-Test: $p = 0,032$), werden die Varianzanalysen Greenhouse-Geisser (0,912) korrigiert. Im Skalenmittel weisen die Schüler:innen einen sehr hohen Umweltaffekt auf, der sich über den Erhebungszeitraum hinweg kaum ändert ($d_{\text{pre/post}} = -0,02$ | $d_{\text{post/followup}} = 0,00$) (Tabelle 96). Sowohl für die Mittelwertsänderung von Pre- zum Post-Test als auch von Post- zu Follow-Up-Test ergibt sich kein signifikanter Effekt ($t_{\text{pre/post}}(72) = 0,771$; $p = 0,443$ | $t_{\text{post/followup}}(70) = -0,095$; $p = 0,925$). Auch über den gesamten Erhebungszeitraum ist kein signifikanter Haupteffekt feststellbar ($F(1,824.125,844) = 1,167$; $p = 0,311$; $\eta^2 = 0,017$). Wird die Stichprobe in die beiden Interventionsgruppen Schule und Universität getrennt, zeichnen sich leichte Unterschiede ab. Während der Skalenmittelwert

der Interventionsgruppe Schule nahezu konstant bleibt, sinkt der Skalenmittelwert der Interventionsgruppe Universität vom Pre- zum Post-Test leicht ab ($d_{\text{pre/post}} = 0,12$). Dieser Effekt am Interventionsort ist signifikant ($t_{\text{pre/post,Universität}}(22) = 2,256; p = 0,034$). Andere signifikante Mittelwertsänderungen an beiden Interventionsorten ergeben sich nicht. Die Unterschiede zwischen den Interventionsorten sind recht gering, sodass sich kein Zwischensubjekteffekt ergibt ($F(1,69) = 0,020; p = 0,888; \eta^2 = 0,000$). Ebenfalls ergibt sich kein Interaktionseffekt ($F(1,824.125,844) = 2,531; p = 0,089; \eta^2 = 0,017$). Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Umwelteffekt durch die Intervention lediglich am Standort Universität signifikant beeinflusst wird.

Tabelle 95: Items zur Erhebung des Umwelteffektes in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
UA_01	Menschengemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder das Plastik in den Weltmeeren empören mich.	Menschengemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder das Plastik in den Weltmeeren empören mich.	Menschengemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder das Plastik in den Weltmeeren empören mich.
UA_02	Der Klimawandel bedroht auch unsere Lebensgrundlagen hier in Deutschland.	Der Klimawandel bedroht auch unsere Lebensgrundlagen hier in Deutschland.	Der Klimawandel bedroht auch unsere Lebensgrundlagen hier in Deutschland.
UA_03	Es macht mich wütend, wenn ich sehe, dass Deutschland seine Klimaschutzziele verfehlt.	Es macht mich wütend, wenn ich sehe, dass Deutschland seine Klimaschutzziele verfehlt.	Es macht mich wütend, wenn ich sehe, dass Deutschland seine Klimaschutzziele verfehlt.
UA_04	Ich freue mich über Initiativen, die nachhaltige Lebensweisen einfach ausprobieren, zum Beispiel Ökodörfer oder „Plastiktütenfreies Osnabrück“.	Ich freue mich über Initiativen, die nachhaltige Lebensweisen einfach ausprobieren, zum Beispiel Ökodörfer oder „Plastiktütenfreies Osnabrück“.	Ich freue mich über Initiativen, die nachhaltige Lebensweisen einfach ausprobieren, zum Beispiel Ökodörfer oder „Plastiktütenfreies Osnabrück“.
UA_05	Ich ärgere mich, wenn mir andere vorschreiben wollen, dass ich umweltbewusst leben soll.*	Ich ärgere mich, wenn mir andere vorschreiben wollen, dass ich umweltbewusst leben soll.*	Ich ärgere mich, wenn mir andere vorschreiben wollen, dass ich umweltbewusst leben soll.*
UA_06	Die Umweltproblematik wird von vielen Umweltschützerinnen und Umweltschützern stark übertrieben.*	Die Umweltproblematik wird von vielen Umweltschützerinnen und Umweltschützern stark übertrieben.*	Die Umweltproblematik wird von vielen Umweltschützerinnen und Umweltschützern stark übertrieben.*
UA_07	Menschengemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder das Plastik in den Weltmeeren empören mich.	Menschengemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder das Plastik in den Weltmeeren empören mich.	Menschengemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder das Plastik in den Weltmeeren empören mich.

Tabelle 96: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Umwelteffekt der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	71	3,18	0,45	3,16	0,48	3,16	0,49
Schule	48	3,16	0,47	3,17	0,49	3,18	0,49
Universität	23	3,24	0,42	3,12	0,49	3,11	0,50

Der Umwelteffekt in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 111 dargestellt.

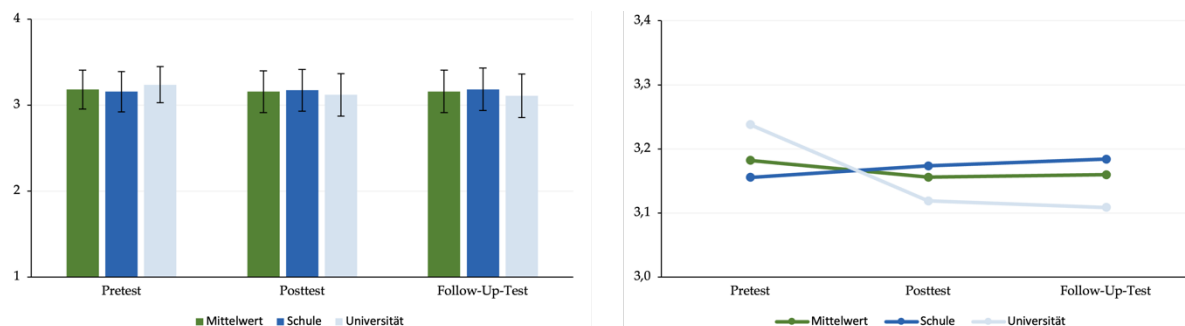


Abbildung 111: Umwelteffekt der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Wird die Stichprobe anhand des Geschlechtes geteilt, geben die Schülerinnen im Mittel leicht höhere Bewertungen des Umweltaffektes als die Schüler an ($d_{\text{pre}} = 0,10 \mid d_{\text{post}} = 0,03 \mid d_{\text{followup}} = 0,10$). Die erhaltenen Werte bedürfen keiner Korrektur, da Varianzhomogenität und Sphärizität angenommen werden können. Die leicht unterschiedlichen Werte beider Geschlechter ergeben allerdings für alle drei Erhebungszeitpunkte keine signifikanten Unterschiede ($p_{\text{pre}} = 0,261 \mid p_{\text{post}} = 0,640 \mid p_{\text{followup}} = 0,414$). Über den gesamten Erhebungszeitraum ergibt sich ebenfalls kein signifikanter Zwischensubjekteffekt des Geschlechtes ($F(1,69) = 0,491; p = 0,486; \eta^2 = 0,007$). Während bei den Schülerinnen der Umweltaffekt durch die Intervention von Pre- zu Posttest leicht sinkt und mittelfristig wieder leicht ansteigt, zeigen die Schüler ein gegensätzliches Verhalten. Durch die Intervention steigt der Umweltaffekt zunächst leicht an und sinkt anschließend mittelfristig im Follow-Up-Test wieder leicht. Die Änderungen der Mittelwerte in Abhängigkeit des Geschlechtes sind jedoch nicht signifikant. Ein Interaktionseffekt ist nicht signifikant feststellbar ($F(2,138) = 0,643; p = 0,527; \eta^2 = 0,009$). Es kann geschlussfolgert werden, dass die Schülerinnen im Mittel einen leicht höheren Umweltaffekt als die Schüler aufweisen, die geschlechterabhängigen Effekte allerdings nicht signifikant sind.

Tabelle 97: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Umweltaffekt der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	71	3,18	0,45	3,16	0,48	3,16	0,49
Weiblich	35	3,23	0,45	3,17	0,44	3,21	0,48
Männlich	36	3,13	0,45	3,14	0,53	3,11	0,51

Der Umweltaffekt in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Geschlecht ist in Abbildung 112 dargestellt.

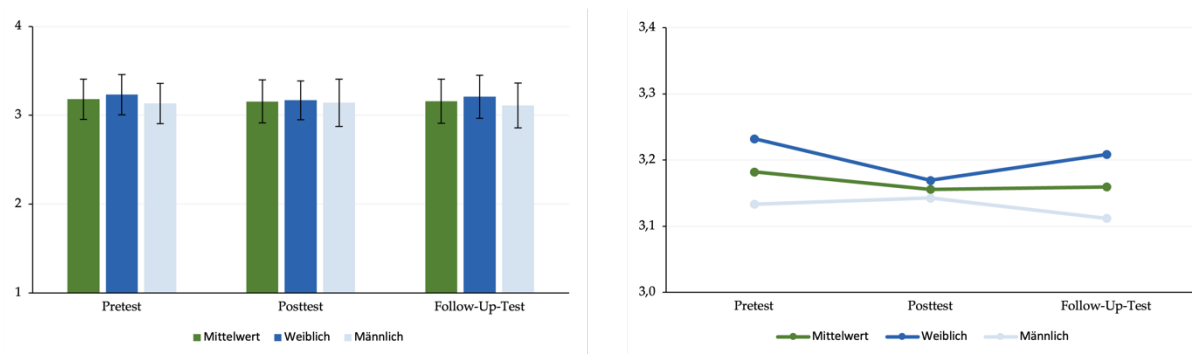


Abbildung 112: Umweltaffekt der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothesen:

Insgesamt ergibt sich für die Änderung des Umweltaffektes durch die Intervention kein signifikanter Haupteffekt. Wird die Stichprobe anhand des Interventionsortes aufgeteilt, ergibt sich für den Interventionsort Schule kein, für den Interventionsort Universität ein kleiner Effekt. Dennoch unterscheiden sich beide Standorte nicht signifikant voneinander. Da es sich bei dem Umweltaffekt um ein langfristiges Konstrukt handelt, das ein Bestandteil des Umweltbewusstseins ist, ist im Vorfeld davon ausgegangen worden, dass durch die Intervention keine signifikante Änderung des Umweltaffektes bei den Schüler:innen eintreten wird. Dies wird dadurch verstärkt, dass die Intervention lediglich Aspekte der ernährungsbezogenen Nachhaltigkeit bzw. des ernährungsbezogenen Umweltschutzes anspricht, sodass vermutlich auch nur Affektionen, die im Zusammenhang mit Ernährung bzw. dem Konsum tierischer und pflanzlicher Produkte im Zusammenhang stehen, betroffen sind. Die Erhebungen bestätigen diese Annahme, sodass die Hypothese UB-H1 verifiziert werden kann.

UB-H1: Die Intervention ist nicht in der Lage, den Umweltaffekt der Schüler:innen zu verändern.

In Abhängigkeit der Geschlechter zeigen sich keinerlei signifikante Effekte. Zwar weisen die am Schülerlabor teilnehmenden Schülerinnen im Mittel höhere Umweltaffekte als die teilnehmenden Schüler auf, diese Mittelwertsdifferenzen sind allerdings nicht signifikant. Im Vorfeld wurde angenommen, dass die am Schülerlabor teilnehmenden Schülerinnen höhere Umweltaffekte als die am Schülerlabor teilnehmenden Schüler aufweisen. Diese Hypothese wurde entsprechend der Studie des UBA gebildet, welche für Frauen höhere Umweltaffekte als für Männer gemessen haben (Umweltbundesamt, 2019). Dieser Effekt tritt in GLO2 nicht auf. Die Hypothese UB-H4 kann daher nicht angenommen werden.

UB-H4: Die an der Intervention teilnehmenden Mädchen weisen einen größeren Umweltaffekt als die teilnehmenden Jungen auf.

Im Vergleich zur Studie des UBA bewerten die Schüler:innen ihren Umweltaffekt im Mittel höher. Während die an der UBA teilnehmenden Erwachsenen einen durchschnittlichen Skalenmittelwert von 2,9 (genormt auf eine vierstufige Likert-Skala) erzielen, liegt der Skalenmittelwert für GLO2 bei ca. 3,2. Allerdings zeigen besonders „Junge Idealistische“ Personen, wie sie besonders häufig bei jungen Personen mit hohem Bildungsstandard vorkommen, einen Skalenmittelwert von 3,5. Der in GLO2 ermittelte Skalenmittelwert liegt folglich zwischen diesen beiden Werten. Es ist davon auszugehen, dass der ermittelte Wert durch das Vorkommen besonders von Umweltkatastrophen und Umweltverschmutzung betroffenen Schüler:innen höher liegt als der UBA-Durchschnitt. Die geringe Standardabweichung zeigt jedoch auch, dass die an der Intervention teilnehmenden Schüler:innen generell einen recht hohen Umweltaffekt aufweisen.

Umweltkognition

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 98: Reliabilitätsanalyse für die Skala Umweltkognition nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Umweltkognition	8	0,810	0,854	0,777

Die Reliabilitätsanalyse zeigt akzeptable bis gute interne Konsistenzen für die Skala zur Umweltkognition in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass für die Auswertung alle der Skala zugrundeliegenden Items berücksichtigt worden sind (Tabelle 98). Die Items der Skala sind in Tabelle 99 dargestellt.

Ergebnisse zur Umweltkognition:

Neben dem Umweltaffekt wurde als weitere Kenngröße des Umweltbewusstseins die Umweltkognition untersucht. Das Konstrukt wurde ebenfalls in einer vierstufigen Likert-Skala erhoben. Die Ausprägung „1“ steht dabei für „stimme überhaupt nicht zu“, die Ausprägung „4“ für „stimme voll und ganz zu“. Da für die Skalen keine Normalverteilung angenommen werden kann (Shapiro-Wilks: $p = 0,046$), muss die Interpretation der Daten konservativ erfolgen. Aufgrund einer ausreichenden Varianzhomogenität nach Levene und Sphärizität (Mauchly-Test: $p = 0,170$) können dennoch Varianzanalysen erfolgen. Die Umweltkognition der Schüler:innen zeigt sich über den gesamten Erhebungszeitraum konstant ($d_{\text{gesamt}} = 0,01$) (Tabelle 100). Folglich liegt kein Haupteffekt über den Erhebungszeitraum vor ($F(2.140) = 0,182$; $p = 0,833$; $\eta^2 = 0,003$). Die Umweltkognition der Schüler:innen wird daher durch die Intervention nicht beeinflusst. Wird die Stichprobe anhand des Interventionsortes geteilt, ergeben sich leichte Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Während von Pre- zu Posttest die Umweltkognition am Interventionsort Schule leicht sinkt, nimmt sie am Interventionsort Universität leicht zu. Für beide Standorte ist diese Mittelwertsänderung nicht signifikant ($p_{\text{pre/post,Schule}} = 0,304$ | $p_{\text{pre/post,Universität}} = 0,222$). Auch zwischen den Mittelwerten beider Interventionsorte liegen keine signifikanten Unterschiede vor ($p_{\text{pre}} = 0,992$ | $p_{\text{post}} = 0,343$ | $p_{\text{followup}} = 0,915$). Folglich ergibt sich kein Zwischensubjekteffekt des Interventionsortes auf die Umweltkognition ($F(1.70) = 0,022$; $p = 0,883$; $\eta^2 = 0,000$). Ein Interaktionseffekt ist trotz der unterschiedlichen Entwicklungen der Umweltkognition ebenfalls nicht signifikant ($F(2.140) = 1,743$; $p = 0,179$; $\eta^2 = 0,024$).

Tabelle 99: Items zur Erhebung der Umweltkognition in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
UK_01	Jede und jeder Einzelne trägt Verantwortung dafür, dass wir nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt hinterlassen.	Jede und jeder Einzelne trägt Verantwortung dafür, dass wir nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt hinterlassen.	Jede und jeder Einzelne trägt Verantwortung dafür, dass wir nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt hinterlassen.
UK_02	Wir sollten nicht mehr Rohstoffe verbrauchen, als nachwachsen können.	Wir sollten nicht mehr Rohstoffe verbrauchen, als nachwachsen können.	Wir sollten nicht mehr Rohstoffe verbrauchen, als nachwachsen können.
UK_03	Mehr Umweltschutz bedeutet auch mehr Lebensqualität und Gesundheit für alle.	Mehr Umweltschutz bedeutet auch mehr Lebensqualität und Gesundheit für alle.	Mehr Umweltschutz bedeutet auch mehr Lebensqualität und Gesundheit für alle.
UK_04	Wir müssen Wege finden, wie wir unabhängig vom Wirtschaftswachstum gut leben können.	Wir müssen Wege finden, wie wir unabhängig vom Wirtschaftswachstum gut leben können.	Wir müssen Wege finden, wie wir unabhängig vom Wirtschaftswachstum gut leben können.
UK_05	Es gibt natürliche Grenzen des Wachstums, die unsere industrialisierte Welt längst erreicht hat.	Es gibt natürliche Grenzen des Wachstums, die unsere industrialisierte Welt längst erreicht hat.	Es gibt natürliche Grenzen des Wachstums, die unsere industrialisierte Welt längst erreicht hat.
UK_06	Zugunsten der Umwelt sollten wir alle bereit sein, unseren derzeitigen Lebensstandard einzuschränken.	Zugunsten der Umwelt sollten wir alle bereit sein, unseren derzeitigen Lebensstandard einzuschränken.	Zugunsten der Umwelt sollten wir alle bereit sein, unseren derzeitigen Lebensstandard einzuschränken.
UK_07	Für ein gutes Leben sind andere Dinge wichtig als Umwelt und Natur.*	Für ein gutes Leben sind andere Dinge wichtig als Umwelt und Natur.*	Für ein gutes Leben sind andere Dinge wichtig als Umwelt und Natur.*
UK_08	Wir brauchen in Zukunft mehr Wirtschaftswachstum, auch wenn das die Umwelt belastet.*	Wir brauchen in Zukunft mehr Wirtschaftswachstum, auch wenn das die Umwelt belastet.*	Wir brauchen in Zukunft mehr Wirtschaftswachstum, auch wenn das die Umwelt belastet.*

Tabelle 100: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Umweltaffekt der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	72	3,20	0,44	3,20	0,46	3,21	0,45
Schule	49	3,21	0,41	3,17	0,45	3,21	0,44
Universität	23	3,18	0,52	3,26	0,49	3,20	0,45

Die Umweltkognition in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 113 dargestellt.

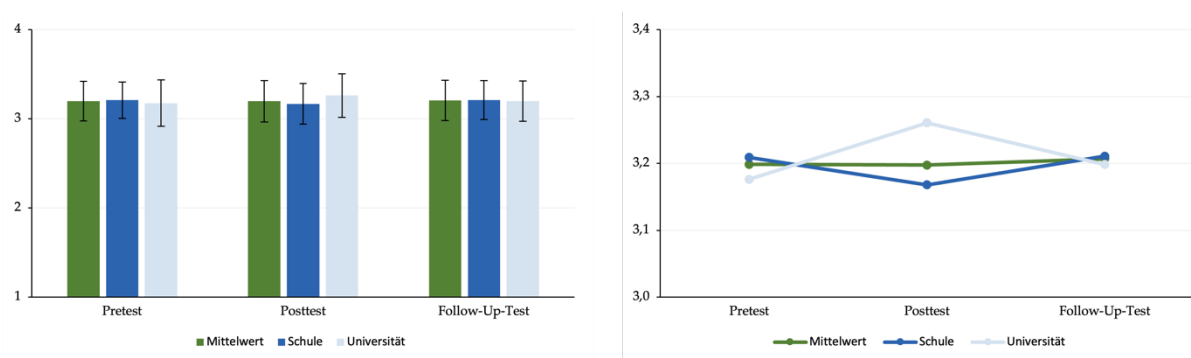


Abbildung 113: Umweltkognition der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Wird die Stichprobe anhand der Geschlechter aufgeteilt, kann Varianzhomogenität und Sphärizität angenommen werden. Zu Beginn der Erhebung, vor der Intervention, weisen die Schülerinnen eine leicht höhere Umweltkognition als die Schüler auf ($d_{pre} = 0,08$), wenngleich dieser Unterschied nicht signifikant ist ($t(71) = 1,083; p = 0,282$) (Tabelle 101). Unmittelbar nach der Intervention sinkt die Umweltkognition der Schülerinnen leicht ab, die der Schüler steigt leicht an, sodass die Differenz zwischen beiden Mittelwerten geringer wird ($d_{post} = 0,05$). Sechs Wochen nach der Intervention steigt die Umweltkognition der Schülerinnen stärker an, die Umweltkognition der Schüler sinkt stärker ab, sodass die Differenz

zwischen beiden Mittelwerten größer wird ($d_{\text{followup}} = 0,31$). Der Mittelwertsunterschied zum Zeitpunkt des Follow-Up-Tests ist signifikant ($t(70) = 2,175$; $p = 0,033$). Der Zwischensubjekteffekt des Geschlechtes ist allerdings nicht signifikant ($F(1,70) = 1,459$; $p = 0,231$; $\eta^2 = 0,020$), weshalb ein Unterschied zwischen den Geschlechtern hinsichtlich der Umweltkognition über den gesamten Erhebungszeitraum nicht angenommen werden kann. Allerdings zeigt sich ein mittlerer Interaktionseffekt, da sich die Mittelwerte in Abhängigkeit des Geschlechtes in unterschiedliche Ausprägungen entwickeln ($F(2,140) = 3,895$; $p = 0,023$; $\eta^2 = 0,053$).

Tabelle 101: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Umweltkognition der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	72	3,20	0,44	3,20	0,46	3,21	0,45
Weiblich	36	3,24	0,45	3,22	0,49	3,32	0,46
Männlich	36	3,16	0,44	3,17	0,44	3,01	0,42

Die Umweltkognition in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Geschlecht ist in Abbildung 114 dargestellt.

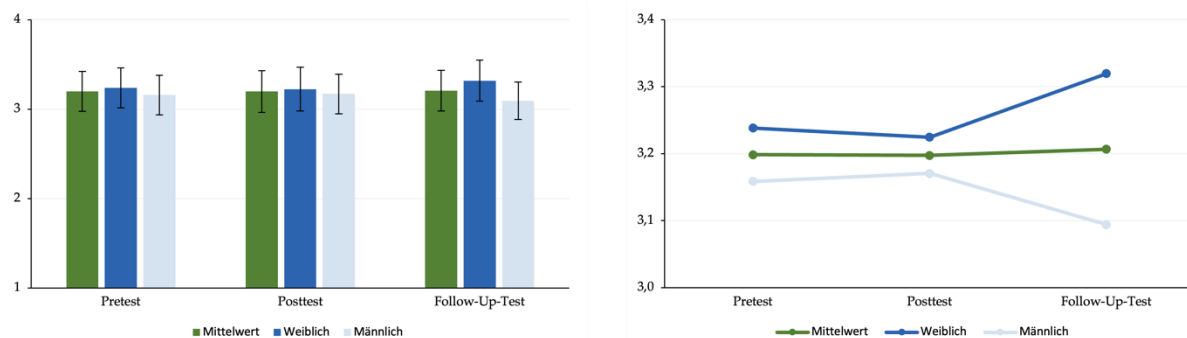


Abbildung 114: Umweltkognition der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothesen:

Die Umweltkognition zeigt im Laufe der Erhebung im Mittel keine signifikante Änderungen. Wird die Stichprobe getrennt in die Interventionsorte betrachtet, steigen die Mittelwerte am Interventionsort Universität von Pre- zu Posttest leicht an, während sie am Interventionsort Schule zunächst leicht absinken. Im Follow-Up-Test erreichen beide Interventionsorte näherungsweise wieder das Ausgangsniveau. Diese Effekte sind allerdings nicht signifikant. Aufgrund der Annahme, dass Bildungsformate die Umweltkognition kurzfristig positiv beeinflussen können, wurde antizipiert, dass dies auch für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ in der Sekundarstufe II gelingt. Entgegen der Hypothese konnte diese Annahme nicht bestätigt werden. Die Hypothese UB-H2 kann daher nicht angenommen werden.

UB-H2: Die Intervention beeinflusst die Umweltkognition der Schüler:innen kurzfristig positiv.

Gründe für eine nicht veränderte Umweltkognition können vielfältig sein. Zum einen umfasst das Konstrukt Umweltkognition zahlreiche Items, die sich nicht auf das Ernährungsverhalten der Schüler:innen beziehen. Es ist anzunehmen, dass das Schülerlabor nur Aspekte der Umweltkognition beeinflussen kann, die das Themenfeld direkt betreffen. Darüber hinaus liegt der Schwerpunkt des Schülerlabortages auf der Analyse von Inhaltsstoffen und Nährwerten der verschiedenen Wurstprodukte. Aspekte einer nachhaltigen und umweltbewussten Ernährung werden nur an einer Station explizit, an den anderen Stationen und in Vor- und Nachbesprechung implizit thematisiert. Möglicherweise ist die Auseinandersetzung mit Aspekten der Umweltkognition daher nicht groß genug, um diese kurz- oder gar mittelfristig zu beeinflussen.

Werden die Geschlechter getrennt voneinander betrachtet, zeigen die Schülerinnen im Mittel höhere Skalenmittelwerte für das Konstrukt Umweltkognition als die Schüler. Signifikant sind diese

Unterschiede allerdings nur im Follow-Up-Test, da hier die Umweltkognition der Schülerinnen stark ansteigt, die der Schüler allerdings stark sinkt. Über den gesamten Erhebungszeitraum hinweg lässt sich kein signifikanter Geschlechterunterschied feststellen. Anhand der Ergebnisse der Studie des UBA wurde angenommen, dass die Schülerinnen im Mittel eine höhere Umweltkognition als die Schüler aufweisen (Umweltbundesamt, 2019). Dies kann anhand der Ergebnisse in GLO2 teilweise bestätigt werden. Zwar ist kein signifikanter Haupteffekt messbar, andererseits liegen die Mittelwerte der Schülerinnen konsequent über den Skalenmittelwerten der Schüler und zeigen darüber hinaus signifikante Mittelwertsunterschiede zum Zeitpunkt des Follow-Up-Tests. Die Hypothese UB-H5 kann daher mit Einschränkungen angenommen werden.

UB-H5: Die an der Intervention teilnehmenden Mädchen weisen eine größere Umweltkognition als die teilnehmenden Jungen auf.

Wieso die Mittelwerte erst zum Zeitpunkt des Follow-Up-Tests signifikante Unterschiede zeigen, kann nicht eindeutig erklärt werden. Mögliche Erklärungsansätze können in einer notwendigen Verarbeitung der im Schülerlabor erworbenen Kenntnisse oder aber der Auseinandersetzung mit umweltrelevanten Inhalten im Schulunterricht nach der Intervention begründet liegen.

Allgemeines Umweltverhalten

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 102: Reliabilitätsanalyse für die Skala Allgemeines Umweltverhalten nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Allgemeines Umweltverhalten	5	<u>0,541</u>	<u>0,549</u>	<u>0,483</u>

Die Reliabilitätsanalyse zeigt schwache interne Konsistenzen zum Konstrukt Allgemeines Umweltverhalten (Tabelle 102). Die vom UBA entwickelten Skalen zeigen auch in der Originalpublikation schlechte Reliabilitäten, was bereits zuvor in dieser Arbeit diskutiert wurde. Die Skalen werden daher trotz geringer interner Konsistenz ausgewertet. Die Items der Skala sind in Tabelle 103 dargestellt.

Tabelle 103: Items zur Erhebung des Allgemeinen Umweltverhaltens in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
UV1_01	Für meine alltäglichen Wege benutze ich das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel oder gehe zu Fuß.	Für meine alltäglichen Wege benutze ich das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel oder gehe zu Fuß.	Für meine alltäglichen Wege benutze ich das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel oder gehe zu Fuß.
UV1_02	Beim Einkaufen wähle ich Produkte mit Umweltsiegel, zum Beispiel Blauer Engel, EU-Biosiegel oder EU-Ecolabel.	Beim Einkaufen wähle ich Produkte mit Umweltsiegel, zum Beispiel Blauer Engel, EU-Biosiegel oder EU-Ecolabel.	Beim Einkaufen wähle ich Produkte mit Umweltsiegel, zum Beispiel Blauer Engel, EU-Biosiegel oder EU-Ecolabel.
UV1_03/UV2_04 ¹	Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.	Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.	Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.
UV1_04/UV2_05 ¹	Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*	Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*	Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*
UV1_05	Wasser, Licht und elektrische Geräte lasse ich nur so lange an wie notwendig.	Wasser, Licht und elektrische Geräte lasse ich nur so lange an wie notwendig.	Wasser, Licht und elektrische Geräte lasse ich nur so lange an wie notwendig.

¹Die Items UV1_03 und UV2_04 sowie UV1_04 und UV2_05 sind inhaltlich identisch und wurden in der Erhebung lediglich einmal erhoben. Sie dienen zur Bestimmung des Allgemeinen Umweltverhaltens und des Themenspezifischen Umweltverhaltens.

Ergebnisse zum Allgemeinen Umweltverhalten:

Die Skalen zum Allgemeinen Umweltverhalten zeigen nach Shapiro-Wilks gute Näherungen der Normalverteilung. Entsprechend des Levene-Tests ist Varianzhomogenität erfüllt, für die Interventionsorbetrachtung liegt allerdings keine Sphärizität vor ($p < 0,001$), sodass die Werte Greenhouse-Geisser (0,777) korrigiert werden. Das Allgemeine Umweltverhalten ist über den gesamten Erhebungszeitraum moderat und nahezu konstant. Im Skalenmittel ergibt sich vom Pre- zum Posttest ein leichter Anstieg des Allgemeinen Umweltverhaltens ($d_{pre/post} = 0,07$), anschließend sinkt das Niveau wieder leicht ab

($d_{\text{post/followup}} = -0,05$) (Tabelle 104). Der Anstieg des Allgemeinen Umweltverhaltens von Pre- zu Posttest ist signifikant ($t(72) = -2,114$; $p = 0,038$), der anschließende Rückgang des Skalenniveaus hingegen nicht ($t(71) = 0,806$; $p = 0,423$). Über den gesamten Erhebungszeitraum ist kein Haupteffekt festzustellen ($F(1,554.108,804) = 0,783$; $p = 0,430$; $\eta^2 = 0,011$). Wird die Stichprobe in die Interventionsorte geteilt, zeigen sich leicht höhere Werte des Allgemeinen Umweltverhaltens am Interventionsort Schule als am Interventionsort Universität für alle drei Erhebungszeitpunkte. Dennoch ergibt sich anhand der Differenzen kein Zwischensubjekteffekt des Interventionsortes auf das Allgemeine Umweltverhalten ($F(1,554.108,804) = 0,783$; $p = 0,430$; $\eta^2 = 0,011$). An beiden Interventionsorten steigt das Umweltverhalten durch die Intervention leicht von Pre- zu Posttest und sinkt anschließend wieder leicht ab. Sowohl die Zunahme als auch der Rückgang des Allgemeinen Umweltverhaltens zu den jeweiligen Erhebungszeitpunkten sind nicht signifikant ($t_{\text{pre/post,Schule}}(49) = -1,786$; $p = 0,080$ | $t_{\text{pre/post,Universität}}(49) = -1,105$; $p = 0,281$). Aufgrund des ähnlichen Verlaufs der beiden Interventionsorte ergibt sich kein Interaktionseffekt ($F(1,554.108,804) = 0,057$; $p = 0,904$; $\eta^2 = 0,001$). Insgesamt kann eine Änderung des Allgemeines Umweltverhaltens durch die Intervention daher weder eindeutig angenommen noch abgelehnt werden.

Tabelle 104: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Allgemeines Umweltverhalten der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	72	3,56	0,69	3,63	0,72	3,58	0,71
Schule	49	3,59	0,71	3,66	0,76	3,56	0,72
Universität	23	3,50	0,66	3,57	0,63	3,54	0,70

Das Allgemeine Umweltverhalten in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Interventionsort ist in Abbildung 115 dargestellt.

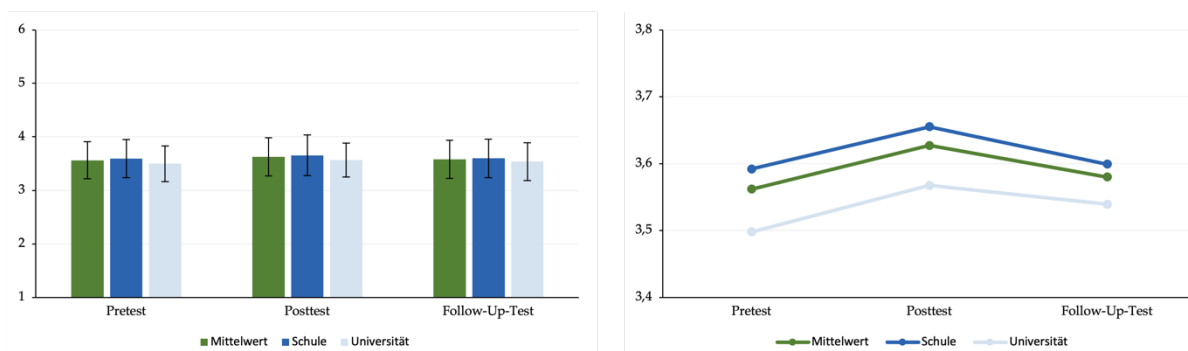


Abbildung 115: Allgemeines Umweltverhalten der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Wird die Stichprobe anhand der Geschlechter getrennt, ergeben sich höhere Skalenmittelwerte für die Schülerinnen in allen drei Erhebungszeitpunkten ($d_{\text{pre}} = 0,22$ | $d_{\text{post}} = 0,21$ | $d_{\text{followup}} = 0,24$). Der Unterschied zwischen beiden Geschlechtern ist allerdings für alle drei Zeitpunkte nicht signifikant ($p_{\text{pre}} = 0,112$ | $p_{\text{post}} = 0,164$ | $p_{\text{followup}} = 0,152$). Es ergibt sich kein Zwischensubjekteffekt des Geschlechtes auf das allgemeine Umweltverhalten ($F(1,70) = 2,059$; $p = 0,156$; $\eta^2 = 0,029$). Beide Geschlechter zeigen einen ähnlichen Verlauf des Allgemeinen Umweltverhaltens über den Erhebungszeitraum. Nach der Intervention steigt der Skalenmittelwert zunächst von Pre- zu Posttest an, anschließend fällt er im Follow-Up-Test wieder näherungsweise auf das Ausgangsniveau ab. Der Anstieg ist nur für die Schüler, nicht für die Schülerinnen signifikant ($t_{\text{pre/post,m}}(36) = -2,112$; $p = 0,042$ | $t_{\text{pre/post,w}}(35) = -1,019$; $p = 0,315$). Der anschließende Rückgang des Skalenmittelwertes zeigt bei beiden Geschlechtern keine signifikante Ausprägung ($p_{\text{post/followup,m}} = 0,254$ | $p_{\text{post/followup,w}} = 0,771$). Ein Interaktionseffekt ist nicht messbar ($F(2,140) = 0,056$; $p = 0,946$; $\eta^2 = 0,001$). Insgesamt lässt sich daher ein Einfluss des Geschlechtes auf die Ausprägung des Allgemeinen Umweltverhaltens messen, wenngleich diese Unterschiede nicht signifikant sind.

Tabelle 105: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Allgemeines Umweltverhalten der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	72	3,56	0,69	3,63	0,72	3,58	0,71
Weiblich	36	3,67	0,68	3,73	0,72	3,70	0,70
Männlich	36	3,45	0,71	3,52	0,72	3,46	0,71

Das Allgemeine Umweltverhalten in Abhängigkeit von Erhebungszeitraum und Geschlecht ist in Abbildung 116 dargestellt.

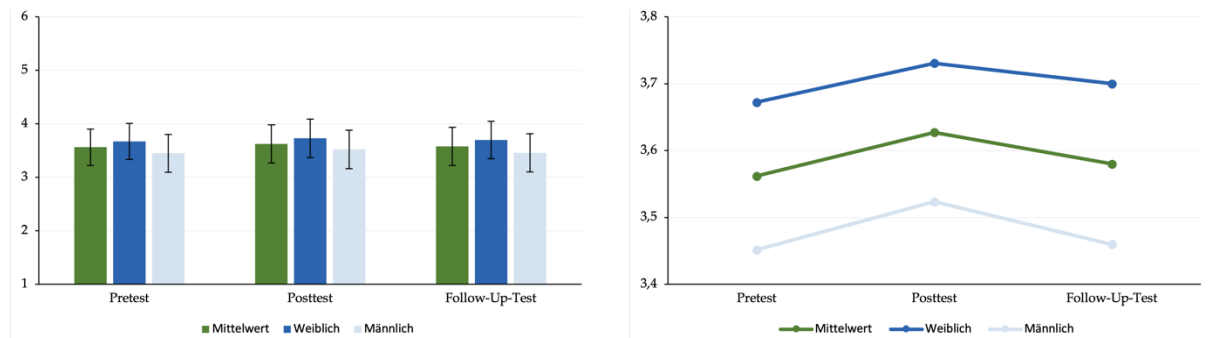


Abbildung 116: Allgemeines Umweltverhalten der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Die Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothesen erfolgt zusammen mit der Auswertung des themenspezifischen Umweltverhaltens.

Themenspezifisches Umweltverhalten Ernährung

Reliabilitätsanalyse:

Tabelle 106: Reliabilitätsanalyse für die Skala Themenspezifisches Umweltverhalten nach Cronbachs α .

Skala	Items	Cronbachs α		
		Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
Themenspezifisches Umweltverhalten	6	0,853	0,807	0,845

Die Reliabilitätsanalyse zeigt gute interne Konsistenzen zum Konstrukt Themenspezifisches Umweltverhalten zum Thema Ernährung in Pre-, Post- und Follow-Up-Test, sodass für die Auswertung alle der Skala zugrundeliegenden Items berücksichtigt worden sind (Tabelle 106). Die Items der Skala sind in Tabelle 107 dargestellt.

Tabelle 107: Items zur Erhebung des Themenspezifischen Umweltverhaltens in Pre-, Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Pretest	Posttest	Follow-Up-Test
UV2_01	Wenn ich zwischen einem Gericht mit und ohne Fleisch wählen kann, entscheide ich mich für die Variante ohne Fleisch.	Wenn ich zwischen einem Gericht mit und ohne Fleisch wählen kann, entscheide ich mich für die Variante ohne Fleisch.	Wenn ich zwischen einem Gericht mit und ohne Fleisch wählen kann, entscheide ich mich für die Variante ohne Fleisch.
UV2_02	Wenn ich weiß, dass die Tiere besser gehalten wurden, bezahle ich gerne mehr für mein Essen.	Wenn ich weiß, dass die Tiere besser gehalten wurden, bezahle ich gerne mehr für mein Essen.	Wenn ich weiß, dass die Tiere besser gehalten wurden, bezahle ich gerne mehr für mein Essen.
UV2_03	Bevor ich Lebensmittel kaufe, informiere ich mich zuerst über die Produktionsbedingungen.	Bevor ich Lebensmittel kaufe, informiere ich mich zuerst über die Produktionsbedingungen.	Bevor ich Lebensmittel kaufe, informiere ich mich zuerst über die Produktionsbedingungen.
UV2_04/UV1_03 ¹	Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.	Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.	Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert-biologischem Anbau.
UV2_05/UV1_04 ¹	Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*	Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*	Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.*
UV2_06	Ich achte darauf, mit meinem Essverhalten einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.	Ich achte darauf, mit meinem Essverhalten einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.	Ich achte darauf, mit meinem Essverhalten einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.

¹Die Items UV2_04 und UV1_03 sowie UV2_05 und UV1_04 sind inhaltlich identisch und wurden in der Erhebung lediglich einmal erhoben. Sie dienen zur Bestimmung des Allgemeinen Umweltverhaltens und des Themenspezifischen Umweltverhaltens.

Ergebnisse zum Themenspezifischen Umweltverhalten:

Neben dem Allgemeinen Umweltverhalten wurden Items zur Erhebung des Themenspezifischen Umweltverhaltens im Bereich Ernährung/Essverhalten entwickelt und erhoben. Für das Themenspezifische Umweltverhalten kann nach Shapiro-Wilks eine normalverteilte Stichprobe angenommen werden. Der Levene-Test ergibt Varianzhomogenität, die Sphärizität wird verletzt (Mauchly-Test: $p < 0,001$), sodass die erhaltenen Werte Greenhouse-Geisser (0,772) korrigiert werden. Im Skalenmittel zeigen sich moderate, im Vergleich zum Allgemeinen Umweltbewusstsein, leicht geringere Werte zum Themenspezifischen Umweltverhalten. Über den Erhebungszeitraum steigt der Skalenmittelwert zunächst von Pre- zu Posttest und anschließend von Post- zu Follow-Up-Test leicht an ($d_{pre/post} = 0,04$ | $d_{post/followup} = 0,02$). Beide Mittelwertsänderungen sind nicht signifikant ($t_{pre/post}(72) = -1,600$; $p = 0,114$ | $t_{post/followup}(71) = -0,229$; $p = 0,820$). Insgesamt ergibt sich folglich kein signifikanter Haupteffekt ($F(1,543.108,027) = 1,026$; $p = 0,361$; $\eta^2 = 0,014$). Wird die Stichprobe anhand der Interventionsorte aufgeteilt, zeigen sich unterschiedliche Verläufe an beiden Orten. Am Interventionsort Schule steigt der Skalenmittelwert nach der Intervention zunächst an ($d_{pre/post,Schule} = 0,05$) und bleibt im Follow-Up-Test nahezu konstant ($d_{post/followup,Schule} = 0,01$). Beide Effekte sind nicht signifikant ($p_{pre/post,Schule} = 0,191$ | $p_{post/followup,Schule} = 0,898$). Am Interventionsort Universität steigt der Skalenmittelwert von Pre- zu Posttest kontinuierlich an ($d_{pre/followup} = 0,13$). Auch hier ergibt sich kein signifikanter Effekt ($p_{pre/followup} = 0,170$). Zu allen Erhebungszeitpunkten liegen die Skalenmittelwerte der Interventionsgruppe Schule leicht über den Skalenmittelwerten der Interventionsgruppe Universität. Zu allen Testzeitpunkten sind diese Mittelwertsunterschiede allerdings nicht signifikant ($p_{pre} = 0,757$ | $p_{post} = 0,750$ | $p_{followup} = 0,910$). Insgesamt ergibt sich folglich auch kein Zwischensubjekteffekt des Interventionsortes auf das Themenspezifische Umweltverhalten ($F(1,70) = 0,125$; $p = 0,725$; $\eta^2 = 0,002$). Ebenso zeigt sich kein Interaktionseffekt ($F(1,543.108,027) = 0,380$; $p = 0,630$; $\eta^2 = 0,005$).

Tabelle 108: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Themenspezifisches Umweltverhalten der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	72	3,22	0,96	3,26	0,93	3,28	1,02
Schule	49	3,25	0,98	3,30	0,95	3,29	1,08
Universität	23	3,13	0,93	3,19	0,90	3,26	0,90

Das Themenspezifische Umweltverhalten in Abhängigkeit von Erhebungszeitpunkt und Interventionsort ist in Abbildung 117 dargestellt.

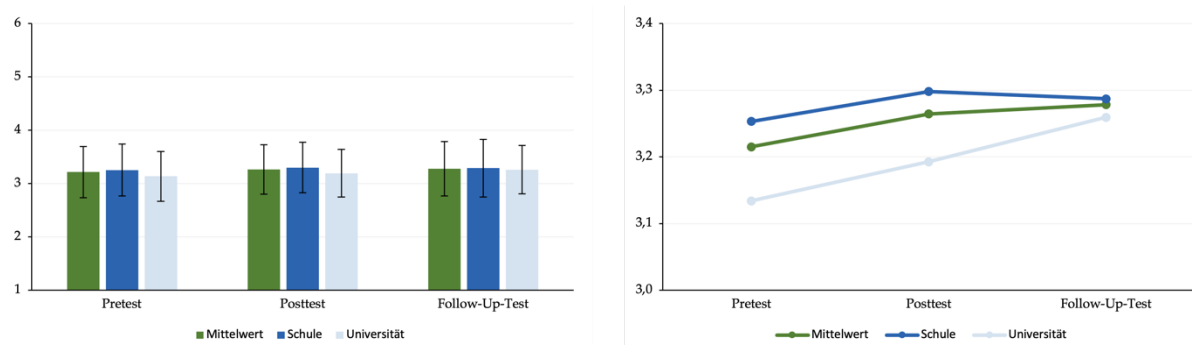


Abbildung 117: Themenspezifisches Umweltverhalten der Schüler:innen getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Für eine geschlechtergetrennte Betrachtung ergibt sich eine gute Varianzhomogenität, die Sphärizität wird verletzt ($p < 0,001$). Die erhaltenen Werte aus Varianzanalysen werden daher Greenhouse-Geisser (0,775) korrigiert. Die Schülerinnen weisen im Mittel zu allen drei Erhebungszeitpunkten ein höheres Themenspezifisches Umweltverhalten auf als die Schüler (Tabelle 109). Diese Unterschiede sind allerdings zu allen Zeitpunkten nicht signifikant, im Follow-Up-Test zeigt sich allerdings ein kleiner Effekt ($t_{followup}(70) = 1,850$; $p = 0,069$). Über den gesamten Erhebungszeitraum zeigt sich ein kleiner, nicht signifikanter Zwischensubjekteffekt des Geschlechtes auf das Themenspezifische Umweltverhalten ($F(1,70) = 2,179$; $p = 0,144$; $\eta^2 = 0,030$). Bei den Schülerinnen nimmt das Themenspezifische

Umweltverhalten im Laufe der Intervention nicht signifikant zu ($p_{\text{pre/post,w}} = 0,912 \mid p_{\text{post/followup,w}} = 0,186$). Die Schüler zeigen durch die Intervention hingegen einen signifikanten Anstieg des Themenspezifischen Umweltbewusstseins von Pre- zu Posttest ($t_{\text{pre/post,m}}(36) = -2,117; p = 0,041$), im Follow-Up-Test sinkt das Themenspezifische Umweltbewusstsein wieder leicht ab ($p_{\text{post/followup,m}} = 0,244$). Ein kleiner, nicht signifikanter Interaktionseffekt kann gemessen werden ($F(1,550.108,473) = 2,185; p = 0,132; \eta^2 = 0,030$). Insgesamt lässt sich feststellen, dass das Themenspezifische Umweltverhalten innerhalb der Stichprobe bei den Schülerinnen nicht signifikant stärker ausgeprägt ist als bei den Schülern. Die Änderung des Themenspezifischen Umweltverhaltens ist nicht signifikant abhängig vom Geschlecht.

Tabelle 109: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) des Konstruktes Themenspezifisches Umweltverhalten der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Pretest		Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD	M	SD
Mittelwert	72	3,22	0,96	3,26	0,93	3,28	1,02
Weiblich	36	3,67	0,68	3,73	0,72	3,70	0,70
Männlich	36	3,45	0,71	3,52	0,72	3,46	0,71

Das Themenspezifische Umweltverhalten in Abhängigkeit von Erhebungszeitpunkt und Geschlecht ist in Abbildung 118 dargestellt.

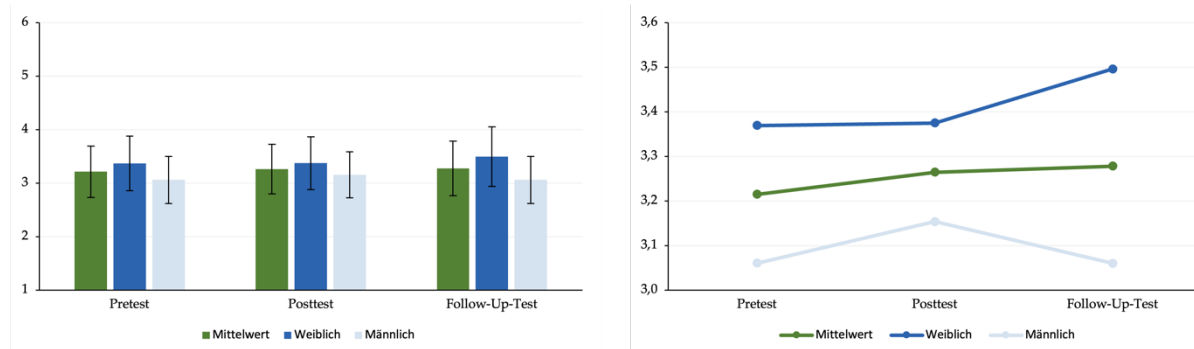


Abbildung 118: Themenspezifisches Umweltverhalten der Schüler:innen getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothesen:

Durch die Intervention steigen sowohl das Allgemeine als auch das Themenspezifische Umweltverhalten leicht an, wenngleich beide Haupteffekte nicht signifikant sind. Das Allgemeine Umweltverhalten wird von den Schüler:innen leicht höher bewertet als das Themenspezifische Umweltverhalten. Die vom UBA für das Allgemeine Umweltverhalten übernommene Skalen wurden mit weiteren Skalen zum Themenspezifischen Umweltverhalten ergänzt (Umweltbundesamt, 2019). Da es sich beim Umweltverhalten um stabile Konstrukte handelt, die sich durch Kurzinterventionen kaum beeinflussen lassen, wurde für beide Skalen angenommen, dass sie auch nach der Intervention keine signifikanten Änderungen zeigen. Entsprechend der in GLO2 gewonnenen Daten kann die Hypothese UB-H3 daher angenommen werden.

UB-H3: Die Intervention ist nicht in der Lage, das Umweltverhalten der Schüler:innen zu verändern.

Dass beide Skalen einen leichten Anstieg verzeichnen, kann auf umweltkognitive und umweltaffektive Einstellungen der Schüler:innen hindeuten. Ein weiterer Grund kann in der sozialen Erwünschtheit von Antworten begründet sein. Im Falle der hier durchgeführten Studie sind dazu vor allem zwei Effekte von Bedeutung. Die am Schülerlabor teilnehmenden Schüler:innen könnten vermuten, dass durch ihre Teilnahme eine erhöhte Tendenz zum Umweltverhalten von ihnen erwartet wird. Dies ist zum einen auf eine möglicherweise positive Affektion der Schüler:innen den das Schülerlabor durchführenden Personen gegenüber zurückzuführen, welche nach Ansicht der Schüler:innen möglicherweise eine positive Änderung des Umweltverhaltens wünschen (Krumpal, 2011), zum anderen ist besonders bei

Themen des Umweltschutzes und der Nachhaltigkeit eine gesellschaftliche Erwartungshaltung vorhanden, die bei den Schüler:innen zu einer verzerrt höheren Angabe des Umweltverhaltens führt (Durmaz et al., 2022; Vesely & Klockner, 2020). Der personenbezogene Verzerrungseffekt kann ursächlich für den im Posttest leicht gestiegenen Skalenmittelwert sein, während der soziale Verzerrungseffekt vermutlich zu einem generellen Shift des Mittelwertes zu einer positiveren Ausprägung hin wahrscheinlich ist. Dies stimmt mit Ergebnissen des UBA überein, die in einigen Fällen bei einer hohen Ausprägung des Umweltverhaltens schlechte Umweltbilanzen feststellen konnten (Umweltbundesamt, 2019).

Im Mittel zeigen die an der Intervention teilnehmenden Schülerinnen ein höheres Umweltverhalten als die an der Intervention teilnehmenden Schüler. Dies gilt sowohl für das Allgemeine als auch das Themenspezifische Umweltverhalten. Diese Effekte sind allerdings nicht signifikant. Da die abgebildeten Trends auch unter Einbezug der Standardabweichungen deutlich sind, kann davon ausgegangen werden, dass die Ergebnisse bei erneuter Erhebung mit größerer Stichprobe signifikant werden. Im Vorfeld wurde für GLO2 ein stärker ausgeprägter Umweltverhalten der Schülerinnen im Vergleich zu den Schülern antizipiert worden. Die Hypothese basiert auf den Erkenntnissen des UBA, welches ebenfalls für Frauen höhere Werte des Umweltverhaltens als für Männer feststellen konnte (Umweltbundesamt, 2019). In Anbetracht der fehlenden Signifikanz kann die Hypothese UB-H6 daher nur mit Einschränkungen angenommen werden.

UB-H6: Die an der Intervention teilnehmenden Mädchen weisen ein größeres Umweltverhalten als die teilnehmenden Jungen auf.

Einstellungen zur Ernährung

Kognitive Einstellungen zur Ernährung:

In Post- und Follow-Up-Test wurde untersucht, ob bei den Schüler:innen eine hohe Kognition für die eigene Ernährung vorliegt. Dies wurde anhand eines Items überprüft (Tabelle 110).

Tabelle 110: Item zur Erhebung der kognitiven Einstellungen zur Ernährung.

Codierung	Posttest	Follow-Up-Test
ER_01	Der Labortag „Es geht um die „Wurst“ hat dafür gesorgt, dass ich jetzt bewusster über meine Ernährung nachdenke.	Der Labortag „Es geht um die „Wurst“ hat dafür gesorgt, dass ich jetzt bewusster über meine Ernährung nachdenke.

Für das Item kann Varianzhomogenität angenommen werden. Im Posttest ergibt sich eine hohe Zustimmung, dass der Labortag dafür gesorgt habe, bewusster über die eigene Ernährung nachzudenken ($M = 4,20$) (Tabelle 111). Von Post- zu Followup-Test ergibt sich eine Abnahme des Mittelwertes ($d = -0,55$), die in einem hochsignifikanten Haupteffekt resultiert ($F(1,67) = 13,631; p < 0,001; \eta^2 = 0,169$). Wird die Stichprobe anhand der Interventionsorte getrennt, ist der Rückgang des Skalenmittelwertes am Standort Schule stärker ausgeprägt als am Standort Universität ($d_{\text{Schule}} = -0,64 \mid d_{\text{Universität}} = -0,37$). Der Rückgang ist nur für den Standort Schule signifikant ($t_{\text{Schule}(46)} = 4,162; p < 0,001 \mid t_{\text{Universität}} = 1,627; p = 0,119$). Es zeigt sich jedoch kein Interaktionseffekt des Interventionsortes auf die Änderung der Mittelwerte ($F(1,67) = 1,024; p = 0,315; \eta^2 = 0,015$). Ebenfalls ist kein Zwischensubjekteffekt des Interventionsortes auf die Ausprägung der kognitiven Einstellungen messbar ($F(1,67) = 0,341; p = 0,561; \eta^2 = 0,005$). Insgesamt kann angenommen werden, dass die Intervention zu einer kurzfristigen erhöhten kognitiven Auseinandersetzung mit der eigenen Ernährung geführt hat.

Tabelle 111: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Änderung der kognitiven Einstellungen zur Ernährung der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD
Mittelwert	69	4,20	1,16	3,65	1,35
Schule	47	4,19	1,26	3,55	1,43
Universität	22	4,23	0,92	3,86	1,17

Die kognitiven Einstellungen zur Änderung des eigenen Ernährungsverhaltens der Schüler:innen getrennt nach Erhebungszeitpunkt und Interventionsort sind in Abbildung 119 dargestellt.

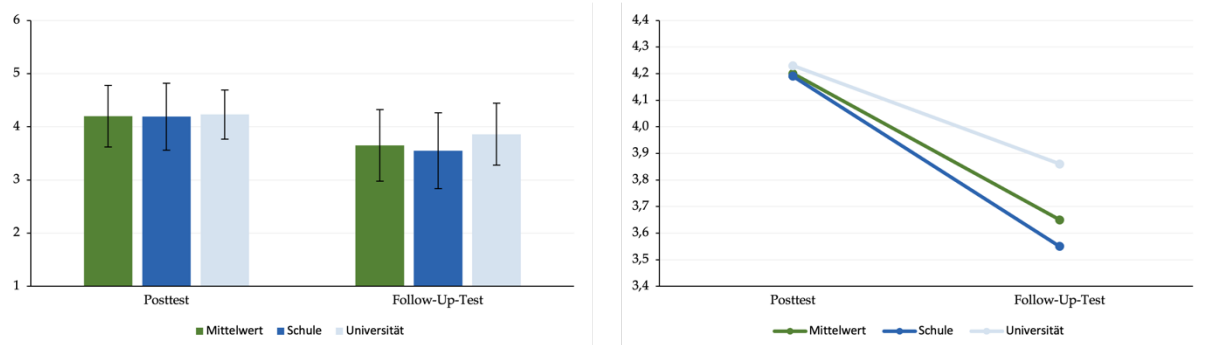


Abbildung 119: Kognitive Einstellungen zur Ernährung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Aufgeteilt in beide Geschlechter weisen die Schülerinnen höhere Mittelwerte zu beiden Erhebungszeitpunkten auf als die Schüler ($d_{\text{post}} = 0,29$ | $d_{\text{followup}} = 0,17$) (Tabelle 112). Die Unterschiede sind allerdings nicht signifikant ($p_{\text{post}} = 0,350$ | $p_{\text{followup}} = 0,617$). Damit ergibt sich auch kein Zwischensubjekteffekt des Geschlechtes ($F(1,67) = 0,696$; $p = 0,407$; $\eta^2 = 0,010$). Ebenfalls lässt sich kein Interventionseffekt messen ($F(1,67) = 269$; $p = 0,606$; $\eta^2 = 0,004$). Ein Einfluss des Geschlechtes auf die kognitiven Einstellungen zur eigenen Ernährung der Schüler:innen kann daher negiert werden.

Tabelle 112: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Änderung der kognitiven Einstellungen zur Ernährung der Schüler:innen im Schülerlabor in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechts.

Geschlecht	N	Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD
Mittelwert	69	4,20	1,16	3,65	1,35
Weiblich	34	4,35	1,23	3,74	1,44
Männlich	35	4,06	1,08	3,57	1,27

Die kognitiven Einstellungen zur Änderung des eigenen Ernährungsverhaltens der Schüler:innen getrennt nach Erhebungszeitpunkt und Geschlecht sind in Abbildung 120 dargestellt.

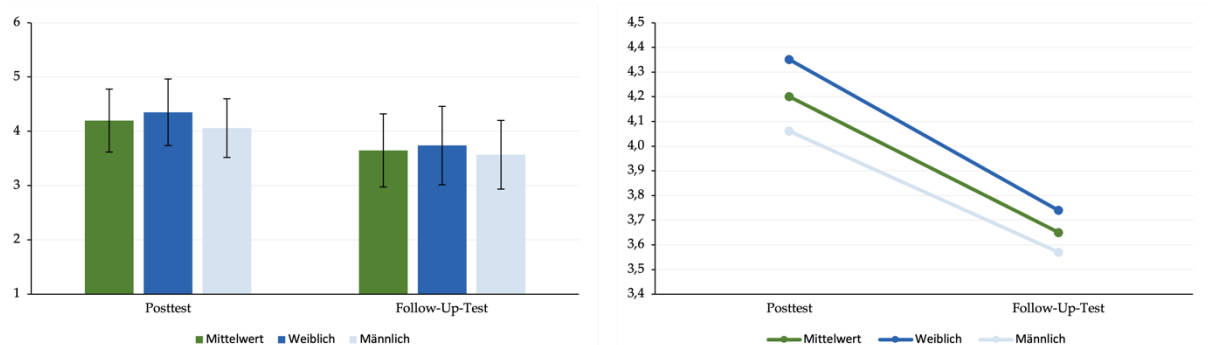


Abbildung 120: Kognitive Einstellungen zur Ernährung der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Handlungsbasierte Einstellungen zur Ernährung:

Weiterhin wurde in Post- und Follow-Up-Test erhoben, ob die Schüler:innen durch die Intervention ihre Ernährung ändern. Die Items weichen in Post- und Follow-Up-Test leicht voneinander ab (Tabelle 113).

Tabelle 113: Item zur Erhebung der Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen in Post- und Follow-Up-Test.

Codierung	Posttest	Follow-Up-Test
N/F_ER_02	Durch den Labortag „Es geht um die Wurst“ werde ich mein Essverhalten ändern.	Durch den Labortag „Es geht um die Wurst“ habe ich mein Essverhalten geändert.

Für die Änderung des Essverhaltens kann Varianzhomogenität angenommen werden. Insgesamt zeigen die Schüler:innen ein neutrales Verhältnis zu einer Änderung des Essverhaltens durch die Intervention ($M_{\text{post}} = 3,41$). Im Follow-Up-Test geben die meisten Schüler:innen an, ihr Essverhalten durch die Intervention nicht oder nur kaum geändert zu haben ($M_{\text{followup}} = 2,53$) (Tabelle 114). Im Vergleich zur Einschätzung ihres zukünftigen Verhaltens und dem tatsächlich eingetretenen Verhalten liegt ein hochsignifikanter, sehr starker Haupteffekt vor ($F(1,66) = 62,736; p < 0,001; \eta^2 = 0,487$). Die Unterschiede zwischen den Interventionsorten Schule und Universität sind sehr gering, sodass kein Zwischensubjekteffekt messbar ist ($F(1,66) = 0,329; p = 0,568; \eta^2 = 0,005$). Ebenfalls zeigt sich kein Interaktionseffekt ($F(1,66) = 0,188; p = 0,666; \eta^2 = 0,003$).

Tabelle 114: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Interventionsortes.

Interventionsort	N	Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD
Mittelwert	68	3,41	1,27	2,53	1,25
Schule	46	3,37	1,37	2,46	1,28
Universität	22	3,50	1,10	2,68	1,21

Die Änderung des Essverhaltens in Abhängigkeit von Erhebungszeitpunkt und Interventionsort ist in Abbildung 121 dargestellt.

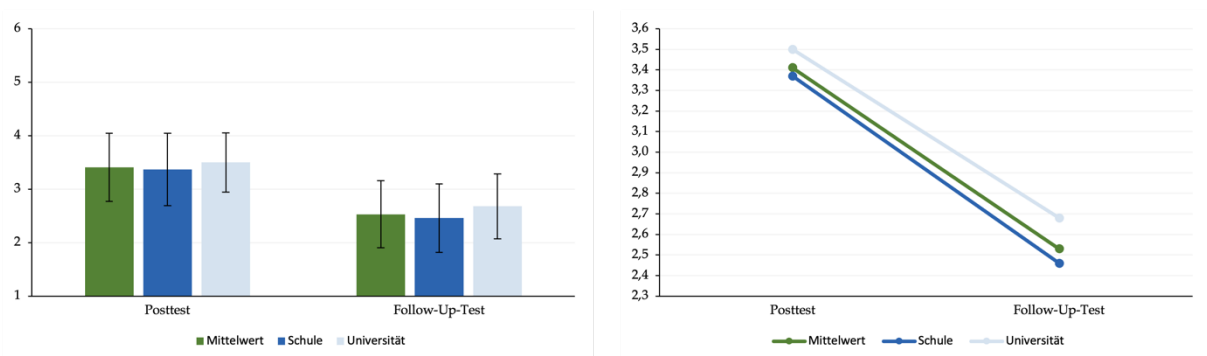


Abbildung 121: Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Interventionsort und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Wird die Stichprobe anhand der Geschlechter geteilt, ist ein leicht höherer Mittelwert für beide Erhebungszeitpunkte bei den Schülern festzustellen (Tabelle 115). Dieser Zwischensubjekteffekt ist nicht signifikant ($F(1,66) = 0,524; p = 0,472; \eta^2 = 0,008$). Beide Geschlechter zeigen über den Erhebungszeitraum ein Absinken des Skalenmittelwertes von Post- zu Follow-Up-Test. Ein Interaktionseffekt ist nicht messbar ($F(1,66) = 0,048; p = 0,826; \eta^2 = 0,001$). Insgesamt zeigt sich daher kein Einfluss des Geschlechts auf die Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen.

Tabelle 115: Mittelwerte (M) und Standardabweichungen (SD) zur Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen in Abhängigkeit des Erhebungszeitraums und des Geschlechtes.

Geschlecht	N	Posttest		Follow-Up-Test	
		M	SD	M	SD
Mittelwert	68	3,41	1,27	2,53	1,25
Weiblich	32	3,31	1,33	2,41	1,16
Männlich	36	3,50	1,23	2,64	1,33

Die Änderung des Essverhaltens in Abhängigkeit von Erhebungszeitpunkt und Interventionsort ist in Abbildung 122 dargestellt.

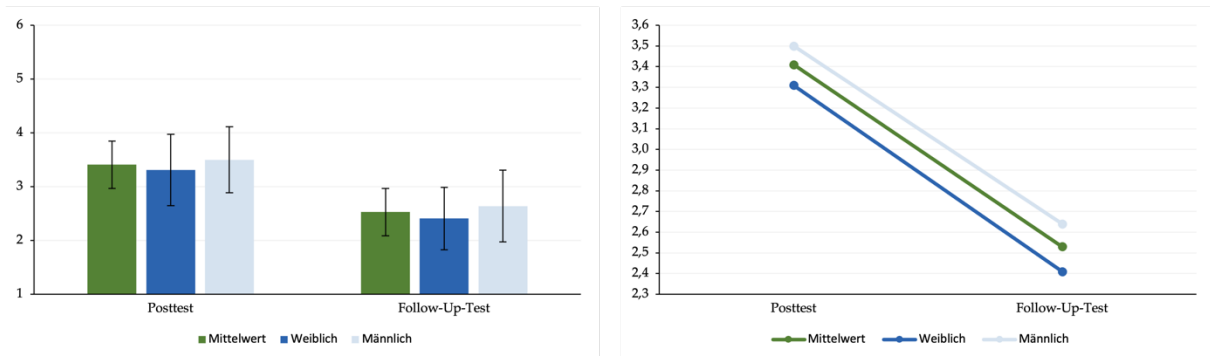


Abbildung 122: Änderung des Essverhaltens der Schüler:innen im Schülerlabor getrennt nach Geschlecht und Erhebungszeitpunkt. Fehlerbalken im linken Diagramm entsprechen den Standardabweichungen.

Zusammenfassung und Beantwortung der Hypothesen:

Die Einstellungen der Schüler:innen zu ihrer eigenen Ernährung wurden in Post- und Follow-Up-Test erhoben. Zunächst zeigt sich, dass die Schüler:innen unmittelbar nach dem Schülerlabor eine recht hohe Zustimmung zur Aussage „Der Labortag ‚Es geht um die Wurst‘ hat dafür gesorgt, dass ich jetzt bewusster über meine Ernährung nachdenke“ geben. Sechs Wochen später ist diese Zustimmung im Follow-Up-Test signifikant gesunken. Es wurde angenommen, dass eine kognitive Änderung zur eigenen Ernährung durch das Schülerlabor kurzfristig, unmittelbar nach der Intervention auftritt. Anhand der Ergebnisse kann die Hypothese ER-H1 angenommen werden.

ER-H1: Die Intervention führt bei den Schüler:innen kurzfristig zu einer hohen Bereitschaft, sich mit der eigenen Ernährung kritisch auseinanderzusetzen.

Signifikante Einflüsse des Interventionsortes und des Geschlechtes konnten nicht festgestellt werden. Weiterhin wurde überprüft, ob die Schüler:innen ihre eigene Ernährung (das Ernährungsverhalten) durch die Intervention ändern. Unmittelbar nach der Intervention zeigt sich ein neutrales Zustimmungs- / Ablehnungsverhältnis dieser Aussage bei den Schüler:innen. Im Follow-Up-Test ist die Zustimmung zu einer geänderten Ernährung weiter gesunken. Es ist davon auszugehen, dass einige Schüler:innen unmittelbar nach dem Schülerlabor in Erwägung gezogen haben, ihre Ernährung zu ändern, in der Retrospektive allerdings keine Änderung des eigenen Essverhaltens verfolgt haben. Da es sich bei der eigenen Ernährung um ein multidimensionales und stabiles Verhalten handelt, wurde antizipiert, dass die Intervention das Ernährungsverhalten nicht ändern kann. Anhand der Ergebnisse kann die Hypothese ER-H2 angenommen werden.

ER-H2: Die Intervention ist nicht in der Lage, das Ernährungsverhalten der Schüler:innen zu beeinflussen.

4.5 Abschließende Diskussion der Begleitstudie

4.5.1 Allgemeine Befunde zur GLO2-Studie

Das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II stellt wie sein Vorgänger für die Sekundarstufe I ein bereicherndes Angebot für Schüler:innen dar. Dies bestätigen die erhobenen Daten der Begleitstudie.

Interesse und Motivation

Wenngleich durch das Schülerlaborsetting das dispositionale Fach- und Sachinteresse der Schüler:innen nicht gesteigert werden kann, werden das Fähigkeitsselbstkonzept und verschiedene emotionale Konstrukte der Schüler:innen positiv beeinflusst. Zum einen lassen sich durch das Schülerlabor kurzfristig eine stark gesteigerte Freude und Interessiertheit am bzw. für den Chemieunterricht erkennen, zum anderen sinken durch die Intervention die Frustration und die Langeweile der Schüler:innen signifikant. Die kurzfristige Steigerung der emotionalen Konstrukte entspricht den Erfahrungen zahlreicher Schülerlabore und auch der Erhebung des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I (Budke, 2019; Engeln, 2004; Glowinski, 2007; Grave, 2015; Guderian, 2007; Jansen, 2021; Pawek, 2009; Wegner, 2008). Wenngleich dieses wie auch andere Schülerlaborsettings nicht in der Lage ist, langfristig Interesse für Naturwissenschaften zu generieren, kann durch das Auslösen positiver Emotionen eine situative Interessiertheit generiert werden. Das situative Interesse kann ein Baustein für die Entwicklung dispositionaler Interessenshaltungen für das Fach Chemie und für die Naturwissenschaften darstellen, wie Krapp im Allgemeinen und Scharfenberg und Bogner für Schülerlabore im Speziellen zeigten (Krapp, 1992; Scharfenberg & Bogner, 2015). Die Verknüpfung positiver Emotionen mit dem Schülerlabor kann für die Schüler:innen daher in Kombination mit anderen schulischen und außerschulischen Angeboten Interessenshaltungen fördern. Für die Ausprägung des dispositionalen Fach- und Sachinteresses ergeben sich in der GLO2-Studie keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Interventionsorten Schule und Universität sowie den Geschlechtern. Besonders in der Betrachtung des Posttests ist dies von Bedeutung, da das Schülerlaborsetting für alle Geschlechter gleichermaßen ansprechend sein soll und durch den sowohl stationären als auch mobilen Charakter des Laborangebotes lediglich organisatorische, nicht aber inhaltliche Vor- bzw. Nachteile entstehen sollen. Für die Erhebung zeigt sich weiterhin ein signifikanter Unterschied des Fach- und Sachinteresses zwischen Schüler:innen, die das Fach Chemie auf erhöhtem Anforderungsniveau belegen und Schüler:innen, die dies nicht tun. Das höhere Fach- und Sachinteresse von Schüler:innen im erhöhten Anforderungsprofil stützt das Konzept eines schwer veränderlichen, dispositionalen Interesses. Das höhere Interesse kann einen der hauptsächlichen Gründe für das Kurswahlverhalten darstellen und begründet dementsprechend die Interessenshaltung der Schüler:innen, die an der Begleitstudie teilgenommen haben.

Fähigkeitsselbstkonzept

Durch das Schülerlaborsetting lässt sich ein kurzfristiger, signifikanter Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzeptes bei den Schüler:innen feststellen. Das Fähigkeitsselbstkonzept beschreibt das Zutrauen in die eigenen Fähigkeiten (im Fach Chemie). Als zentraler Effekt für ein steigendes Fähigkeitsselbstkonzept durch die Intervention wird das hohe Maß an Eigenständigkeit und die Erfüllung der Selbstwirksamkeitsaspekte nach Deci und Ryan vermutet (Deci & Ryan, 1993). Darüber hinaus erhöhen Erfolgserlebnisse beim praktischen Arbeiten das Fähigkeitsselbstkonzept in entscheidendem Maße, was für das Schülerlabor ein ausschlaggebender Faktor sein kann. Das in der Literatur beschriebene, geringere Fähigkeitsselbstkonzept in den Naturwissenschaften von Mädchen (Marsh & Hattie, 1996; Wyatt & Eccles, 2008) lässt sich auch in der GLO2-Studie erkennen. Im Gegensatz zur Literatur ist der Effekt innerhalb dieser Studie allerdings nicht signifikant. Gründe für diese Erkenntnis können zum einen in der geringeren Stichprobe liegen, allerdings auch durch das Alter der Schüler:innen begründet sein. Während die vorliegenden Studien zumeist Schüler:innen der Sekundarstufe I (bzw. vergleichbare Jahrgangsstufen im internationalen Raum) oder die Gesamtheit der Schüler:innen betrachten, untersucht die GLO2-Studie ausschließlich Schüler:innen der Sekundarstufe II. Durch die Möglichkeit zur Abwahl naturwissenschaftlicher Fächer können Sekundäreffekte vermutet werden, die eine unsichtbare Präselektion der Stichprobe zur Folge haben. Dadurch ist es möglich, dass die an der Intervention teilnehmenden Schülerinnen ein durchschnittlich höheres Fähigkeitsselbstkonzept aufweisen als der zu erwartende Querschnitt aller Schülerinnen der Sekundarstufe II. Unabhängig davon steigt lediglich das

Fähigkeitsselbstkonzept der Schülerinnen, nicht aber das Fähigkeitsselbstkonzept der Schüler durch die Intervention signifikant an, was auf das höhere Basalniveau der Schüler zurückzuführen sein kann. Es ist als positiv zu bewerten, dass das Schülerlaborsetting zumindest kurzfristig besonders das Fähigkeitsselbstkonzept von Schülerinnen fördert, da ein unterschiedlich ausgeprägtes Fähigkeitsselbstkonzept im Zusammenhang mit höheren Misserfolgswahrscheinlichkeiten und Stereotypisierungen von Frauen und Mädchen in den Naturwissenschaften bzw. dem naturwissenschaftlichen Unterricht einhergeht (Frome & Eccles, 1998; Möller & Trautwein, 2009; Trautwein & Baeriswyl, 2007). Mittelfristig ergeben sich keine positiven Änderungen des Fähigkeitsselbstkonzeptes. Für eine dauerhafte Steigerung des eigenen Zutrauens für das Fach Chemie ist eine wiederkehrende Auseinandersetzung mit den Themen bei gleichzeitigem Erfolgserleben vermutlich erforderlich.

Emotionale Konstrukte

Die bereits zuvor erwähnten emotionalen Konstrukte zeigen eine stark positive Affektion der Schüler:innen mit dem Schülerlabortag. Während die positiv konnotierten emotionalen Konstrukte Freude und Interessiertheit kurzfristig hochsignifikant ansteigen, sinken die Skalenmittelwerte der negativ konnotierten emotionalen Konstrukte Frustration und Langeweile kurzfristig hochsignifikant ab. Alle emotionalen Konstrukte haben gemein, dass sie sechs Wochen nach der Intervention im Follow-Up-Test ungefähr auf das Ausgangsniveau gesunken bzw. gestiegen sind. Dies wurde bereits im Vorfeld für die vier genannten Konstrukte erwartet, da emotionale Konstrukte vorrangig durch situative Effekte beeinflusst werden. Während für den Pre- und den Follow-Up-Test daher die aktuellen Einstellungen zum Chemieunterricht (oder zum naturwissenschaftlichen Unterricht) die Skalenausprägungen bestimmen, wird die Skalenausprägung im Posttest überwiegend durch die Affektionen zum Schülerlabor beeinflusst. Die Schüler:innen sind durch den Schülerlabortag daher positiver affiziert als durch den Regelunterricht im Fach Chemie. Dieses Verhalten zeigt sich in vielen außerschulischen Lernorten, besonders Schülerlaboren, gleichermaßen. Interventionen, die lediglich einen (Schul-)Tag andauern und zusätzlich zumeist im Regelunterricht nicht vor- oder nachbereitet werden, zeigen hier besonders stark kurzfristige Affektionen (Brandt, 2005; Domjahn, 2013; Engeln, 2004; Glowinski, 2007; Runge et al., 2013; Scharfenberg, 2005; Wilde & Bätz, 2006). Damit die Ausprägung positiver Emotionen auch langfristig anhält und auf diesem Wege auch dispositionale Interessenshaltungen beeinflussen können, ist allerdings eine längere Auseinandersetzung mit den Themen von Nöten. Eine Implementation von Elementen des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“ in den Regelunterricht der Sekundarstufe II sollte daher überprüft werden. Berücksichtigt werden sollte hierbei, dass die positiven Emotionen unter anderem auf die Außergewöhnlichkeit des Labortages zurückzuführen sind und die Wertschätzung der Schüler:innen durch Nicht-Lehrpersonen einen positiven Einfluss auf die Emotionen der Schüler:innen besitzt. Budke konnte in seiner Studie über das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I zeigen, dass eine Implementation in den Regelunterricht grundsätzlich möglich ist, die Ausprägung positiver Emotionen allerdings deutlich geringer ausfällt als durch einen klassischen Schülerlabortag. Ob diese Unterschiede überwiegend auf den Einfluss der Lehrperson, die bei einer Unterrichtsreihe im Regelunterricht stark beteiligt ist, oder auf den Charakter eines ungewöhnlichen Schultages und die damit verbundene Wertschätzung für und durch die Begleitpersonen des Schülerlabortages zurückzuführen sind, wurde nicht getestet (Budke, 2019). Die emotionalen Konstrukte der Begleitstudie GLO2 zeigen keine signifikanten Einflüsse des Interventionsortes. Für die Schüler:innen entsteht folglich unabhängig des Schülerlaborstandortes Schule oder Universität keine signifikant unterschiedliche Freude, Frustration, Langeweile und Interessiertheit.

Umweltbewusstsein

Da das Schülerlabor GreenLab_OS Themen der Nachhaltigkeit und der BNE gewidmet ist, wurde ebenfalls der Einfluss des Schülerlabortages auf das Umweltbewusstsein der Schüler:innen getestet. Das Umweltbewusstsein wurde anhand der Umweltbewusstseinsstudie der UBA getrennt in die Konstrukte Umweltaffekt, Umweltkognition und Umweltbewusstsein erhoben. Darüber hinaus wurden eigene Skalen entwickelt, mit denen das Themenspezifische Umweltbewusstsein im Bereich Ernährung und das Essverhalten (kognitiv und handlungsbasiert) getestet wurde. Der Umweltaffekt, welcher die emotionale Bedeutsamkeit von Umweltverschmutzungen und Umweltkatastrophen für Einzelpersonen beschreibt, wurde durch die Intervention nicht signifikant beeinflusst. Dies ist voraussichtlich darauf zurückzuführen, dass der Umweltaffekt ein stabiles Konstrukt darstellt, welches durch Kurzinterventionen kaum beeinflusst wird (Umweltbundesamt, 2019). Darüber hinaus wurde der Umweltaffekt

nicht in Bezug zur Ernährung, sondern als „Allgemeiner Umweltaffekt“ erhoben, welcher beispielsweise auch den Affekt über die Verschmutzung der Meere mit Plastikmüll beinhaltet. Es ist nicht zu erwarten, dass ein Schülerlabor zum Thema Ernährung diese Items beeinflusst. Entgegen der vorherigen Annahme konnte kein Geschlechterunterschied gemessen werden. Im Querschnitt der Bevölkerung ist bei Frauen ein höherer Umweltaffekt als bei Männern festzustellen (Umweltbundesamt, 2019). Gründe für einen ausbleibenden Geschlechterunterschied können in der Nicht-repräsentativen Stichprobe und der fehlenden Ausrichtung der Items auf den Lebensalltag von Jugendlichen und jungen Erwachsenen liegen. Die Umweltkognition, die die wissentliche Wahrnehmung der eigenen Umwelt durch Individuen beschreibt, wird durch die Intervention ebenfalls nicht signifikant beeinflusst. Dennoch weisen die Schülerinnen höhere Zustimmungswerte als die Schüler auf. Wenngleich ein Einfluss durch die Intervention erwartet worden ist, kann der ausbleibende Effekt mit der nicht passgenauen Ausrichtung des Schülerlabores auf die Items zur Umweltkognition sowie der Stabilität des Konstruktes erklärt werden. Die leicht höhere Mittelwertsausprägung bei den Schülerinnen entspricht hingegen den aktuellen Studien des UBA zum Geschlechterunterschied der Umweltkognition (Umweltbundesamt, 2019). Sowohl der Umweltaffekt als auch die Umweltkognition ähneln den vom UBA erhobenen Daten für einen Bevölkerungsquerschnitt. Der Umweltaffekt liegt leicht über den erhobenen Daten, die Umweltkognition weist einen nahezu identischen Mittelwert auf (Umweltbundesamt, 2019). Das Allgemeine Umweltverhalten, das ein tatsächliches Umwelthandeln mit einbezieht, ändert sich durch die Intervention ebenfalls nicht signifikant. Von den drei erhobenen Umweltbewusstseinskonstrukten handelt es sich beim Umweltverhalten um das zeitlich stabilste. Änderungen am Umweltverhalten treten zumeist nur bei gleichzeitig hoher Affektion und Kognition sowie dauerhafter Beschäftigung mit der Thematik auf. Darüber hinaus kann auch bei hohem Affekt und hoher Kognition ein Umweltverhalten im Sinne eines Umwelt-positiven Handelns ausbleiben (Preisendörfer & Franzen, 1996). Das Ausbleiben einer signifikanten Änderung des Umweltverhaltens durch die Intervention war dementsprechend zu erwarten. Weiterhin umfasst das Allgemeine Umweltverhalten, wie bereits die Konstrukte Umweltaffekt und Umweltkognition, überwiegend Aspekte, die nicht auf das Thema Ernährung fokussiert sind. Eine Änderung des Allgemeinen Umweltverhaltens ist daher auch aus diesem Grund nicht zu erwarten gewesen. Mit Einschränkungen kann eine höhere Ausprägung des Umweltverhaltens bei den Schülerinnen als bei den Schülern in der Stichprobe signifikant festgestellt werden. Dies entspricht den Ergebnissen der UBA-Studie zum Umweltbewusstsein, in welcher ebenfalls ein für Frauen stärker ausgeprägtes Umweltverhalten ermittelt wurde. Die Skalen zum Themenspezifischen Umweltverhalten wurden für GLO2 entwickelt und validiert. Sie zeigen ebenfalls eine höhere Ausprägung bei den Schülerinnen, ändern sich aber durch die Intervention nicht signifikant. Dies ist vermutlich ebenfalls auf die Stabilität des Konstruktes zurückzuführen. Dass die Skalenmittelwerte leicht unter den Mittelwerten des Allgemeinen Umweltverhaltens liegen, kann auf den höheren Lebensweltbezug des Themenspezifischen Umweltverhaltens für die Schüler:innen zurückgeführt werden. Die eigene Ernährung betrifft alle Schüler:innen direkt, während Aspekte des Allgemeinen Umweltverhaltens (z.B. Stromsparen, Einkaufen von Produkten aus ökologischer Produktion) den Lebensalltag von Schüler:innen, die zumeist von ihren Eltern versorgt werden, nur indirekt betrifft. Daraus können sich erhöhte Mittelwerte für das Allgemeine Umweltverhalten ergeben, da die Schüler:innen die Ausprägung der Items abschätzen und aufgrund einer sozialen Erwünschtheit oder Fehleinschätzung fälschlich zu hoch bewerten. Dies kann ebenfalls den für das Allgemeine Umweltverhalten im Vergleich zur UBA-Erhebung höheren Durchschnittswert erklären. Zuletzt wurden die Schüler:innen nach den Einstellungen zu ihrem individuellen Essverhalten befragt. Während sich kurzfristig eine hohe Bereitschaft der Schüler:innen zeigt, sich mit der eigenen Ernährung auseinanderzusetzen, tritt eine mittelfristige Änderung des Essverhaltens nicht ein. Dies entspricht einer sich leicht ändernden Umweltkognition, die aber nicht zu einem geänderten Umweltverhalten bzw. Umwelthandeln führt. Die auf die eigene Ernährung bezogenen Items bestätigen das auch im Allgemeinen durch das UBA erhobene Verhältnis der Konstrukte zueinander. Insgesamt zeigen die Schüler:innen der GLO2-Studie ein im Vergleich zur gesamten Bevölkerung höheres Umweltbewusstsein. Dennoch zeigt sich, dass ein eintägiges Schülerlaborangebot die Konstrukte Umweltaffekt, Umweltkognition und Umweltverhalten nicht signifikant beeinflussen kann. Um eine Änderung des Umweltbewusstseins bei Schüler:innen zu erreichen, sind langfristige Auseinandersetzungen mit umweltrelevanten Themen im Sinne der BNE von Nöten. Berücksichtigt werden muss in diesem Zusammenhang allerdings auch, dass das Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ keinen reinen Beitrag zur BNE, sondern vielmehr einen Beitrag zum Chemieunterricht der Sekundarstufe II darstellt, der an verschiedenen Stellen an umwelt- und

nachhaltigkeitsrelevante Themen anknüpft. Durch eine höhere Bindung an BNE-basierte Themen und eine stärkere Fokussierung von Nachhaltigkeitsaspekten der Ernährung könnte ein zumindest kurzfristig steigender Umweltaffekt und eine kurzfristig steigende Umweltkognition zu erwarten sein. Die Standortakzeptanz wird in Kapitel 4.5.2 zusammen mit der GLO1-Studie von Budke ausgewertet.

4.5.2 Vergleich der GLO2-Studie mit der GLO1-Studie

Die im Rahmen dieser Dissertation entwickelte und durchgeführte Studie knüpft an die Erhebung von Budke an, der das Interesse, das Selbstkonzept, die Affektivität und die Standortakzeptanz von Schüler:innen der Sekundarstufe I für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ untersucht hat (Budke, 2019). Wie zuvor beschrieben, wurden die beschriebenen Konstrukte (mit Ausnahme des Umweltbewusstseins) daher mit identischen oder wenn nötig vergleichbaren Items erhoben, um eine anschließende Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

Interesse und Motivation

Das dispositionale Fach- und Sachinteresse konnte durch beide Schülerlaborangebote nicht signifikant verbessert werden, während sich in der GLO1-Studie eine signifikante Abnahme des Fachinteresses am Interventionsort Schule ergab. Darüber hinaus sinkt das Sachinteresse in der GLO1-Studie für beide Geschlechter kurzzeitig signifikant. Das Fach- und Sachinteresse in der GLO2-Studie bleiben in Betrachtung aller Parameter über den gesamten Erhebungszeitraum stabil, Interventionsort und Geschlecht nehmen folglich keinen Einfluss auf die dispositionalen Interessenshaltungen. Generell lassen sich in GLO2 höhere Skalenmittelwerte für beide Konstrukte feststellen als in GLO1. Die feststellbaren Unterschiede können auf verschiedene Ursachen zurückgeführt werden. Es entsteht eine dispositionale Interessenshaltung neben verschiedenen Einflüssen auch aus der Summe der Einzelerfahrungen mit der jeweiligen Thematik. Mit steigendem Alter weisen Schüler:innen eine höhere Zahl an Auseinandersetzungen mit dem Fach Chemie auf als noch in der 7. bzw. 8. Klasse. Da der Chemieunterricht in Niedersachsen zum Teil erst ab der Jahrgangsstufe 7 in der Stundentafel der Schüler:innen enthalten ist, entspricht die Durchführung des Schülerlabortages in diesen Jahrgängen einer Intervention während des Anfangsunterrichtes im Fach Chemie. Aufgrund einer wesentlich geringeren Vorerfahrung mit dem Fach kann der Schülerlabortag einen höheren Einfluss auf die dispositionalen Interessenshaltungen für das Fach Chemie und die Naturwissenschaften im Allgemeinen haben als in der Sekundarstufe II (Jahrgang 12 und 13) der Fall ist. Wieso das Fach- und Sachinteresse in der GLO1-Studie leicht absanken, konnte durch Budke nicht eindeutig beantwortet werden. Das generell höhere Fach- und Sachinteresse in GLO2 erscheint zunächst verwunderlich, da Fächerbeliebtheitsstudien mit steigendem Alter zumeist ein sinkendes Interesse für das Fach Chemie erkennen lassen. Am Ende der Sekundarstufe I gehört Chemie neben Physik zu den unbeliebtesten Fächern im Schulfächerkanon und wird folglich als häufigstes aller Fächer zum Eintritt in die gymnasiale Oberstufe abgewählt (Eitemüller & Walpuski, 2018). Hauptgründe für die Abwahl des Faches liegen im fehlenden Zutrauen in die eigenen Kenntnisse und Fähigkeiten sowie einem mangelnden Interesse für das Fach Chemie (Eitemüller & Walpuski, 2018; Hülsmann, 2015). Das durchschnittlich höhere dispositionale Fach- und Sachinteresse in der GLO2-Studie im Vergleich zur GLO1-Studie kann möglicherweise auf das Kurswahlverhalten der Schüler:innen zurückzuführen sein. Während innerhalb der Stichprobe der GLO1-Studie noch keine Abwahl des Faches Chemie möglich war, besteht die Stichprobe der GLO2-Studie fast ausschließlich aus Schüler:innen, die sich bewusst für das Fach Chemie in der Sekundarstufe II entschieden haben. 50 der Schüler:innen der GLO2-Stichprobe haben das Fach Chemie darüber hinaus auf erhöhtem Anforderungsniveau gewählt, lediglich 23 Schüler:innen belegen das Fach auf grundlegendem Niveau, als Seminarfach oder belegen das Fach nicht (mehr). Wie die GLO2-Studie zeigt, ist das Fach- und Sachinteresse der Schüler:innen mit einer Belegung des Faches auf erhöhtem Anforderungsniveau besonders stark ausgeprägt, wodurch sich der Mittelwertsunterschied zwischen beiden Studien ergeben kann.

Fähigkeitsselbstkonzept

In beiden Studien zeigt sich ein kurzfristiger, signifikanter Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzeptes für die gesamte Stichprobe. In GLO2 ist der Anstieg des Fähigkeitsselbstkonzeptes durch die Intervention bei den Schülerinnen stärker ausgeprägt, während in GLO1 ein stärkerer Anstieg bei den Schülern messbar ist. Auffällig für ist, dass das Fähigkeitsselbstkonzept der Schülerinnen in GLO1 durch die Intervention nicht ansteigt, sondern über den Erhebungszeitraum hinweg konstant bleibt. Im Vergleich

beider Studien scheint daher das Schülerlabor für die Sekundarstufe II das Zutrauen in die eigenen Fähigkeiten im Fach Chemie für alle Geschlechter, in besonderem Maße aber bei Mädchen zu erhöhen, während dies im Schülerlabor der Sekundarstufe I lediglich für die Jungen gelingt. Worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind, lässt sich durch die Erhebung nicht beantworten. Gründe für die Geschlechterdivergenz können auf den Aufbau der Schülerlaborsettings zurückzuführen sein. Während das Schülerlabor der Sekundarstufe I überwiegend anhand nicht-quantitativer Methoden Differenzierungen zwischen den Wurstprodukten ermöglicht, ist im Schülerlabor der Sekundarstufe II an vier Stationen auch eine quantitative Auswertung von Nöten, um ein eindeutiges Experimentalergebnis zu erzielen. Spitzer und Prechtl konnten zeigen, dass Jungen im besonderen Maße qualitatives Arbeiten im experimentell orientierten Unterricht bevorzugen, während Mädchen oft quantitative Arbeiten präferieren. Unterschiede werden dabei vor allem mit der höheren Genauigkeit und besseren Vorbereitung auf das experimentelle Arbeiten durch Mädchen begründet (Spitzer & Prechtl, 2015). Die höhere Genauigkeit und Planung, die für Analysemethoden wie beispielsweise Titrations von Nöten ist, könnte besonders für die Mädchen von Vorteil sein. Die möglicherweise für die Mädchen höheren Erfolgserlebnisse beim experimentellen Arbeiten könnten wiederum eine stärkere Zunahme des Zutrauens in die eigenen Fähigkeiten haben und das Fähigkeitsselbstkonzept zumindest kurzfristig erhöhen. In beiden Studien konnte kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Interventionsorten festgestellt werden. Dies erscheint vor dem Hintergrund wahrscheinlich, dass das vor allem für die Beeinflussung des Fähigkeitsselbstkonzeptes entscheidenden Experimentierens für beide Schülerlabore an jeweils beiden Interventionsorten identisch sind, sodass keine Unterschiede zu erwarten waren. Besonders vor dem Hintergrund eines insgesamt geringer ausgeprägten Fähigkeitsselbstkonzeptes von Mädchen im Chemieunterricht, ist die signifikante geschlechtsabhängige Steigerung im Schülerlabor für die Sekundarstufe II positiv hervorzuheben.

Emotionale Konstrukte

Wie zuvor erwähnt werden alle emotionalen Konstrukte in GLO2 durch die Intervention kurzfristig positiv beeinflusst. Diese hochsignifikanten Effekte lassen sich gleichermaßen für das Schülerlaborsetting der Sekundarstufe I in GLO1 feststellen. Für die vier erhobenen Konstrukte Freude, Frustration, Langeweile und Interessiertheit lassen sich in der Sekundarstufe II keine signifikanten Abhängigkeiten vom Interventionsort feststellen. Die Schüler:innen erleben folglich die gleichen positiven Emotionen durch die Intervention an den beiden Standorten Schule und Universität. In der Sekundarstufe I sind hochsignifikante Unterschiede zwischen den Interventionsorten festzustellen. Die Schüler:innen zeigen hier emotionale Präferenzen für den Interventionsort Schule. Das Konstrukt Frustration zeigt darüber hinaus in GLO1 einen hochsignifikanten Interaktionseffekt, sodass die Intervention die Frustration am Interventionsort Schule stärker senkt als am Interventionsort Universität. Die stärker ausgeprägten Emotionen am Interventionsort Schule könnten in der Sekundarstufe I durch die bereits zuvor stärker ausgeprägte Lernort-Interventionsort-Kongruenz zu erklären sein (Bower, 1981). Bei älteren Schüler:innen wird anhand der Ergebnisse der GLO2-Studie antizipiert, dass diese Kongruenz deutlich schwächer auftritt und ein Lernen auch in einer den Schüler:innen ungewohnter Umgebung besser möglich ist. Daraus ergibt sich eine größere Unabhängigkeit vom Interventionsort, sofern die untersuchten Interventionsorte hinsichtlich der lernförderlichen Infrastruktur (Lautstärke, Möblierung, Ressourcen) vergleichbar sind. Die Schwächung der Kongruenz zwischen Lern- und Interventionsort zeigt auch die im Folgenden verglichene Standortakzeptanz in GLO1 und GLO2.

Standortakzeptanz

Sowohl in der GLO1-Studie als auch der GLO2-Studie wurden die Schüler:innen befragt, ob sie häufiger außerschulische Angebote in der Schule und häufiger außerschulische Angebote außerhalb besuchen möchten (zwei Items). In der GLO1-Studie konnte Budke feststellen, dass die Schüler:innen, die Angebote innerhalb der Schule vor allem von Schüler:innen gewünscht werden, die am Interventionsort Schule an der Intervention teilgenommen haben. Im Gegensatz dazu zeigt sich kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Interventionsgruppen bezüglich des Wunsches nach außerschulischen Lernangeboten außerhalb der Schule. Insgesamt ist auffällig, dass der Wunsch nach außerschulischen Lernorten in der Schule von den Schüler:innen der Sekundarstufe I höher war als der Wunsch nach außerschulischen Lernangeboten außerhalb der Schule. Dies steht im Gegensatz zur GLO2-Studie mit Schüler:innen der Sekundarstufe II. Der Wunsch nach außerschulischen Lernorten innerhalb und außerhalb der Schule ist hier gleichermaßen hoch, wenngleich die Interventionsgruppe Schule einen geringeren

Wunsch nach außerschulischen Lernorten außerhalb der Schule angibt. Dies ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass diese Interventionsgruppe nicht an einem solchen Angebot teilgenommen hat, und möglicherweise eine fehlende Imagination für außerschulische Lernangebote außerhalb der Schule aufweist. Der Wunsch nach außerschulischen Lernangeboten ist aber in beiden Studien unabhängig vom Standort als hoch einzuschätzen. Durch die Intervention steigt dieser Wunsch kurzfristig in allen untersuchten Subgruppen in beiden Studien signifikant an. Die Standortakzeptanz wurde weiterhin untersucht, indem die Schüler:innen nach der Motivationssteigerung, der Interessensförderung und des Spaßes durch den bzw. am Schülerlabortag sowie einer möglichen erneuten Teilnahme befragt wurden. In der GLO1-Studie konnte festgestellt werden, dass für diese vier Items eine signifikant größere Zustimmung der Interventionsgruppe Schule im Vergleich zur Interventionsgruppe Universität vorliegt. Budke schlussfolgerte im Rahmen von GLO1, dass für das mobile Schülerlaborangebot in der Schule eine höhere Akzeptanz seitens der Schüler:innen als für das stationäre Schülerlaborangebot in der Universität vorliegt. In der GLO2-Studie lagen bezüglich dieser vier Items keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Interventionsorten vor. Es wird daher angenommen, dass es keine Standortpräferenz für das Schülerlabor durch die Schüler:innen der Sekundarstufe II gibt. Dies stimmt mit den emotionalen Konstrukten überein, für die in GLO2 ebenfalls keine signifikanten Interventionsortunterschiede festgestellt wurden. Auch für diese Befunde kann eine mögliche Lockerung der Lern- und Interventionsortkongruenz mit steigendem Alter der Schüler:innen ursächlich sein. Es kann gefolgert werden, dass für Schülerlabore in der Sekundarstufe I ein höherer Erfolg bei einer Durchführung in der Schule eintritt, während für Schüler:innen der Sekundarstufe II die Standortwahl des Schülerlabores lediglich eine untergeordnete Rolle spielt. Sekundäreffekte, wie die größere Nähe zu einer möglichen universitären Ausbildung, eine Neugiererfahrung an einem unbekanntem Lernort oder die möglicherweise bessere Laborinfrastruktur an der Universität scheinen demnach für die Schüler:innen keine große Rolle zu spielen, oder aber der Einfluss dieser Faktoren gleicht den Einfluss der geringeren Lern- und Interventionsortkongruenz aus.

4.5.3 Optimierung, Schlussfolgerungen und Ausblick

Die GLO2-Studie zum Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II konnte die positiven Auswirkungen des Schülerlaborsettings auf die Schüler:innen besonders hinsichtlich des Fähigkeitsselbstkonzeptes und verschiedener emotionaler Konstrukte zeigen. Mit einer Stichprobe von $N = 73$ weist die Begleitstudie im Vergleich zu anderen naturwissenschaftsdidaktischen Studien eine recht kleine Zahl an auswertbaren Fragebögen auf. Darüber hinaus ist die Rücklaufquote bei einer ursprünglichen Teilnehmer:innenzahl von $N = 152$ (49,3 %) als recht gering einzuschätzen. Beispielsweise nahmen an der GLO1-Studie durch Budke insgesamt 423 Schüler:innen teil, insgesamt wurden 340 Fragebögen für die Auswertung berücksichtigt. Gründe für die recht geringe Teilnehmer:innenzahl liegen vor allem in der COVID-19-Pandemie begründet, die eine Durchführung des Schülerlabores von März 2020 bis zum Sommer des Jahres 2021 nicht möglich machte. Auch ab Oktober des Jahres 2021 bis zum März des Jahres 2022 durften durch entsprechende Vorgaben des Landes Niedersachsen keine außerschulischen Lernorte innerhalb oder außerhalb von Schulen angeboten werden. Dies ermöglichte nur kleine Zeitfenster für die Organisation und Durchführung der Schülerlabortage. Problematisch war vor diesem Hintergrund auch die fehlende Planbarkeit durch die pandemische Dynamik. Durch den zeitweise langen Schulausfall rückten darüber hinaus außerschulische Lernangebote im Schulbetrieb in den Hintergrund, sodass zwischenzeitlich für eine Durchführung der Schülerlabortage nutzbare Zeiten von Lehrkräften nicht wahrgenommen wurden. Als Grund gaben Schulen zumeist die Priorisierung des Aufholens curricularer Inhalte im Regelunterricht an.

Die kleine Stichprobe hat in der Auswertung der Studie an einigen Stellen die Interpretation von Ergebnissen verhindert, da beispielsweise bei einigen Skalen die Normalverteilung verletzt wurde. Es ist anzunehmen, dass bei größeren Stichproben die Wahrscheinlichkeit einer normalverteilten Grundgesamtheit ansteigt. Darüber hinaus beeinflusst die kleine Stichprobe die Signifikanz der Ergebnisse. Wenngleich in der deskriptiven Betrachtung der Ergebnisse Mittelwertsunterschiede feststellbar waren, können die Ergebnisse aufgrund einer kleinen Zahl an Fragebögen nicht immer eindeutig ausgewertet werden. Dennoch reicht die Stichprobengröße aus, um für die meisten der erhobenen Skalen eindeutige Aussagen treffen zu können. In weiteren Erhebungen sollte die Größe der Stichprobe erhöht werden. Wenngleich externe legitimierende Faktoren wie eine Pandemie oder andere Krisen nicht beeinflusst werden können, ist eine Erhöhung der Rücklaufquote erstrebenswert. Die Fragebögen wurden im

Rahmen der GLO2-Studie über das Tool „SoSciSurvey“ erhoben, die Schüler:innen waren folglich aufgefordert, digital an der Umfrage teilzunehmen. Die Lehrkräfte haben auf diesem Wege keine Möglichkeit der Kontrolle, ob Schüler:innen an ihren Endgeräten den Fragebogen durchführen oder das Endgerät anderweitig nutzen. Eine Durchführung der Fragebögen in handschriftlicher Form, wie es beispielsweise von Budke in der GLO1-Studie durchgeführt wurde, ist überlegenswert.

In weiterführenden Studien sollten noch offene Fragestellungen beantwortet werden. Vor allem empfiehlt sich die Untersuchung folgender Fragestellungen:

- Wieso nimmt der Einfluss des Interventionsortes auf den Erfolg des Schülerlabores mit steigendem Alter der Schüler:innen ab?
- Welche Strukturen müssen an ein Schülerlaborsetting angelegt werden, um BNE fördern zu können?
- Wieso fördert das Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II in bestimmten Bereichen Schülerinnen stärker als Schüler?
- Welche Strukturen müssen an ein Schülerlaborsetting angelegt werden, um Konstrukte längerfristig zu beeinflussen?

In Bezug auf weitere Forschungsfelder im Bereich BNE bietet es sich weiterhin an, folgende Fragestellungen zu untersuchen:

- Ist die Steigerung von emotionalen Konstrukten wie Freude und Interessiertheit abhängig vom Thema des Schülerlaborsettings?
- Wie können mit einem Schülerlaborsetting stärker Einfluss auf den Umweltaffekt, die Umweltkognition und das Umweltverhalten genommen werden?
- Können Schülerlaborsettings umwelt- und nachhaltigkeitsrelevante Konstrukte mittelfristig beeinflussen?

Neben der Begleitstudie GLO2 wurde auch explizit das in Kapitel 3.3.9 vorgestellte Bewertungsspiel *Burger.i.doo* in Form eines Feedbackfragebogens in der Sekundarstufe I und der Sekundarstufe II evaluiert. Die Evaluation wird im Folgenden vorgestellt.

4.6 Evaluation des BNE-Spiels „Burger.i.doo“

Das in Kapitel 3.3.9 vorgestellte Spiel *Burger.i.doo* wird im Rahmen des Schülerlabortages als BNE-Station genutzt. Hauptziel des Spiels ist es, bei den Schüler:innen ein Verständnis für den Einfluss der eigenen Ernährung auf die Umwelt zu schaffen, die Bedeutung verschiedener Nachhaltigkeitsparameter für eine Bewertung von Nachhaltigkeit näherzubringen und die eigene Ernährung durch die Schüler:innen kritisch zu reflektieren. Um das Spiel selbst und die durch die Schüler:innen generierten Einstellungen zu evaluieren, wurde das Spiel mit einem Feedbackfragebogen begleitet. Die Ergebnisse der Evaluation und das Design des Spiels wurden im Open-Access-Journal „Sustainability“ publiziert (Korte et al., 2023).

4.6.1 Ziel und Design der Evaluation

Die Evaluation wurde mit insgesamt 80 Schüler:innen an Gymnasien in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Befragt wurden 61 Schüler:innen in Jahrgang 10 bis 12 (Gruppe 1) und 19 Schüler:innen in Jahrgang 7 und 8 (Gruppe 2). Die befragten Schüler:innen in Gruppe 1 waren zum Befragungszeitpunkt zwischen 16 und 17 Jahre alt, in Gruppe 2 zwischen 13 und 14 Jahre alt. Zur Erhebung der Daten wurde das Spiel im Regelunterricht des Faches Biologie oder Chemie durch die Lehrkräfte oder im Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ eingesetzt. Die Schüler:innen wurden im direkten Anschluss an das Spiel gebeten, den Feedback-Fragebogen auszufüllen. Hauptziel der Evaluation war es, das Spiel durch die Schüler:innen zu bewerten. Dazu wurden insgesamt 9 Items aufgestellt, die die Verständlichkeit, den Spaß und den Lerneffekt erfragen. Darüber hinaus wurden mit den Items Einstellungen der Schüler:innen zum Einsatz von Spielen im Unterricht und Einstellungen zum Thema Nachhaltigkeit überprüft (Tabelle 116).

Tabelle 116: Items der Evaluation zum BNE-Spiel "Burger.i.doo".

#	Inhalt
1	Die Anleitung und Regeln des Spiels habe ich gut verstanden.
2	Ich finde, dass Bildungsspiele wie dieses häufiger im Unterricht eingesetzt werden sollten.
3	Mir war jederzeit klar, was ich bei dem Spiel machen musste.
4	Ich habe bei dem Spiel etwas über die Nachhaltigkeitsbilanz verschiedener Produkte gelernt.
5	Das Spiel hat mir Spaß gemacht.
6	Nachhaltigkeit ist mir persönlich ein sehr wichtiges Thema.
7	Durch das Spiel werde ich nun mehr über meine Ernährungsweise nachdenken als zuvor.
8	Das Spiel noch einmal zu spielen, kommt für mich nicht in Frage.
9	Ich kann mir vorstellen, das Spiel auch außerhalb des Unterrichts zu spielen.

Die Items wurden von den Schüler:innen über eine sechsstufige Likert Skala beantwortet. „1“ entspricht dabei dem Wert der geringsten Zustimmung („stimme überhaupt nicht zu“), „6“ dem Wert der höchsten Zustimmung („stimme voll und ganz zu“). Die Skalenabstufungen sind benannt (2 = „stimme nicht zu“, 3 = „stimme eher nicht zu“, 4 = „stimme eher zu“, 5 = „stimme zu“). Skalenpunkte zur Nicht-Beantwortung der Frage (z.B. „weiß nicht“ oder „will keine Angabe machen“) wurden nicht gegeben, da durch das Spielen des Spiels eine Beantwortung der Fragen in jedem Falle möglich ist. Die Skalenpunkte 4 bis 6 wurden als Zustimmung, die Skalenwerte 1 bis 3 als Ablehnung ausgewertet. Unvollständig ausgefüllte Fragebögen wurden für die Auswertung nicht berücksichtigt.

4.6.2 Ergebnisse

Insgesamt bewerteten die Schüler:innen das Spiel sehr positiv. Mithilfe von Item 6 wurde die generelle Einstellung zur Nachhaltigkeit der Schüler:innen überprüft. In Gruppe 1 stimmten 70 % der im Item formulierten Aussage (eher) zu, in Gruppe 2 waren es 60 %. Insgesamt bewerten beide befragten Gruppen Nachhaltigkeit daher überwiegend als wichtig für ihr persönliches Leben. In Bezug auf das Spiel selbst geben in beiden Gruppen die meisten Schüler:innen an, die Anleitung und Regeln des Spiels gut verstanden zu haben. Dieser Aussage stimmen über 90 % in Gruppe 1 und über 80 % in Gruppe 2 zu. Darüber hinaus gaben mehr als 80 % der Schüler:innen aus Gruppe 1 an, jederzeit im Spiel gewusst zu haben, was sie tun sollten. Dieser Aussage stimmten ebenfalls über 90 % der Schüler:innen aus Gruppe 2 zu. Über 80 % (Gruppe 1) bzw. über 90 % (Gruppe 2) der Schüler:innen gaben außerdem an, Spaß am

Spiel gehabt zu haben. Diese direkt auf den Ablauf des Spiels bezogenen Ergebnisse zeigen, dass die Schüler:innen eine deutlich positive Einstellung zum Spiel aufwiesen. Dies wird durch das Item zur erneuten Durchführung des Spiels bestätigt. Lediglich ca. 30 % (Gruppe 1) bzw. unter 10 % (Gruppe 2) der befragten Schüler:innen geben an, dass ein erneutes Spielen des Spiels für sie ausgeschlossen sei. Weiterhin wurde untersucht, ob die Schüler:innen durch das Spiel etwas über die Nachhaltigkeitsbilanz verschiedener Produkte gelernt hätten. Dieser Aussage stimmten über 80 % der Schüler:innen aus Gruppe 1 und 2 zu. Dennoch führt das Spielen des Spiels bei der Mehrheit der Schüler:innen nicht dazu, dass sie ihr Essverhalten stärker überdenken als zuvor. Das entsprechende Item wird von über 60 % der Schüler:innen beider Gruppen abgelehnt. Zuletzt wurde gefragt, ob die Schüler:innen sich vorstellen können, das Spiel außerhalb des Unterrichtes zu spielen. In Bezug auf dieses Item treten bei beiden Gruppen starke Unterschiede auf. Während die Schüler:innen aus Gruppe 1 dieses Item überwiegend ablehnen (knapp 70 % Ablehnung), stimmen die Schüler:innen aus Gruppe 2 dem Item überwiegend zu (70 % Zustimmung). Die Ergebnisse der Befragung beider Gruppen ist in Abbildung 123 und Abbildung 124 dargestellt.

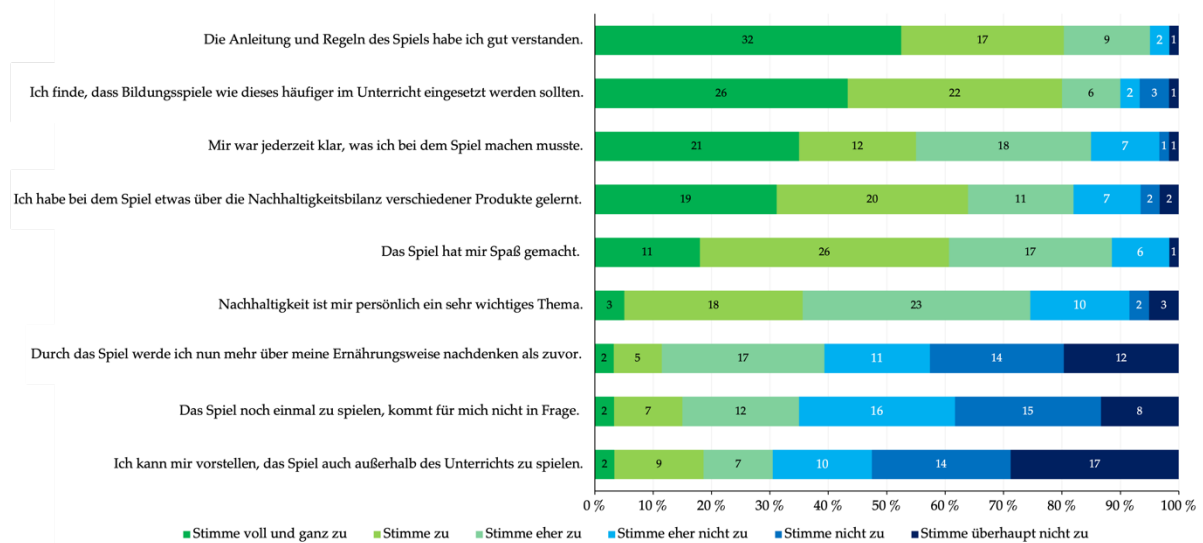


Abbildung 123: Graphische Darstellung des Feedbacks von Gruppe 1 (N = 61). Dargestellt sind die absoluten Zahlen der Antworten in den jeweiligen Balken sowie der relative Anteil der Häufigkeiten in Bezug auf die gesamte Umfrage.

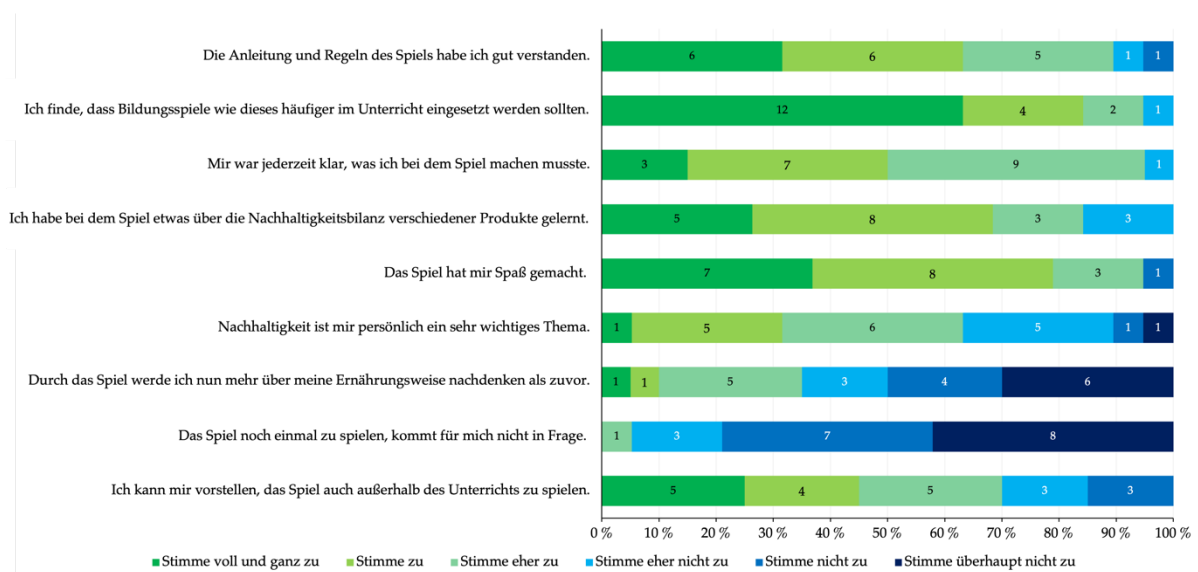


Abbildung 124: Graphische Darstellung des Feedbacks von Gruppe 2 (N = 19). Dargestellt sind die absoluten Zahlen der Antworten in den jeweiligen Balken sowie der relative Anteil der Häufigkeiten in Bezug auf die gesamte Umfrage.

4.6.3 Diskussion der Ergebnisse

Mit dem Spiel *Burger.i.doo* soll der Fokus auf den Einfluss verschiedener Nahrungsmittel auf die Umwelt gelegt werden. Darüber hinaus soll das Spiel dazu anregen, die eigene Ernährung kritisch zu hinterfragen und im Kontext des Unterrichtes eine Grundlage für Diskussionen darstellen. Voraussetzung dafür ist, dass das Spiel schnell, leicht zugänglich und gut verständlich ist sowie Interesse an der Auseinandersetzung mit der Thematik schafft. Das Spiel kann daher sowohl im Schülerlabor als auch im (naturwissenschaftlichen) Regelunterricht als Ergänzung zu BNE eingesetzt werden. Das Spiel ist aufgrund der umfassenden Thematik auch im fächerübergreifenden Unterricht einsetzbar. Die Kurzevaluation des Spiels hat gezeigt, dass die Schüler:innen grundsätzlich ein hohes Interesse an Fragen der Nachhaltigkeit haben. Die Auseinandersetzung mit dieser Thematik durch das Spiel bereitet ihnen Spaß und vermittelt nach Angaben der Schüler:innen selbst Wissen. Eine Einflussnahme auf das eigene Ernährungsverhalten durch das Spiel erscheint hingegen unwahrscheinlich. Wie bereits in der Begleitstudie des Schülerlabores erwähnt, können derart stabile Konstrukte nur durch die wiederholte Auseinandersetzung bei gleichzeitiger Berührung affektiver und kognitiver Konzepte gewandelt werden. Dies kann nicht durch das Spiel allein, aber mit dem Einsatz des Spiels gelingen. Wird das Spiel beispielsweise in eine Unterrichtsreihe im Rahmen von BNE eingesetzt und die im Spiel ermittelten Werte diskutiert, können bei den Schüler:innen verstärkt affektive und kognitive Konstrukte angesprochen und gewandelt werden.

Das Spiel wurde für die Sekundarstufe II entwickelt. Dennoch zeigt die Evaluation, dass auch jüngere Schüler:innen die Regeln des Spiels verstehen und aus dem Spiel einen Mehrwert für ihr eigenes Wissen erkennen. *Burger.i.doo* kann daher sowohl in der Sekundarstufe I als auch in der Sekundarstufe II eingesetzt werden. Der Wunsch nach einem häufigeren Einsatz von Lern- und Bildungsspielen im Schulunterricht spiegelt den Bedarf moderner Lehr- und Unterrichtsmethoden in den Naturwissenschaften wider und bietet somit eine Möglichkeit der Gamification des Regelunterrichts.

5 Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Die COVID-19-Pandemie ist neben dem Russisch-Ukrainischen Krieg das bislang global bedeutsamste Ereignis der 3. Dekade des 21. Jahrhunderts. Das seit Ende des Jahres 2019 aufgetretene und seit 2020 pandemische SARS-CoV-2 sorgte für einschneidende politische, ökonomische, gesellschaftliche und vor allem gesundheitliche Einschränkungen und Auswirkungen auf der ganzen Welt. Vor dem Hintergrund der auch für den Bildungsbereich gravierenden Änderungen und Anforderungen durch die COVID-19-Pandemie wurden im Rahmen dieser Dissertation verschiedene Formate entwickelt, die mit naturwissenschaftlichem Schwerpunkt die Pandemie, SARS-CoV-2 und damit verwandte Themenaspekte betrachten und einer breiten Bevölkerung vermitteln sollen. Diese Formate, die unter dem Titel „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ zusammengefasst sind, werden in diesem Kapitel nach einer kurzen thematischen Einordnung vorgestellt.

5.1 Theoretische Hintergründe zu SARS-CoV-2- und der COVID-19-Pandemie

5.1.1 SARS-CoV-2

SARS-CoV-2 (englische Abkürzung für severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2, dt. Schweres-akutes-Atemwegssyndrom-Coronavirus Typ 2) ist ein Virus, das zur Familie der Coronaviridae gezählt wird (Gorbalenya et al., 2020). Im Folgenden wird SARS-CoV-2 ebenfalls als Coronavirus bezeichnet, wenngleich der Begriff Coronavirus auch andere Arten wie beispielsweise SARS-CoV-1 miteinschließt (Kumar et al., 2020). SARS-CoV-2 gehört zu den plussträngigen RNA-Viren (Baltimore-Schema: Klasse IV) mit einer Genomgröße von 29,7 Kilonukleotiden (van Dorp et al., 2020). Das Genom des Coronavirus wird durch ein helikales Kapsid umgeben, welches wiederum durch eine Virushülle aus Phospholipiden ummantelt ist, welche in Form einer Lipiddoppelschicht angeordnet sind (Heinz & Stiasny, 2020). In die Virushülle sind verschiedene Oberflächenproteine eingebettet, die im Kapsid verankert sind (Kumar et al., 2020). Von besonderer Bedeutung für die Virusreplikation und den Befall von Wirtszellen ist das Spike-Protein (Frieman & Baric, 2008). Neben dem Spike-Protein weist das Kapsid integrale Envelope-Proteine auf. Membran-Proteine ragen aus dem Kapsid in die Virushülle. Das Kapsid selbst wird aus Nukleokapsid-Phosphoproteinen gebildet (Abbildung 125).

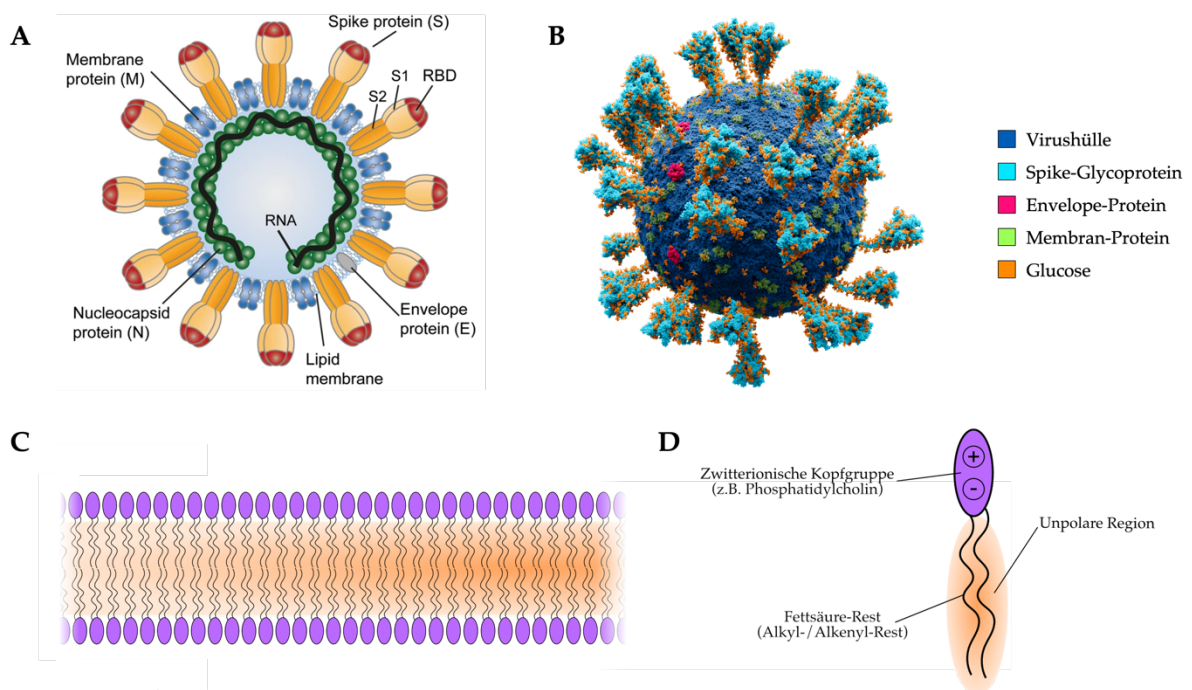


Abbildung 125: A Schematischer Querschnitt durch ein SARS-CoV-2 Virion (Heinz & Stiasny, 2020). B Atomgenaue Darstellung eines SARS-CoV-2 Virions (Solodovnikov & Arkhipova, 2021). C Struktureller Aufbau der Lipiddoppelschicht des Coronavirus (Virushülle). D Schematische Struktur eines Phospholipids in der Lipiddoppelschicht von SARS-CoV-2.

Das Genom des Virus codiert wahrscheinlich für insgesamt 10 Proteine, von denen die Funktion vierer Proteine bekannt ist. Dabei handelt es sich um das Spike-Glykoprotein (S), ein Envelope-Protein (E), welches als Hüllprotein fungiert, ein Membran-Glykoprotein (M) und ein Nukleokapsid-Phosphoprotein (N) (Frieman & Baric, 2008) (Abbildung 126). Coronaviren weisen einen Durchmesser von 60 bis 140 nm auf (Zhu et al., 2020), die meisten Virionen zeigen jedoch Durchmesser um 91 ± 11 nm auf (Ke et al., 2020).

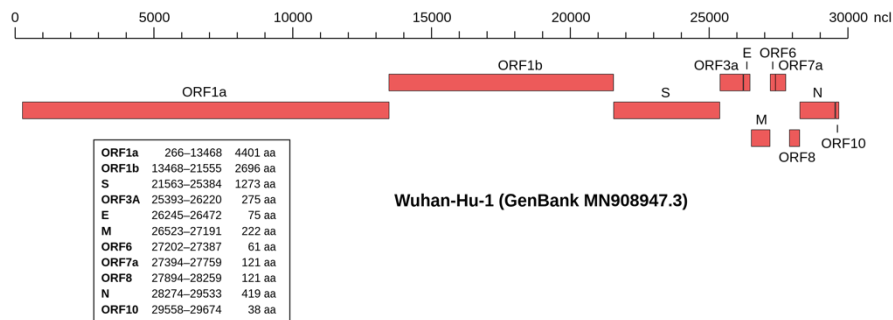


Abbildung 126: Genomorganisation von SARS-CoV-2. Veränderte Abbildung der Wikimedia Commons nach (Wu et al., 2020).

SARS-CoV-2 vermehrt sich, indem es Wirtszellen befällt und dort einen für plussträngige RNA-Viren typischen Replikationszyklus durchläuft. Das Coronavirus bindet zunächst mit seinen Spike-Proteinen an humane ACE-2-Rezeptoren, die sich als Oberflächenproteine in den Zellmembranen menschlicher Zellen befinden. Nach erfolgreicher Bindung spaltet die humane Serinprotease TMPRSS2 das Spike-Protein, wodurch dieses als fusogenes Protein wirkt und die Zell-Zell-Fusion zwischen dem Virion und der Wirtszelle initiiert. Die Virionen dringen nun in die Wirtszelle ein und der eigentliche Replikationsvorgang beginnt. Die Virionen geben ihr genetisches Material in Form der plussträngigen RNA frei, die vom humanen Proteinbiosyntheseapparat als körpereigene mRNA erkannt wird. Es kommt zur Translation der viralen RNA in die viralen Proteine (Spike-Protein, Membran-Protein, Envelope-Protein, Nukleokapsid-Phosphoprotein und virale RNA-Polymerase). Da die RNA die genetische Information des Virus trägt, muss diese repliziert werden. Die Replikation erfolgt über die von der Wirtszelle translatierte virale RNA-Polymerase, die unmittelbar nach ihrer Biosynthese die noch freien viralen RNA-Moleküle mithilfe der RNA-Nukleotide der Wirtszelle vervielfältigt. Sobald eine ausreichende Menge an viralen Proteinen und RNA-Kopien vorliegt, werden diese in das humane Endoplasmatische Retikulum aufgenommen und zu neuen Pre-Virionen assembliert. Die Pre-Virionen werden als Golgi-Vesikel aus dem Endoplasmatischen Retikulum abgeschnürt und exozytiert. Bei der Exozytose werden die Viren von der humanen Zellmembran umhüllt und liegen als vollständige Virionen vor. Durch die Exozytose und damit einhergehende Perforation der Zellmembran sowie durch körpereigene Immunreaktionen kann es zum Tod der Wirtszelle kommen (vgl. Kapitel 5.1.2). Ein vereinfachter und ein vollständiger schematischer Replikationszyklus von SARS-CoV-2 sind in Abbildung 127 dargestellt. (V'kovski et al., 2021)

Die Virusart SARS-CoV-2 weist verschiedene Virusvarianten auf, die sich im Laufe der Pandemie durch Mutation entwickelt haben. Es ist anzunehmen, dass zahlreiche Virusvarianten im Umlauf sind, die sich teilweise im Phänotyp nicht (durch stille Mutation) oder leicht (durch nichtsynonyme Mutation) voneinander unterscheiden (van Dorp et al., 2020). Die Mutationen unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Infektiosität und Kontagiosität (Übertragbarkeit). Unterschieden werden dabei nach Klassifikation der WHO „Variants of High Consequence“ (VOHC), die sich stark verbreiten, weniger anfällig gegen Schutzmaßnahmen (Medikamente und Impfstoffe) sind, fehldiagnostiziert werden und zu besonders schweren Krankheitsverläufen führen können; „Variants of Concern“ (COV), die zu einer Zunahme der Kontagiosität oder zur Zunahme der Virulenz oder zur nachlassenden Wirksamkeit der Schutzmaßnahmen führen; „Variants of Interest“ (VOI), bei denen von einer veränderten Viruseigenschaft durch Mutationen ausgegangen wird und „Variants und Monitoring“ (VUM), die entdeckt worden sind, ohne dass bislang veränderte Viruseigenschaften festgestellt wurden (WHO, 2021b). Bislang liegen 13 SARS-CoV-2-Varianten vor, die zumindest als VUM eingestuft worden sind. Keine der Varianten ist als VOHC eingestuft. Um eine Stereotypisierung von Ländern und Menschen zu vermeiden, werden die Virusvarianten von der WHO nicht (mehr) anhand des Landes der Erstidentifikation (z.B. „südafrikanische Variante“) benannt, sondern mit Buchstaben des griechischen Alphabets bezeichnet. Daneben

existiert eine offizielle wissenschaftliche Bezeichnung (PANGO-Nomenklatur). Eine Übersicht der Virusvarianten ist in Tabelle 117 dargestellt.

Tabelle 117: SARS-CoV-2 Varianten nach Definition der WHO (WHO, 2023a). Kursive Varianten sind nicht mehr als VOI oder als VOC eingestuft.

WHO-Bezeichnung	PANGO	Erstnachweis		WHO-Klassifizierung			
		Region	Datum	VOI	VUM	VOC	Deklassifizierung
<i>Alpha</i>	B.1.1.7		September 2020	→	→	18.12.20	09.03.22
<i>Beta</i>	B.1.351		Mai 2020	→	→	18.12.20	09.03.22
<i>Gamma</i>	P.1 (B.1.1.28.1)		November 2020	→	→	11.01.21	09.03.22
<i>Delta</i>	B.1.617.2		Oktober 2020	04.04.21	→	11.05.21	07.06.22
<i>Epsilon</i>	B.1.427 / B.1.429		März 2020	05.03.21	06.07.21	→	09.11.21
<i>Zeta</i>	P.2 (B.1.1.28.2)		April 2020	17.03.21	06.07.21	→	17.08.21
<i>Eta</i>	B.1.525	<i>mehrere</i>	Dezember 2020	17.03.21	20.09.21	→	22.12.21
<i>Theta</i>	P.3 (B.1.1.28.3)		Januar 2021	24.03.21	06.07.21	→	17.08.21
<i>Iota</i>	B.1.526		November 2020	24.03.21	20.09.21	→	22.12.21
<i>Kappa</i>	B.1.617.1		Oktober 2020	04.04.21	20.09.21	→	29.12.21
<i>Lambda</i>	C.37 (B.1.1.1.37)		Dezember 2020	14.06.21	→	→	09.03.22
<i>My</i>	B.1.621		Januar 2021	30.08.21	→	→	09.03.22
Omikron	B.1.1.529		November 2021	→	24.11.21	26.11.21	-

Die Mutation der VOI- und VOC-Varianten finden zumeist über das Spike-Protein statt, da dies Angriffspunkt der humoralen Immunantwort durch Antikörper ist und somit hohem selektivem Druck ausgesetzt ist. Mutationen am Spike-Protein führen zumeist zu einer erhöhten Infektiosität bei gleichzeitig verringerter Virulenz (Harvey et al., 2021). Die Mutationen des Spike-Proteins stellen darüber hinaus Schwierigkeiten bei der Erstellung von Impfstoffen dar, die ebenfalls eine Immunantwort über das virale Spike-Protein ermöglichen sollen (vgl. Kapitel 5.1.3) (van Dorp et al., 2020).

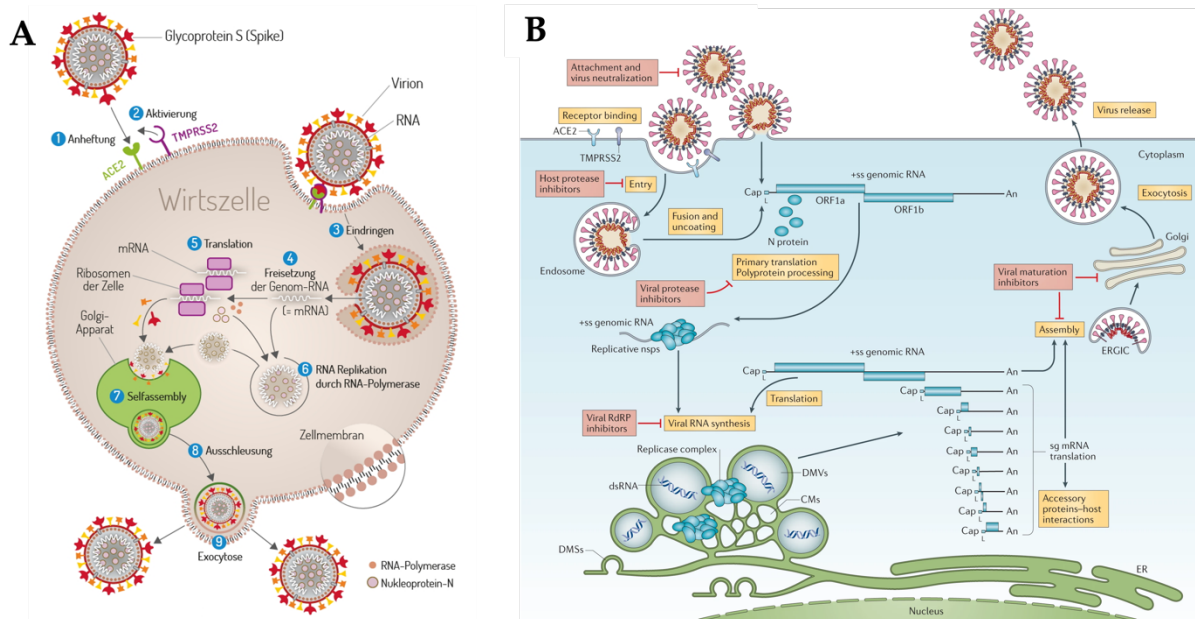


Abbildung 127: A Vereinfachter schematischer Replikationszyklus von SARS-CoV-2 (COVID19-Pandemie.org, 2020). B Vollständiger schematischer Replikationszyklus von SARS-CoV-2 (V'kovski et al., 2021).

5.1.2 COVID-19 und die COVID-19-Pandemie

Als COVID-19 wird die durch alle SARS-CoV-2-Varianten verursachte Coronavirus-Krankheit-2019 bezeichnet (Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte, 2020). Im deutschsprachigen Raum wird die Erkrankung mit seinen typischen klinischen Symptomen vereinfacht auch als COVID oder Corona bezeichnet. COVID-19 ist das Akronym für „coronavirus disease 2019“ (TERMDAT, 2022). COVID-19 entsteht durch den infektiösen Kontakt der Schleimhäute mit SARS-CoV-2. Dies geschieht

zumeist über die Tröpfchen- und Aerosolinfektion von Mensch zu Mensch (Morawska & Cao, 2020). Als Tröpfcheninfektion wird ein Übertragungsweg von Viren bezeichnet, bei dem Viren durch Tröpfchen (Durchmesser $> 5 \mu\text{m}$) und Aerosole (Durchmesser $< 5 \mu\text{m}$) durch die Luft übertragen werden. Diese Tröpfchen entstammen respiratorischer Aktivität von anderen Menschen, so zum Beispiel Atmen, Sprechen, Singen, Husten oder Niesen (Tabatabaeizadeh, 2021). Weitere Infektionswege wie die Kontaktinfektion spielen bei der Übertragung von SARS-CoV-2 eine untergeordnete Rolle (van Doremalen et al., 2020). Die Inkubationszeit nach Infektion mit SARS-CoV-2 liegt im Median zwischen fünf und sechs Tagen, in einigen Fällen jedoch bis zu 17 Tage (Lee et al., 2020). Während der Inkubationszeit nistet sich SARS-CoV-2 vor allem in Zellen der Nasenschleimhaut, der Rachenschleimhaut und der Lunge, allerdings auch im Verdauungstrakt ein (Lamers et al., 2020; Sungnak et al., 2020). Nach der Inkubationszeit zeigen sich als Symptome zumeist Husten, Fieber, Schnupfen, Geruchs- und Geschmacksverlust. Hinzu kommen zumeist für Infektionskrankheiten typische Begleitsymptome wie Hals-, Muskel-, Rücken-, Kopf- und Gliederschmerzen und ein generell schweres Krankheitsgefühl (Chan et al., 2020). Trotz eines erfolgten positiven Nachweises auf eine Infektion kommt es auch zu asymptomatischen Verläufen von COVID-19. Bei ungefähr 14 % der Patient:innen entwickeln sich nach ca. 7 Tagen schwerere respiratorische Symptome, vor allem schwere Atemnot und eine Infektion der tiefen Atemwege bis zur Pneumonie (Huang et al., 2020). Bei 5 % aller Patient:innen ist eine intensivmedizinische Betreuung mit künstlicher Beatmung und externer Sauerstoffsättigung von Nöten. In einigen Fällen führt die Infektion mit SARS-CoV-2 durch multiples Organversagen zum Tod (N. Chen et al., 2020). Risikofaktoren für schwere Verläufe einer COVID-19-Infektion sind Erkrankungen des Herz- und Lungensystems, Hypertonie und Diabetes. Darüber hinaus können Autoimmunerkrankungen schwere Verläufe begünstigen oder aber auch durch schwere Verläufe verursacht werden (M. Chen et al., 2020). Milde Fälle, in denen die Symptome nach ungefähr zwei Wochen abklingen, machen 81 % der Fälle aus. Unabhängig vom Verlauf der Erkrankung kann es jedoch in einigen Fällen zur Ausbildung von Herzerkrankungen, Leberfunktionsstörungen und Nierenversagen sowie dermatologischen Erkrankungen kommen, die erst einige oder gar lange Zeit nach der Erkrankung auftreten. Diese Erkrankungsbilder werden als Long-COVID bezeichnet (Raveendran et al., 2021).

Als COVID-19-Pandemie wird der weltweite, zunächst epidemische und anschließend pandemische, Ausbruch von COVID-19 bezeichnet. Die Pandemie gilt als die bislang schwerste Pandemie des 21. Jahrhunderts und führte zu massiven gesundheitlichen, wirtschaftlichen, sozialen und technischen Einschnitten in das Weltgeschehen. Ihren Ursprung hat die Pandemie mit hoher Wahrscheinlichkeit in der chinesischen Stadt Wuhan. Am 31. Dezember 2019 wurde hier der Ausbruch einer Lungenerkrankung bestätigt (Zhu et al., 2020). Vermutlich ist das Virus als Zoonose von Fledertieren, Schuppentieren oder als Rekombination aus beiden Tierarten auf den Menschen übergegangen (Andersen et al., 2020). Als wahrscheinlichster Ort der Erstinfektion gilt der Südchinesische Großhandelsmarkt für Fische und Meeresfrüchte in Wuhan (WHO, 2020). Die genaue Erstinfektion (sogenannter „Patient 0“) bleibt jedoch weiterhin unklar. Beispielsweise zeigen einzelne Studien vermutliche Erstinfektionen bereits im September 2019 (Cohen, 2020a). Im Januar 2020 verbreitete sich SARS-CoV-2 außerhalb von China, zumeist durch Ausreisende aus China. Im Folgenden Frühjahr 2020 verlagerte sich das Infektionsgeschehen stark auf die westliche Welt, vorrangig Frankreich, Großbritannien, Deutschland und Italien, etwas später auf die Vereinigten Staaten. Im Sommer vermeldeten vor allem lateinamerikanische Staaten hohe Infektionszahlen. Der erste bekanntgewordene Fall in Deutschland wurde am 27. Januar 2020 in Bayern gemeldet (RND, 2021). Die Pandemie entwickelte sich weltweit wellenförmig, d.h., die Neuinfektionszahlen entwickelten sich in Abhängigkeit des Zeitpunktes unterschiedlich stark. In der weltweiten Betrachtung wurden die meisten Neuinfektionen im Frühjahr des Jahres 2022 und im Winter des Jahreswechsels 2022/2023 gemeldet. Insgesamt infizierten sich mit Stand des 18. Juli 2023 768 Millionen Menschen mit COVID-19, womit die Anzahl der Infektionen beispielsweise die Infektionszahlen der Spanischen Grippe übertrifft und als infektiöseste Pandemie aller Zeiten gilt (WHO, 2023b). Bis zum 18. Juli 2023 sind ungefähr 7 Millionen Menschen an einer Infektion mit COVID-19 verstorben. Die weltweite Entwicklung der Infektionszahlen und Todeszahlen sind in Abbildung 128 dargestellt. Infektionen konnten auf jedem von Menschen besiedelten Ort der Welt nachgewiesen werden, darunter auch Antarktika, Grönland, Mikronesien und Polynesien (WHO, 2023b). Die mit heutigem Stand am stärksten von der COVID-19-Pandemie betroffenen Länder sind in Tabelle 118 dargestellt. Die WHO deklarierte den durch die Pandemie ausgelösten globalen Gesundheitsnotstand am 05. Mai 2023 für beendet (WHO, 2023c).

Tabelle 118: Infektionszahlen und Todesfallzahlen durch COVID-19 nach Ländern. Fallzahlen nach (WHO, 2023b)

Staat	Infektionen	Infektionen pro 100.000 Einwohner	Todesfälle	Todesfälle pro 100.000 Einwohner
Weltweit	767.972.961	9.479	6.950.655	86
USA	103.436.829	31.165	1.127.152	340
China	99.294.553	7.032	121.515	9
Indien	44.994.619	3.196	531.913	38
Frankreich	38.997.490	57.561	167.985	248
Deutschland	38.437.756	46.199	174.979	210
Brasilien	37.682.660	17.584	704.159	329
Japan	33.803.572	26.892	74.694	59
Südkorea	32.406.598	62.054	35.071	68
Italien	25.901.529	43.819	190.906	323
Vereinigtes Königreich	24.641.348	36.598	227.928	339

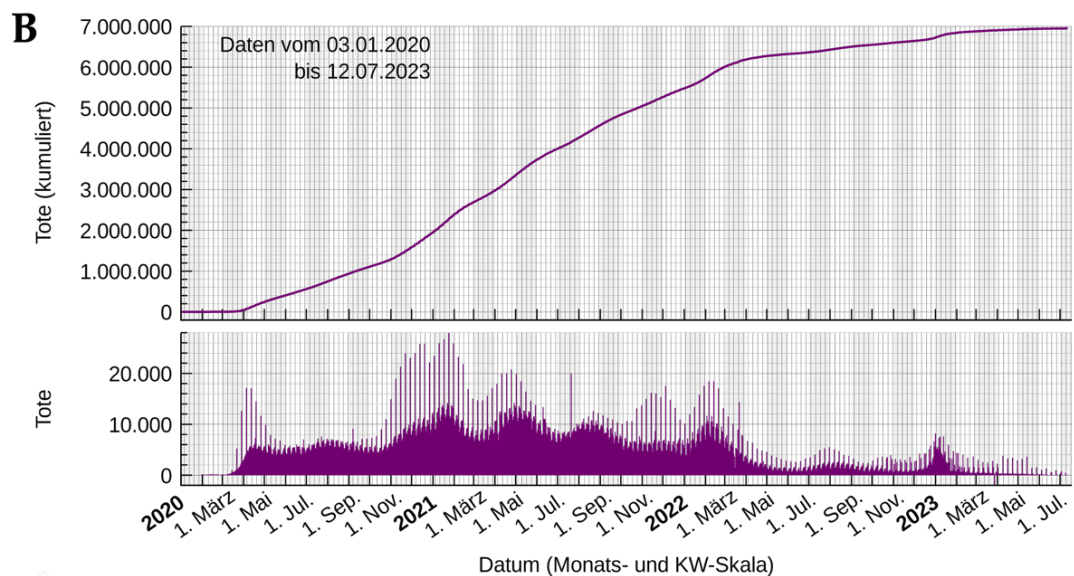
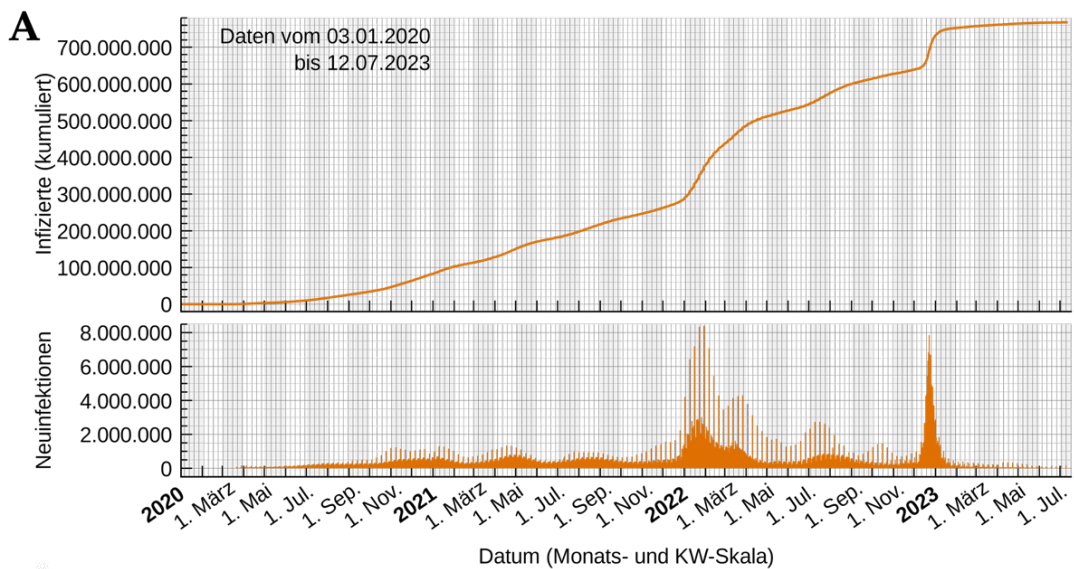


Abbildung 128: A Entwicklung der Neuinfektionen mit COVID-19 pro Tag (unten) und kumuliert (oben) weltweit. B Entwicklung der Todesfallzahlen an COVID-19 pro Tag (unten) und kumuliert (oben) weltweit. Fallzahlen nach (WHO, 2023b).

In Deutschland begann die COVID-19-Pandemie wie zuvor erwähnt mit dem ersten nachgewiesenen Infektionsfall am 27. Januar 2020 und endete formal mit der Deklaration der WHO zum Ende des globalen Gesundheitsnotstandes. Insgesamt lässt sich die Pandemie in Deutschland in acht Wellen

unterteilen, besonders in den ersten beiden Wellen ließen sich überproportional hohe Letalitätsraten, besonders in vulnerablen Bevölkerungsgruppen feststellen. Das für die Überwachung von Infektionskrankheiten in Deutschland zuständige Robert Koch-Institut (RKI) meldete mit dem Stand des 15. Juni 2023 insgesamt rund 38,5 Millionen Infektionen und 175.000 Todesfälle (Abbildung 129). Das RKI schätzt die Zahl der Genesenen ebenfalls auf rund 38,5 Millionen Menschen (RKI, 2023b). Vom 25. März 2020 bis zum 25. November 2021 galt in Deutschland ununterbrochen die vom Bundestag ausgerufene „epidemische Lage von nationaler Tragweite“, die durch das ab dem 27. März 2020 in Kraft getretene „Gesetz zum Schutz der Bevölkerung bei einer epidemischen Lage von nationaler Tragweite“ legitimiert wurde (Deutscher Bundestag, 2020). Die in Deutschland getroffenen Maßnahmen zur Eindämmung der COVID-19-Pandemie werden im Folgenden beschrieben.

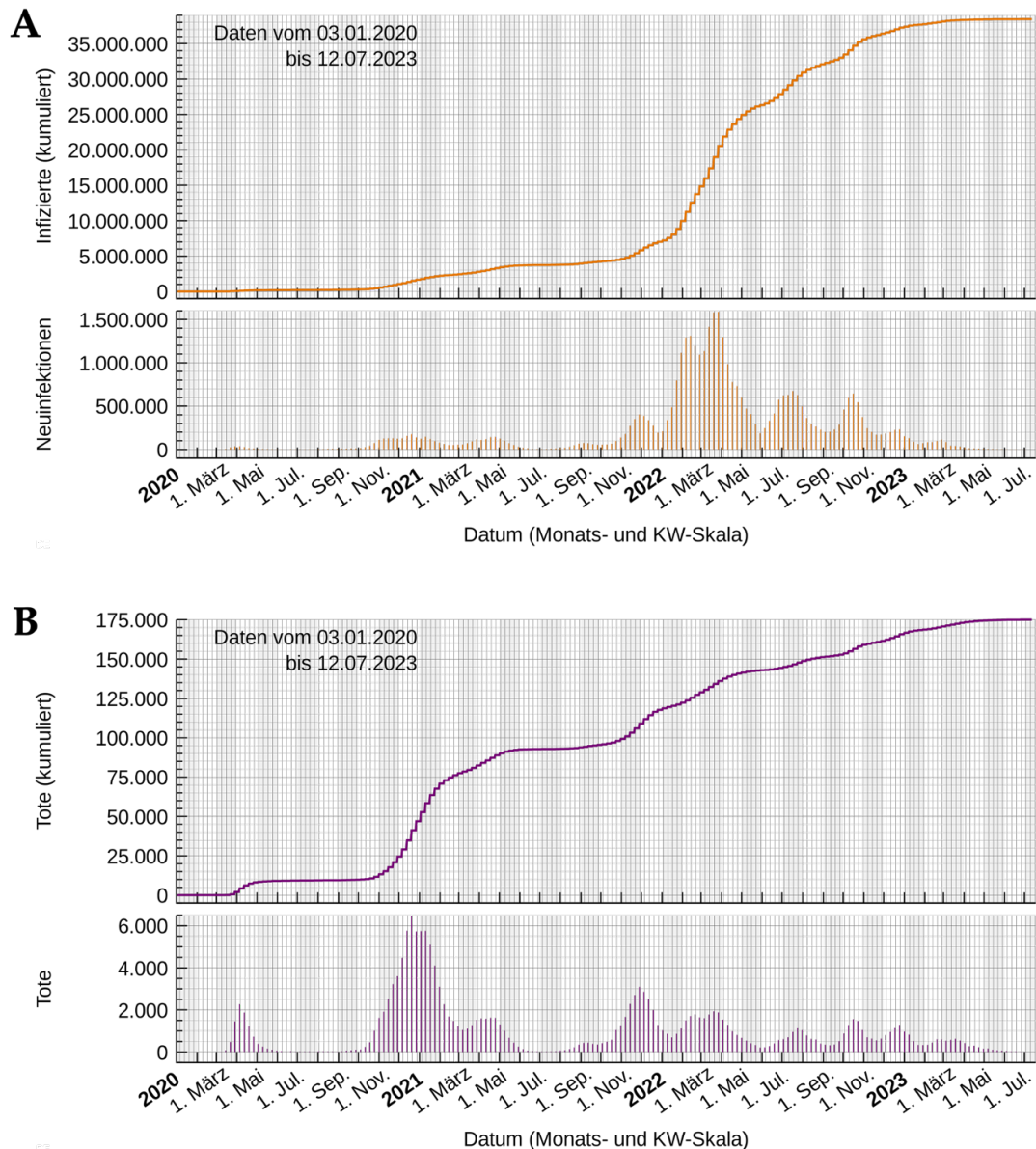


Abbildung 129: A Entwicklung der Neuinfektionen mit COVID-19 pro Tag (unten) und kumuliert (oben) in Deutschland. B Entwicklung der Todesfallzahlen an COVID-19 pro Tag (unten) und kumuliert (oben) in Deutschland. Fallzahlen nach (WHO, 2023b).

5.1.3 Maßnahmen zur Eindämmung der COVID-19-Pandemie

Aufgrund der gesundheitlichen Bedrohung durch die COVID-19-Pandemie wurden bereits kurz nach Bekanntwerden erster Fälle weltweit Maßnahmen zur Pandemieeindämmung ergriffen. Aufgrund der Vielzahl an verschiedenen Maßnahmen wird im Folgenden der Fokus lediglich auf die in Deutschland getroffenen Maßnahmen gelegt.

Gesetzliche Grundlage

Die gesetzliche Legitimation zur Bekämpfung der COVID-19-Pandemie wird zunächst wie alle Infektionskrankheiten durch das Infektionsschutzgesetz sowie den Nationalen Pandemieplan für Deutschland geregelt, welche bundesweit Anwendung finden (Deutscher Bundestag, 2022). Darüber hinaus wurden zum spezifischen Infektionsschutz gegenüber COVID-19 insgesamt vier Bundesgesetze erlassen, wovon das letzte umgangssprachlich als „Bundesnotbremse“ bezeichnet wurde. Das am 27. März 2020 in Kraft getretene „Gesetz zum Schutz der Bevölkerung bei einer epidemischen Lage von nationaler Tragweite“ wurde daher im Laufe der Pandemie dreimal aktualisiert (zweites, drittes und viertes Gesetz zum Schutz der Bevölkerung bei einer epidemischen Lage von nationaler Tragweite). Darüber hinaus wurden sowohl auf Bundesebene als auch auf Landesebene und kommunaler Ebene weitere Gesetze und Verordnungen erlassen, die verschiedene Aspekte der Pandemieeindämmung thematisieren. Besonders davon betroffen waren beispielsweise Verordnungen im Bildungsbereich, da dieser der Verantwortung der jeweiligen Länder untersteht und somit teilweise unterschiedliche Regelungen je Bundesland galten.

Lockdowns

Im Laufe der Pandemie wurden zahlreiche Maßnahmen zur Einschränkung der Kontaktmöglichkeiten zwischen Menschen bzw. Gruppierungen von Menschen getroffen. Eine erste einschneidende Maßnahme war der „Erste Lockdown“ vom 17. März 2020. Der englische Begriff Lockdown bezeichnet staatliche Maßnahmen der Massenquarantäne, mit denen erhebliche Einschränkungen des öffentlichen Lebens einhergehen. Wenngleich bereits vor dem 17. März Veranstaltungen mit mehr als 1000 Teilnehmer:innen abgesagt wurden (oder die Empfehlung ausgesprochen wurde), wurden ab diesem Tag ein Einreisestopp für Nicht-Bundesbürger, weltweite Reisewarnungen, die Schließung zahlreicher Geschäfte, die nicht der Systemerhaltung (Grundversorgung, Hygiene, Medizin) dienen, sowie Schulschließungen ausgesprochen. Gleichzeitig wurden planbare Operationen verschoben und die Krankenhäuser wurden angehalten, die intensivmedizinischen Kapazitäten zu verdoppeln. Ab dem 22. März wurden weiterhin soziale Kontakte zwischen Menschen beschränkt: Personen mussten im öffentlichen Raum mindestens 1,50 m Abstand voneinander halten, der Aufenthalt in der Öffentlichkeit war nur allein oder mit einer weiteren Person außerhalb des eigenen Haushaltes erlaubt (Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland, 2020). Ab dem 22. April herrschte eine Pflicht zum Tragen von Masken, die Mund und Nase bedecken (Mund-Nase-Schutz) im Einzelhandel und dem Öffentlichen Personennahverkehr. Die Funktion und Bedeutsamkeit dieser Maßnahme sowie des Abstandhaltens und Händewaschens werden im folgenden Abschnitt erläutert. Mit Sinken der Infektionszahlen wurden einige der Maßnahmen ab dem 06. Mai wieder gelockert. Die Phase vom 17. März bis zum 06. Mai wird als „Erster Lockdown“ bezeichnet.

In der Folgezeit der COVID-19-Pandemie folgten weitere Lockdowns (ab dem 02. November 2020 als „Lockdown light“, vom 16. Dezember 2020 bis zum 03. März 2021 als „Zweiter Lockdown“ und vom 23. April 2021 bis zum 30. Juni 2021 als „Dritter Lockdown“ bzw. als „Bundesnotbremse“). In diesen Lockdowns wurden ebenfalls zum Teil Schulen und Geschäfte, die nicht der Systemerhaltung dienen, geschlossen sowie Kontaktbeschränkungen, Ausgangssperren und eine Pflicht zum Tragen von Masken ausgesprochen.

Häusliche Isolation / Quarantäne

Über einen langen Zeitraum der Pandemie hinweg wurden Personen, die positiv auf COVID-19 getestet wurden, in ihrem Haushalt isoliert, sofern keine medizinische Versorgung in Krankenhäusern von Nöten war. Diese auch als Absonderung, häusliche Isolation oder Quarantäne bezeichnete Schutzmaßnahme zur Unterbrechung von Infektionsketten, wurde mit Beginn des ersten in Deutschland nachgewiesenen COVID-19-Falles am 27. Januar 2020 bis zum 01. Februar 2023 durchgesetzt. Ein Verstoß gegen die Isolationspflicht stellte nach § 30 des Infektionsschutzgesetzes eine Straftat dar, die mit bis zu zwei Jahren, bei einer Gesundheitsgefährdung Dritter mit bis zu drei Jahren Freiheitsstrafe verfolgt wurde (Deutscher Bundestag, 2022). Neben der Absonderungspflicht für Infizierte galten zumeist auch Absonderungspflichten für direkte Kontaktpersonen von Infizierten sowie Personen mit Erkältungssymptomen oder anderen Indizien einer COVID-19-Erkrankung. Die Absonderungspflicht wurde durch die lokalen Gesundheitsämter vollzogen und überprüft.

AHA-Regeln

Zu Beginn der COVID-19-Pandemie in Deutschland wurden vom Bundesministerium für Gesundheit die AHA-Regeln bzw. die AHA-Formel empfohlen (Bundesministerium für Gesundheit, 2023). AHA dient als Akronym für das Halten von Abstand, dem Einhalten von Hygieneregeln und dem Tragen einer Alltagsmaske im öffentlichen Raum. Die Einhaltung der Regeln durch die Bürger:innen sollte dabei eine Maßnahme zum Eindämmen der Pandemie sein. Sie dient dem Unterbrechen von Übertragungsketten, indem eine Transmission von SARS-CoV-2 auf andere Personen erschwert wird. Im öffentlichen Raum, sowohl innerhalb als auch außerhalb geschlossener Gebäude, sollen Personen mindestens 1,50 m oder 2 m Abstand voneinander halten. Dieser Abstand soll verhindern, dass virusbeladene Tröpfchen und Aerosole durch respiratorische Tätigkeiten zwischen Personen übertragen werden können (van Doremalen et al., 2020). Das Einhalten von Hygieneregeln beinhaltet das regelmäßige Waschen der Hände mit Seife, das Desinfizieren der Hände in regelmäßigen Abständen sowie der Verzicht auf soziale Gepflogenheiten wie Händeschütteln. Die Einhaltung der Hygieneregeln soll einen zweiten möglichen Übertragungsweg von SARS-CoV-2 zwischen Menschen eindämmen, die Schmierinfektion. Bei der Schmierinfektion werden virusbeladene Tröpfchen auf Oberflächen (Hände, andere Körperteile aber auch auf Gegenständen) übertragen und kommen dort mit einer zweiten Person in Kontakt. Die virusbeladenen Tröpfchen werden dann auf den Körper der Person übertragen. Gelangen die Viren dann beispielsweise durch das Fassen ins Gesicht in die Schleimhäute der Person, kann sich diese infizieren. Die Schmierinfektion gilt als untergeordneter Weg der COVID-19-Pandemie (Liu et al., 2021). Letztlich soll, vor allem in geschlossenen Räumen, das Tragen einer Maske (ursprünglich als Alltagsmaske, später als medizinische oder FFP2-Maske) das Infektionsrisiko senken. Die Masken dienen im Sinne des Fremdschutzes (bei FFP2-Masken auch als Eigenschutz) dazu, die Transmission von Tröpfchen zu reduzieren, die potentiell infektiös sein können (Tabatabaeizadeh, 2021). Die AHA-Regeln wurden im Laufe der Pandemie aktualisiert. Neben einer Pflicht zum Tragen von Masken, die die Empfehlung der Alltagsmaske redundant machte, wurde die Regel zur „AHA+L+A“ ergänzt. „L“ bezeichnet dabei das Lüften von geschlossenen Räumen durch das Öffnen von Fenster und Türen und wurde neben Privaträumen auch in Schulen genutzt, in denen das Halten von Abstand und das Tragen von Masken nicht immer möglich war. Zum Lüften von Räumen gehört ebenfalls die Verwendung von Luftpartikelfiltern, die Tröpfchen und Aerosole aus der Luft binden können. „A“ bezeichnet die Verwendung der Corona-Warn-App, die im Namen der RKI zur Nachverfolgung von Infektionsketten eingesetzt worden ist. Die Verwendung der App stellt im Gegensatz zu den anderen Maßnahmen keinen physikalischen Infektionsschutz, sondern erleichtert die Nachverfolgung von Kontaktwegen und damit möglicherweise auch zielführende Entscheidungen für oder gegen eine häusliche Isolation (Quarantäne). Die genauen Wirkmechanismen der AHA-Regel werden in Kapitel 5.2 innerhalb der Experimentalkonzeption vorgestellt.

Tests

Eine Infektion mit SARS-CoV-2 wird in der Regel über zwei Testmethoden nachgewiesen. Die standardisierte Labormethode erfolgt, wie bei nahezu allen viralen Infektionen, über die Polymerasekettenreaktion (PCR für englisch Polymerase Chain Reaction). Für den Nachweis von SARS-CoV-2 wird überwiegend die qPCR angewendet, mit welcher auch eine Quantifizierung des genetischen Virusmaterials möglich ist. Die für den Nachweis von SARS-CoV-2 benötigten Primer wurden zusammen mit der dezidierten PCR-Methodik für SARS-CoV-2 in der Arbeitsgruppe von Christian Drosten entwickelt (Corman et al., 2020). Um genetisches Material von RNA-Viren zu vervielfältigen, ist eine Sonderform der PCR, die RT-qPCR (Reverse Transkriptase qPCR) von Nöten. Ziel der PCR ist es, das zu untersuchende genetische Material vervielfältigen und anschließend nachweisen zu können.

Für den Nachweis wird zunächst über einen Nasen-Rachen-Abstrich (nasopharyngealer Abstrich) Probenmaterial gesammelt, das möglicherweise virusbeladen ist. Dieses Probenmaterial wird in eine Pufferlösung gegeben, in welcher die virale RNA frei vorliegen kann. Da RNA über zelluläre Mechanismen nicht repliziert werden kann, muss die RNA zunächst in DNA umgeschrieben werden. Dies geschieht über den Einsatz spezifischer Enzyme aus Retroviren, sogenannte Reverse Transkriptasen, die die RNA ablesen und anhand der RNA einen DNA-Doppelstrang synthetisieren. Dazu führt die Reverse Transkriptase zunächst einen tRNA-Primer an die RNA-Matrix, der als Primer für die DNA-Elongation entlang des RNA-Stranges dient. Die Reverse Transkriptase elongiert am Primer in 5' → 3' Richtung das DNA-Fragment. Die Reverse Transkriptase wirkt somit als RNA-abhängige DNA-Polymerase. Anschließend hydrolysiert die Reverse Transkriptase die virale RNA und katalysiert die Addition des

komplementären DNA-Stranges in 5' → 3' Richtung. Die Reverse Transkriptase wirkt somit als DNA abhängige DNA-Polymerase. Das Schema der Reversen Transkription ist in Abbildung 130 dargestellt.

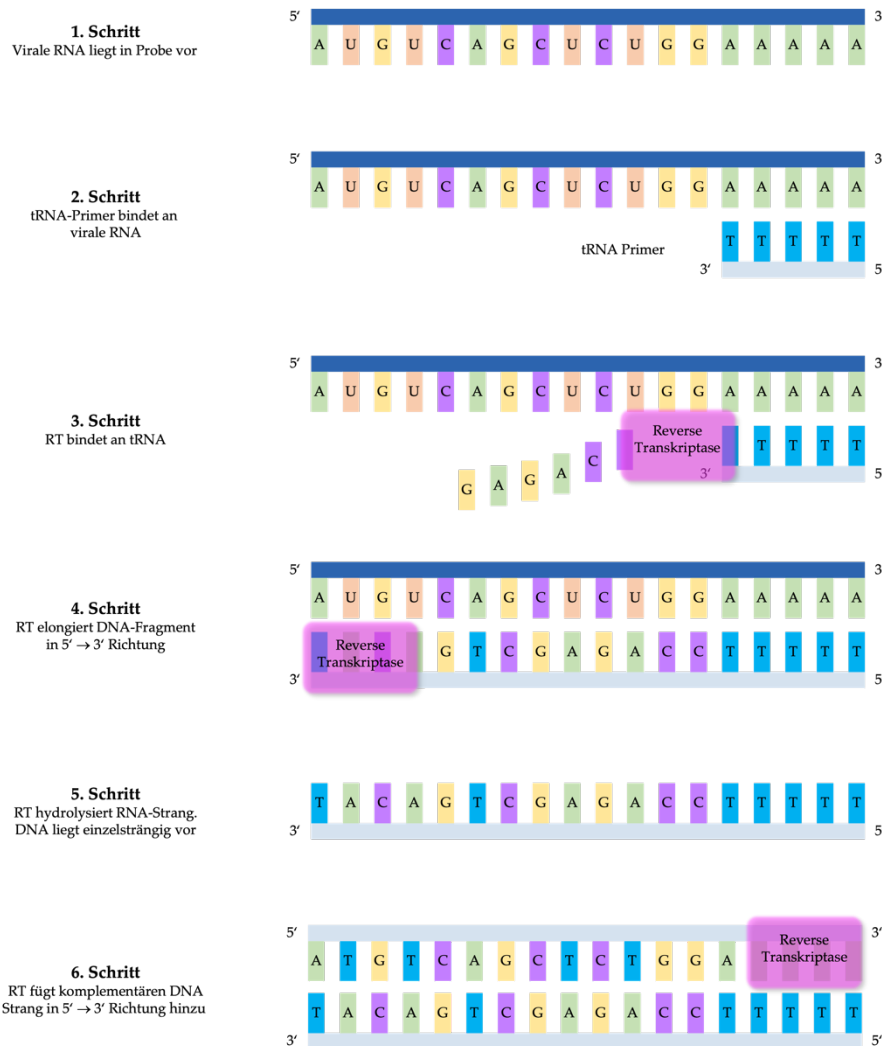


Abbildung 130: Schema der Reversen Transkription von viraler RNA zu DNA.

Nachdem die RNA revers in DNA transkribiert wurde, beginnt die eigentliche PCR. Dazu wird das Reaktionsgemisch zunächst für 10 Minuten auf 95 °C erhitzt, um die Reverse Transkriptase zu denaturieren. Für die PCR selbst werden die revers-transkribierte DNA, zwei spezifische Primer, eine DNA abhängige DNA-Polymerase, freie Nukleotide und eine entsprechende Pufferlösung benötigt. Die PCR verläuft in drei sich wiederholenden Schritten, die nacheinander ablaufen. Ein Durchlauf aller drei Schritte wird als Zyklus bezeichnet, für den Nachweis viralen Erbguts von SARS-CoV-2 werden 47 Zyklen eingesetzt (Corman et al., 2020). Zunächst wird die DNA bei 95 °C denaturiert, d.h. die Wasserstoffbrücken zwischen den DNA-Basen werden gelöst und die DNA liegt in Form zweier Einzelstränge vor. Im zweiten Schritt, der Primerhybridisierung wird das Reaktionsgemisch abgekühlt, wodurch eine spezifische Anlagerung der Primer ermöglicht wird. Für die PCR von SARS-CoV-2-RNA geschieht dies bei 58 °C (Corman et al., 2020). In der dritten Phase findet bei ca. 70 °C die Elongation der DNA an den Primerhybriden statt. Dazu bindet die DNA-Polymerase an das 3'-Ende des Primers und fügt die komplementären Nukleotide zum Matrizenstrang in 5' → 3' Richtung des neuen Stranges hinzu. Diese drei Schritte werden bis zu 47-mal wiederholt, bei jedem Schritt verdoppelt sich das genetische Material. Der schematische Ablauf der PCR ist in Abbildung 131 dargestellt.

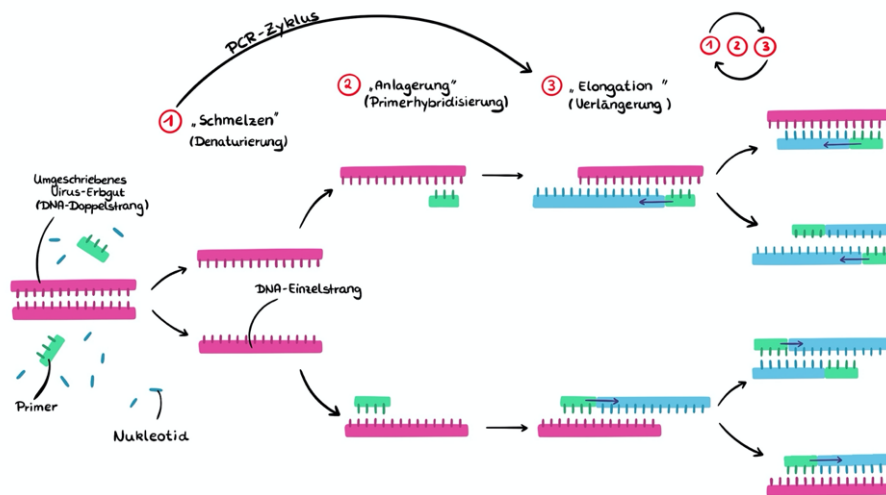


Abbildung 131: Schematischer Ablauf der PCR (Otte & Beeken, 2021).

Der Nachweis erfolgt im Falle der Real Time qPCR nicht über eine anschließende Gelelektrophorese, sondern über einen Fluoreszenzfarbstoff, der aktiv wird, sobald er an DNA-Doppelstränge binden kann. Die Fluoreszenzintensität wird überwacht, wodurch auf die Anzahl der DNA-Doppelstränge rückgeschlossen werden kann. Je höher die Menge an viraler RNA in der Ausgangsprobe war, desto mehr DNA konnte über die Reverse Transkription synthetisiert werden. Die zuvor festgelegte Fluoreszenzschwellenintensität wird somit schneller erreicht, je größer die Menge an viraler RNA ist (Holzapfel & Wickert, 2007).

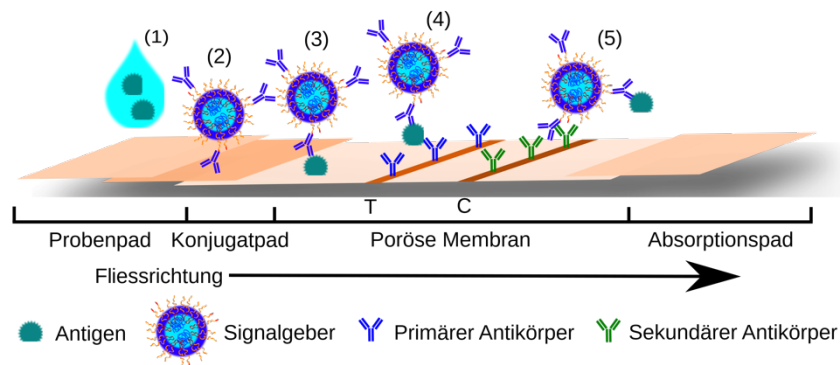


Abbildung 132: Schematischer Aufbau eines Lateral-Flow-Immunoassays zum Antigen-Schnelltest auf SARS-CoV-2 (Moritz, 2021).

Da die PCR nur von fachkundigem Laborpersonal durchgeführt werden kann, verhältnismäßig teuer ist und erst nach einigen Stunden ein Ergebnis liefert, wurden für den Gebrauch in der COVID-19-Pandemie Antigen-Schnelltests entwickelt. Beim Antigen-Schnelltest werden mithilfe von spezifischen Oberflächen-Proteinen, die auf SARS-CoV-2 vorliegen, Infektionen nachgewiesen. Im Falle des Antigen-Schnelltests erfolgt der Nachweis über die Spike-Proteine von SARS-CoV-2 (Guglielmi, 2020). Antigen-Schnelltests gehören zu den Lateral-Flow-Tests. Zum Nachweis von SARS-CoV-2-Antigenen wird zunächst Probenmaterial aus dem Nasen-Rachenraum genommen und in eine Lyse-Flüssigkeit gegeben. In dieser wird die Virusmembran aufgebrochen und das Virus fragmentiert. Anschließend werden einige Tropfen dieser Lösung auf das Probenpad des Lateral-Flow-Tests gegeben. Dort befindet sich die stationäre Phase des Tests aus Papier, Glasfaser oder gesinterten Polymeren. Die Lyse-Flüssigkeit dient als mobile Phase, die die Virus-Fragmente entlang der stationären Membran transportiert. Unmittelbar hinter dem Probenpad befindet sich das Konjugatpad, auf welchem getrocknete Immunkonjugate aufgetragen sind. Die Immunkonjugate bestehen jeweils aus einem für das Antigen spezifischen Antikörper, an den ein Farbstoffmolekül gebunden ist. Die Immunkonjugate binden, sofern vorhanden, an die Antigene von SARS-CoV-2 und werden weiter mit der mobilen Phase transportiert. Hinter dem Konjugatpad befindet sich eine poröse Membran, auf welchem ein immobilisierter Antikörper aufgetragen

ist. Gelangt ein Antigen-Immunkonjugat-Komplex an den immobilisierten Antikörper, wird der gesamte Komplex agglomeriert, indem der sekundäre Antikörper an ein weiteres Epitop des Antigens bindet. Durch die Anreicherung von Farbstoffen der Immunkonjugate auf diesem schmalen Streifen, wird ein gefärbter Strich sichtbar. Dieser dient als Positivnachweis von SARS-CoV-2, da die Immobilisierung nur bei vorhandenem viralem Antigen möglich ist. Die mobile Phase durchläuft schließlich einen zweiten Teststreifen, auf dem eine Färbung zu erkennen ist, sobald die mobile Phase den Teststreifen erreicht. Dieser Teststreifen dient als Negativkontrolle, um die korrekte Durchführung des Tests anzuzeigen. Der Aufbau eines Lateral Flow Tests ist in Abbildung 132 dargestellt. (O'Farrell, 2009)

Um die Genauigkeit von Tests zu bestimmen, werden als Kenngrößen die Spezifität und die Sensitivität angegeben. Die Spezifität misst die Genauigkeit eines Tests, mit welcher nicht-infizierte (negative) Personen als negativ identifiziert werden. Eine geringe Spezifität führt zu falsch positiven Ergebnissen, da nicht infizierte Personen fälschlicherweise als infiziert deklariert werden. Die Sensitivität gibt die Genauigkeit eines Tests an, mit der infizierte Personen auch als infiziert detektiert werden. Eine geringe Sensitivität führt zu falsch negativen Ergebnissen, da positive Personen fälschlicherweise als negativ erkannt werden (Tabelle 119). Um sowohl falsch richtige als auch falsch positive Ergebnisse zu minimieren, sollten Sensitivität und Spezifität eines Tests möglichst groß sein.

Tabelle 119: Mögliche Ergebnisse und Fehler eines Tests mit Angabe des Testfehlers.

	Infiziert	Nicht infiziert
Test positiv	Richtig positiv (hohe Sensitivität)	Falsch positiv (geringe Spezifität, α -Fehler)
Test negativ	Falsch negativ (geringe Sensitivität, β -Fehler)	Richtig negativ (hohe Spezifität)

PCR-Tests gelten als „Goldstandard“ der Tests, da sie zumeist hohe Sensitivitäten und Spezifitäten aufweisen. Für den PCR-Test auf COVID-19 ergeben sich (bei korrekter Probeentnahme) Spezifitäten und Sensitivitäten von nahezu 100 % (Dharavath et al., 2020). Antigen-Schnelltests zeigen je nach Herstellerfirma und vor allem nach Genauigkeit der Probenahme starke Unterschiede. Hendrik Streeck et al. testeten die Sensitivität und Spezifität eines Antigen-Schnelltests anhand von 49 Personen, von denen 22 über einen qPCR-Test als positiv identifiziert worden sind. Mithilfe des Schnelltests konnten lediglich sieben der 22 positiven Personen identifiziert werden, woraus sich eine Sensitivität von 36,4 % ergibt. Von den 27 negativen Personen wurden drei Personen falsch positiv getestet, was einer Spezifität von 88,9 % entspricht (Döhla et al., 2020). Christian Drosten et al. konnten hingegen bessere Spezifitäten bei einer Untersuchung sieben verschiedener Antigen-Test-Fabrikate feststellen. In einer Stichprobe mit 138 COVID-19-positiven Personen, 100 Personen mit nicht COVID-19-positiven Atemwegserkrankungen und 35 negativen Personen (Nachweis via qPCR), konnten Spezifitäten zwischen 98,5 % und 100 % festgestellt werden, zwei Ausreißer zeigten Spezifitäten von 99,24 % und 94,85 % (Corman et al., 2021). Insgesamt zeigten PCR-Tests folglich im Vergleich zu Antigen-Schnelltests sehr hohe Genauigkeiten, waren allerdings aufgrund des höheren Aufwandes nicht immer sinnvoll einsetzbar. Folglich wurde die Empfehlung gegeben, positive Schnelltests mithilfe eines PCR-Tests überprüfen zu lassen.

Impfungen

Als wirksamstes Mittel gegen die Ausbreitung von Viruserkrankungen werden Schutzimpfungen (Vakzinationen) angesehen. Das grundlegende Ziel von Schutzimpfungen ist die Aktivierung des menschlichen Immunsystems, um vor (ansteckenden) Erkrankungen zu schützen (Deutscher Bundestag, 2022). Unterschieden wird grundsätzlich zwischen einer aktiven und einer passiven Immunisierung. Bei der aktiven Immunisierung wird das Immunsystem des Menschen angeregt, Schutzstoffe gegen Krankheiten zu bilden, um eine erregerspezifische Immunkompetenz auszubilden. Zu diesen Impfstoffen gehören Lebendimpfstoffe, Totimpfstoffe und RNA-Impfstoffe. Dem gegenüber stehen passive Immunisierungen, bei denen dem Körper Immuneren injiziert werden, die Antikörper gegen spezifische Erkrankungen enthalten. Beide Arten von Immunisierungen haben gemein, dass durch die im Körper nach der Impfung vorhandenen Antikörper Schutz vor einer spezifischen Krankheit bieten sollen.

In Deutschland wurden im Laufe der Pandemie sieben Impfstoffe zugelassen, ein Impfstoff mit bedingter Zulassung. Die Zulassung erfolgt in Deutschland über das Paul-Ehrlich-Institut, welches als Bundesinstitut die Zulassung von Impfstoffen und anderen biomedizinischen Arzneimitteln prüft. Als Impfstoffe wurden durch das Paul-Ehrlich-Institut der Impfstoff Tozinameran Comirnaty (Biontech-

Pfizer), Elasmomern Spikevax (Moderna), AZD1222 Vaxzevria (AstraZeneca), Ad26.COV2.S (Johnson & Johnson), VLA2001 (Valneva), NVX-CoV2373 (Novavax) und Vidprevtyn (Sanofi-GSK) zugelassen (Paul-Ehrlich-Institut, 2023) (Tabelle 120).

Tabelle 120: In Deutschland zugelassene Impfstoffe gegen SARS-CoV-2. Daten nach (Paul-Ehrlich-Institut, 2023).

Impfstoffklasse	Name	Hersteller	Altersgruppe
mRNA-Impfstoff (Liposom-umhüllt)	Tozinameran Comirnaty	Biontech/Pfizer	Ab 5 Jahren
	Elasmomern Spikevax	Moderna	Ab 6 Jahren
Adenovirus- Vektorimpfstoffe	AZD1222 Vaxzevria	AstraZeneca	Ab 18 Jahren
	Ad26.COV2.S	Johnson & Johnson	Ab 18 Jahren
Inaktivierte SARS-CoV-2-Viren	VLA2001	Valneva	18 bis 50 Jahre
Untereinheitenimpfstoffe	NVX-CoV2373	Novavax	Ab 12 Jahren
	Vidprevtyn	Sanofi-GSK	Ab 18 Jahren

Im Folgenden soll der Fokus lediglich auf die mRNA und die Vektorimpfstoffe gelegt werden. Die beiden mRNA-Impfstoffe der Firmen Biontech/Pfizer und Moderna sind Aktivvakzine, die auf Basis von messenger-RNA (mRNA) den Körper zur Proteinbiosynthese von SARS-CoV-2 ähnlichen Antigenen anregen. Der von Biontech/Pfizer entwickelte Impfstoff besteht aus einer von Nanolipiden umhüllten mRNA die für ein Protein codiert, das dem Spike-Protein von SARS-CoV-2 entspricht. Die mRNA ist an zwei Stellen im Vergleich zum Gen von SARS-CoV-2 für das Spike-Protein modifiziert, damit das exprimierte Protein funktionell auch ohne eine umgebende Virushülle stabil ist (Walsh et al., 2020). Darüber hinaus wurde das Nukleosid Uridin gegen N^1 -Methylpseudouridin ausgetauscht, um eine bessere Stabilität zu gewährleisten und Immunreaktionen des Körpers zu verhindern, indem die mRNA von Toll-Like-Rezeptoren nicht erkannt werden kann (Ostendorf et al., 2020). Im Impfstoff ist die mRNA, die ausschließlich für das Spike-Protein-Analogon codiert und in Lipid-Nanopartikel verpackt (Abbildung 133).

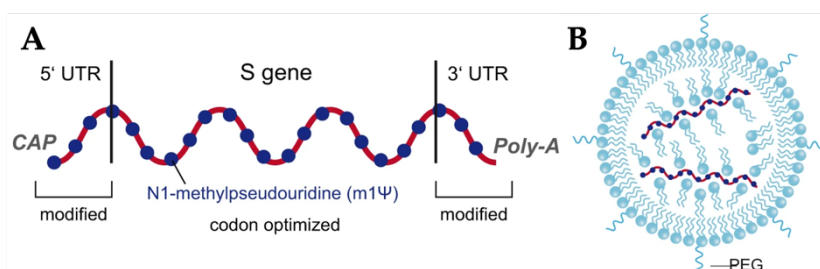


Abbildung 133: A Schematische Darstellung der mRNA von Tozinameran. B Schematische Darstellung der mRNA in Lipidnanopartikeln. Abbildung verändert nach (Heinz & Stiasny, 2021).

Wird der Impfstoff in einen Muskel im Körper injiziert, gelangt die in den Lipid-Nanopartikeln verpackte mRNA zu verschiedenen Zielzellen im Körper. Die Lipid-Nanopartikel verhindern zum einen den Abbau der mRNA durch humane RNAsen und ermöglichen zum anderen die Transfektion der mRNA in die Körperzellen, indem die Lipid-Nanopartikel mit der Zellmembran verschmelzen. In der Zielzelle wird die mRNA vom Proteinbiosyntheseapparat als humane mRNA und das resultierende Protein am rauen Endoplasmatischen Retikulum durch die Ribosomen exprimiert. Die fertigen Proteine werden im Golgi-Apparat in Vesikel verpackt und zur Zelloberfläche gebracht. Dort werden die Proteine zum Teil auf der Zelloberfläche präsentiert, zum Teil aber auch in das interzelluläre Lumen exozytiert. Dort werden die Spike-Proteine von B-Immunzellen als Antigen detektiert und bilden als Antikörper-produzierende-Plasmazelle Antikörper gegen das Spike-Protein. Gleichzeitig werden T-Gedächtniszellen gegen die Antigene gebildet, die bei einem erneuten Auftreten des Antigens unmittelbar Antikörper ausschütten können (Abbildung 134). Das durch die Proteinbiosynthese aus der mRNA erzeugte Spike-Protein-Analogon ist für den Körper nicht schädlich. Der Impfstoff Elasmomern der Firma Moderna ist dem Impfstoff der Firmen Biontech/Pfizer hinsichtlich der zellulären Abläufe identisch, unterscheidet sich hinsichtlich der eingesetzten mRNA allerdings an wenigen Stellen im Offenen Leserahintergrund (Bordon, 2021).

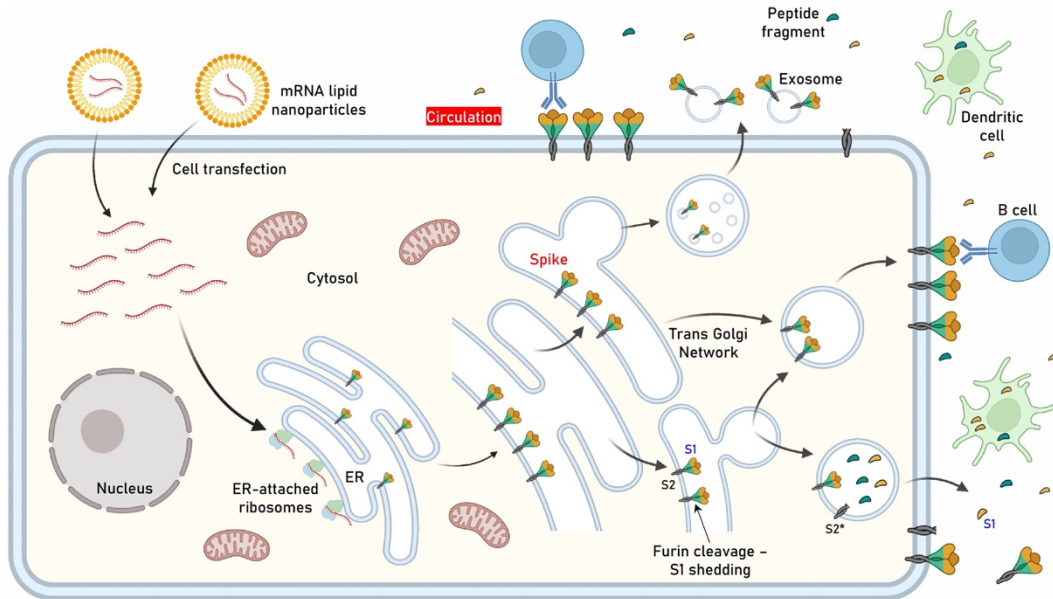


Abbildung 134: Schematische Darstellung der zellulären Mechanismen und Immunantwort durch die Impfung mit einem mRNA-basierten Impfstoff gegen COVID-19 (Trouwakos et al., 2022).

Nach Aufbau eines vollständigen Impfschutzes zeigen beide mRNA-Impfstoffe sehr gute Wirksamkeiten. Sowohl das Präparat von Biontech/Pfizer als auch das Präparat von Moderna senken die Wahrscheinlichkeit eines schweren Krankheitsverlaufes nach einer Infektion mit COVID-19 um ca. 95 %. Eine Review-Studie, die die Wirksamkeit verschiedener Impfstoffe hinsichtlich verschiedener Faktoren untersucht, zeigte eine Reduktion der Wahrscheinlichkeit sich mit COVID-19 zu infizieren für mRNA-Impfstoffe um 69,4 %. Die Wahrscheinlichkeit eines symptomatischen Verlaufes wurde um 91,4 % reduziert, die Wahrscheinlichkeit eines schweren bis tödlichen Verlaufes um 98,4 % (He et al., 2022). mRNA-Impfstoffe können nicht in das Genom von Menschen übertragen werden, da es keine humanen Enzyme (Reverse Transkriptasen) gibt, die RNA in DNA retranskribiert. mRNA-Impfstoffe zählen daher nicht zu gentherapeutischen Maßnahmen (Deutscher Bundestag, 2021).

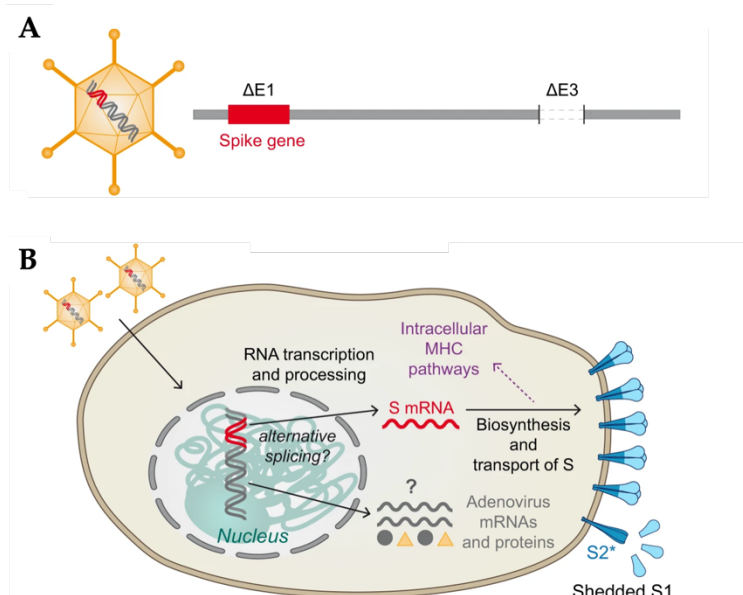


Abbildung 135: **A** Schematische Darstellung des Genoms des in den Vektorimpfstoffen gegen COVID-19 eingesetzten Adenoviren. **B** Schematische Darstellung der zellulären Mechanismen durch die Impfung mit einem Vektorimpfstoff gegen COVID-19. Abbildung verändert nach (Heinz & Stiasny, 2021).

Vektorimpfstoffe hingegen verwenden virale Vektoren, um Erbgut in menschliche Zellen zu schleusen, welches zu Proteinen translatiert wird. Im Falle der beiden vektorbasierten Impfstoffe der Firmen AstraZeneca und Johnson & Johnson werden Adenoviren als virale Vektoren genutzt, welche bei Schimpansen Erkältungen auslösen. In Adenoviren liegt das Erbgut in Form doppelsträngiger DNA vor. Aus

dem Erbgut werden Genabschnitte entfernt, die für die Replikation von Bedeutung sind. Die Adenoviren, die im Impfstoff eingesetzt werden, können sich somit nicht vermehren (Dicks et al., 2012). In das Erbgut der modifizierten Viren werden künstlich Abschnitte eingefügt, die für ein Spike-Protein-Analogon von SARS-CoV-2 codieren. Im Gegensatz zu den mRNA-Impfstoffen handelt es sich bei den Vektorimpfstoffen aber zum einen um DNA, die eingesetzt wird, zum anderen werden im Gegensatz zu Lipid-Nanopartikeln virale Vektoren eingesetzt. Wird der Impfstoff injiziert, gelangen die modifizierten Adenoviren zu den Zielzellen und dringen in diese ein. Sie wandern von dort aus zum Zellkern und übertragen ihr Erbgut in den Zellkern. Dort liegt das Erbgut episomal, also neben dem humanen Erbgut vor und wird nicht in dieses eingebaut (Lee et al., 2017). Dennoch kann eine Integration des viralen Erbgutes in das menschliche Erbgut nicht ausgeschlossen werden. Die episomale DNA wird zunächst in mRNA transkribiert. Schließlich wird diese mRNA identisch zu mRNA-Impfstoffen translatiert und erzeugt so das Spike-Protein-Analogon. Dieses wird auf den Zellen präsentiert oder exozytiert und dann von B- und T-Zellen erkannt (Abbildung 135). Ein Immunschutz wird aufgebaut. (Antrobus et al., 2014)

Die Vektorimpfstoffe der Firmen AstraZeneca und Johnson & Johnson zeigen in einer Review-Studie zur Wirksamkeit der Impfstoffe geringere Wirksamkeiten als die mRNA-Impfstoffe. Sie senken die Wahrscheinlichkeit einer Infektion um 52,6 %, senken die Wahrscheinlichkeit eines symptomatischen Verlaufes um 70,1 % und eines schweren bis tödlichen Verlaufes um 89,7 % (He et al., 2022).

2G/3G-Regeln

Die 2G- bzw. die 3G-Regel dienten dem präventiven Infektionsschutz in der COVID-19-Pandemie in Deutschland. Geregelt werden sie auch für zukünftige Ausbrüche von Infektionskrankheiten durch das modifizierte Infektionsschutzgesetz (Deutscher Bundestag, 2022). Die Regeln definieren Zugangsbeschränkungen zu Einrichtungen wie Einzelhandel, kulturellen Veranstaltungen oder dem Öffentlichen Personennahverkehr und griffen daher im Laufe der Pandemie in Phasen, die nicht durch Lockdown-Regelungen bestimmt worden sind. Mit dem Buchstaben „G“ werden für beide Regeln die Status der Einzelperson bezeichnet. Die Buchstaben stehen dabei für „geimpft“, „genesen“ und „getestet“. Die 3G-Regel, die überwiegend in Geschäften des Einzelhandels, im Öffentlichen Personennahverkehr, in Ämtern und Behörden, in Krankenhäusern und Pflegeeinrichtungen sowie in Veranstaltungen an der freien Luft angewendet worden war, ist liberaler als die 2G-Regel. 3G-zugangsbeschränkte Orte durften von Personen betreten werden, die einen vollständigen Impfschutz, einen Nachweis der Genesung nach einer Infektion mit COVID-19 oder einen aktuellen und negativen Antigen-Schnelltest oder PCR-Test vorweisen konnten (Deutscher Bundestag, 2022). 2G-zugangsgeschränkte Orte durften hingegen nur von Personen betreten werden, die einen vollständigen Impfschutz oder einen Nachweis der Genesung nach einer Infektion mit COVID-19 vorweisen konnten. Die ausschließliche Vorlage eines negatives Testergebnis war für die Erfüllung des 2G-Status insuffizient (Deutscher Bundestag, 2022). Auf Bundesebene wurden die Regeln für Arbeitsplätze, den Luftverkehr, den Öffentlichen Personennahverkehr und für die Einreise definiert. Alle anderen Regelungen wurden durch die Länder und die Kommunen getroffen. Dadurch waren die Regelungen zur Umsetzung der 2G- und 3G-Regeln nicht einheitlich definiert und je nach Bundesland oder Kommune unterschiedlich. Neben den beiden Regeln wurden zum Teil auch die 2G-plus-Regel (Erfüllung von 2G und zusätzliche Vorlage eines negativen Schnell- oder PCR-Tests), die 2G-plus-plus-Regel (wie 2G-plus-Regel mit zusätzlicher Pflicht zum Tragen einer FFP2-Maske) und die 1G-Regel (Vorlage eines negativen Schnell- oder PCR-Tests) angewendet. Die Regeln wurden je nach aktueller Verordnungssituation teilweise durch Inhaber:innen und Betreiber:innen von Geschäften und Einrichtungen im Sinne des Hausrechtes umgesetzt.

Erfolg der Maßnahmen

Die Effizienz, mit der bestimmte Maßnahmen gegen die COVID-19-Pandemie gewirkt haben, kann durch den Einfluss der Maßnahme auf die Reproduktionszahl (R-Wert) von COVID-19 gemessen werden. Der R-Wert, unterteilt in R_0 - und R_{eff} -Wert, beschreibt, wie viele Personen eine infizierte Person im Durchschnitt ansteckt. Der R-Wert wurde in Deutschland sowohl regional als auch für das gesamte Bundesgebiet vom RKI bestimmt (RKI, 2021). Der Basisreproduktionszahl R_0 definiert die mittlere Zahl, wie viele Personen durch eine infizierte Person angesteckt werden, zu Beginn einer Epidemie, bzw. zu einem Zeitpunkt, in dem noch keine Maßnahmen gegen die Ausbreitung der Infektionskrankheit ergriffen worden sind (Arcari, 2015). Die Basisreproduktionszahl von COVID-19 beträgt für die Ursprungsvariante $R_0 = 2,9$ (Billah et al., 2020), für die Variante Delta $R_0 = 7$ (Burki, 2021) und für die

Variante Omikron $R_0 = 9,5$ (Liu & Rocklov, 2022). Im Durchschnitt steckt eine Person, die an COVID-19 über die SARS-CoV-2 Omikron-Variante erkrankt ist, 9,5 weitere Personen an, sofern keine Maßnahmen zur Eindämmung getroffen werden. Die effektive Reproduktionszahl gibt hingegen den Realwert an und berücksichtigt somit alle getroffenen Maßnahmen und Zustände, die einen Einfluss auf die Kontagiosität haben. Um eine Pandemie einzudämmen, muss R_{eff} langfristig unter dem Wert 1 gehalten werden, da die Anzahl der Infizierten sinkt, wenn eine Person im Durchschnitt weniger als eine andere Person infiziert.

Eine Review-Studie untersuchte den Einfluss verschiedener staatlicher und überstaatlicher Eindämmungs-Maßnahmen („Mitigation Measures“) auf den R-Wert von COVID-19 in Europa. Einen besonders hohen Einfluss zeigten das Schließen nicht-essentieller Geschäfte (insgesamt ca. -35 %), beispielsweise Restaurants, Bars und Pubs (-12 %) und Nachtclubs (-12 %). Das Schließen von Museen, Zoos, Ausstellungen und ähnlichen Einrichtungen zeigte hingegen nur einen kleinen Effekt von (-3 %). Ein großer Effekt konnte ebenfalls durch das Verbot von Zusammenkünften erzielt werden (-26 %), insbesondere Verbote von Zusammenkünften von mehr als zwei Personen. Insgesamt erzielten die Lock-down-Maßnahmen eine Reduktion des R-Wertes von 52 %. In der zweiten COVID-19 Welle zeigte das Schließen von Schulen jedoch nur einen kleinen Effekt (-7 %). Einen großen Effekt erzielten auch die Maskenpflicht (-12 %) und die zeitweise durchgesetzte nächtliche Ausgangssperre (-13 %). (Sharma et al., 2021)

Die Effizienz der staatlichen Maßnahmen in Europa ist in Abbildung 136 graphisch dargestellt.

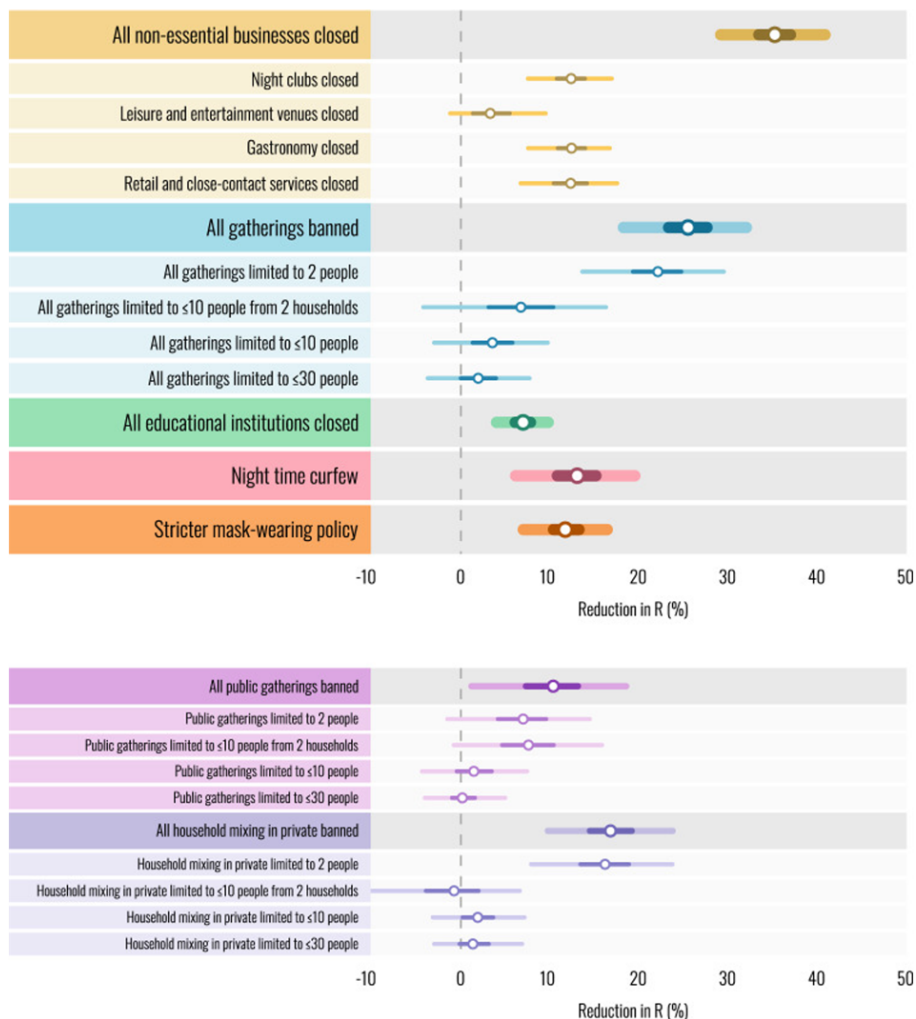


Abbildung 136: Einfluss verschiedener staatlicher Maßnahmen auf den R-Wert von COVID-19. Abbildung verändert nach (Sharma et al., 2021).

Eine weitere Review-Studie untersuchte den Einfluss zahlreicher Maßnahmen weltweit. Es konnte festgestellt werden, dass das Verbot von Zusammenkünften in kleinen Gruppengrößen den größten Einfluss auf den R-Wert aufweist (-83 %). Ebenfalls zeigten das Schließen von Schulen und Hochschulen (-73 %), das Schließen von Grenzen (-56 %), das Verwenden von Masken (-51 %) und nationale

Lockdowns (-25 %) hohe Einflüsse. Im Gegensatz dazu führen Maßnahmen, die auf die Überwachung des COVID-19-Status zielen (vermehrtes Angebot zum Testen auf COVID-19, Testpflicht an Flughäfen, usw.) und nationale Rückholaktionen von Staatsbürger:innen aus dem Ausland zu einer Erhöhung des R-Wertes. Während Rückholaktionen mit großer Wahrscheinlichkeit zu einer tatsächliche Erhöhung des R-Wertes geführt haben, vermuten die Autor:innen, dass die bessere Möglichkeit zum Testen lediglich unerkannte COVID-19-Infektionen aufgedeckt hat, sodass der R-Wert genauer bestimmt werden konnte. (Haug et al., 2020)

Der Einfluss der Maßnahmen weltweit ist in Abbildung 137 dargestellt.



Abbildung 137: Einfluss verschiedener Maßnahmen auf den R-Wert von COVID-19 weltweit. Abbildung verändert nach (Haug et al., 2020)

Insgesamt zeigt sich, dass die Maßnahmen zur Eindämmung der COVID-19-Pandemie einen erheblichen Einfluss auf die Kontagiosität der Viruserkrankung aufweisen. Aufgrund der unterschiedlichen Tragweite und Umsetzung der Maßnahmen sowie der Vielzahl an parallel agierenden Maßnahmen ist eine exakte Bestimmung des Einflusses jedoch kaum möglich.

5.1.4 Mythen und Fehlinformationen zur COVID-19-Pandemie

Besonders durch den immer stärker werdenden Einfluss sozialer Medien nimmt auch die Verbreitung von Falschinformationen, sogenannter Fake News, weltweit um ein Vielfaches zu. (Ha et al., 2019). Die Verbreitung der Fehlinformationen kann dabei sowohl bewusst ob des Misinformationsgehaltes der Aussagen als auch unbewusst ob des Misinformationsgehaltes geschehen. Die steigende Verbreitung von Fehlinformationen ist nicht zuletzt auf den ehemaligen Präsidenten der Vereinigten Staaten, Donald Trump, zurückzuführen, der die US-amerikanischen Medien im Zusammenhang mit seiner Wahlkampfkampagne 2016 beschuldigte, „Fake News“ zu verbreiten (Allcott & Gentzkow, 2017). Seit Beginn der COVID-19-Pandemie gegen Anfang des Jahres 2020 entwickelten und verbreiteten sich vor allem auf digitalen Plattformen und sozialen Medien wie Facebook und Twitter zahlreiche Fehlinformationen über die Pandemie. Diese thematisieren überwiegend den Ursprung des Virus (Cohen, 2020b), vermeintlich wirksame (Haushalts-)Medikamente (FDA, 2021; WHO, 2021a), die Gefahr, die von COVID-19 ausgeht und die Effektivität der Impfungen gegen COVID-19 (Gallotti et al., 2020; Marco-Franco

et al., 2021; van der Linden et al., 2020). Eine beispielsweise explizit im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie über soziale Netzwerke verbreitete Verschwörungstheorie macht die Sendefrequenzen neuartiger „5G-Mobilfunk“-Sendemasten für die Erkrankung an COVID-19 verantwortlich (Meese et al., 2020). Die in diesem Rahmen noch nie dagewesene Verbreitung von Fake News im Rahmen der Corona-Pandemie wird daher mitunter auch als *Infodemic* (englisches Kofferwort aus „information“ und „pandemic“) bezeichnet (The Lancet Infectious Diseases, 2020). Fehlinformationen, besonders in den sozialen Medien, stellen aus mehreren Gründen eine Gefahr für die Gesellschaft dar. Zum einen zeigte sich beispielsweise im Jahr 2016 in den Vereinigten Staaten, dass 14 % der US-Amerikaner:innen soziale Medien als wichtigste Informationsquelle bezeichnen und so Wahlergebnisse durch Fake News zum Teil massiv beeinflusst werden können (Allcott & Gentzkow, 2017). Zum anderen vermutet unter anderem das Forbes-Magazin, dass bewusst und unbewusst verbreitete Fehlinformationen einen Einfluss auf den Aktienmarkt haben können und somit auch direkte oder indirekte finanzielle und wirtschaftliche Schäden durch Fake News entstehen (Rapoza, 2017). Wenngleich besonders in sozialen Netzwerken vor allem die Gruppe der über 65-Jährigen Fehlinformationen überproportional verbreitet, sind auch Schüler:innen und junge Erwachsene von Fake News betroffen. Dass die über 65-Jährigen besonders häufig Fehlinformationen verbreiten, ist maßgeblich auf drei Faktoren zurückzuführen. Zum einen sinkt bei den Älteren die Fähigkeit, neue Informationen zu verarbeiten. Zum anderen spielen sowohl das Nutzungsverhalten von sozialen Netzwerken als auch die generelle Medienkompetenz eine entscheidende Rolle. Während die über 65-Jährigen vor allem auf Facebook und Twitter über die Statusfunktion bzw. Retweet-Funktion kommunizieren, nutzen die Jüngeren eher private Nachrichten. Auch die Fähigkeit, unseriöse Quellen im sozialen Raum zu erkennen, ist bei Jüngeren besser ausgeprägt. (Brashier & Schacter, 2020)

Dennoch stellen Fehlinformationen auch für Jüngere Schüler:innen ein großes Problem dar. Dies liegt nicht zuletzt daran, dass die Gruppe der 14–29-Jährigen in Deutschland sowohl auf Facebook und Twitter, besonders aber auf Instagram und Snapchat die anteilig größte Nutzer:innengruppe ausmacht. Neben der Verbreitung von Fake News in Bezug auf das Alter ist entscheidend, inwiefern Personen Fehlinformationen fälschlicherweise als wahr deklarieren. Es zeigt sich, dass besonders junge Erwachsene Fehlinformationen fälschlich als wahr deklarieren, während ältere Erwachsene hier besser differenzieren können. Dies ist vor allem auf das Maß an Allgemeinwissen zurückzuführen, das bei Älteren oft besser ausgeprägt ist und für die Identifikation von Fake News eine wichtige Rolle spielt. Wenngleich das Vorwissen maßgeblich die Entscheidung, ob die vorliegende Information falsch oder richtig ist, prägt, tendieren jüngere Erwachsene häufiger dazu, trotz vorhandenen Vorwissens Falschaussagen Glauben zu schenken (Brashier et al., 2017) (Abbildung 138).

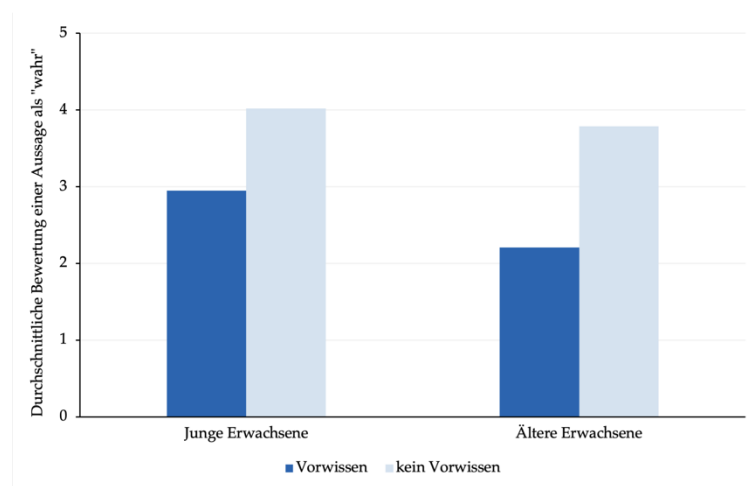


Abbildung 138: Durchschnittliche Bewertung einer Falschaussage als „wahr“ in Abhängigkeit von Alter und Vorwissen über das entsprechende Themenfeld. An der Studie nahmen 163 Personen im Alter von 18–83 Jahren teil (davon 81 älter als 65 Jahre). Den Proband:innen wurden aus 424 Aussagen 100 zufällig ausgewählte vorgestellt, die sie als „wahr“ oder „falsch“ bewerten mussten. Die Aussagen selbst basieren auf einem Fragenkatalog zum Allgemeinwissen und wurden zum Teil zu Falschaussagen konvertiert, indem einzelne Bestandteile der Aussage verfälscht wurden. Abbildung verändert nach (Brashier et al., 2017).

Neben der Verbreitung von Fake News konnte auch eine abnehmende Akzeptanz verschiedener Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie festgestellt werden. Wenngleich die Wirksamkeit verschiedener Maßnahmen wie zuvor erläutert bereits in der Pandemie vielfach demonstriert worden ist

(Brüggenjürgen et al., 2023; Talic et al., 2021), so zum Beispiel die Wirksamkeit der „AHA+L“-Regeln in Deutschland (vgl. Abschnitt „AHA-Regeln“ und „Erfolg der Maßnahmen“), zeigte sich im Laufe der Pandemie eine abnehmende Akzeptanz und Umsetzung dieser Maßnahmen durch die Bevölkerung (Betsch et al., 2020). Die Akzeptanz für die Maßnahmen divergiert dabei stark in Abhängigkeit des (Vor-)Wissens, das die betroffene Person über die COVID-19-Pandemie aufweist. Akzeptanz und Einhaltung der Maßnahmen sind höher, je größer das Wissen über die Wirksamkeit der jeweiligen Maßnahmen ist. Als Beispiel dafür kann das Tragen von Mund-Nase-Schutz in Deutschland angesehen werden: Zum Zeitpunkt der Erhebung im Jahr 2020 gaben lediglich zwischen 68 % und 72 % der Bevölkerung an, dass SARS-CoV-2 über die Luft (durch Tröpfchen und Aerosole) übertragen würde. 28 % bis 32 % konnten keine Angaben über die Übertragungswege machen, gaben untergeordnete oder falsche Übertragungswege an oder leugneten gar die Existenz des Virus. Innerhalb der erstgenannten Gruppe trugen 93,4 % regelmäßig einen Mund-Nase-Schutz, während in der zweitgenannten Gruppe lediglich 82,2 % regelmäßig einen Mund-Nase-Schutz trugen. Vor dem Hintergrund der zum Zeitpunkt der Erhebung geltenden Maskenpflicht ist besonders die Compliance der zweiten Gruppe als gering einzuschätzen (Betsch et al., 2020). Reinders Folmer et al. konnten in den USA ebenfalls zeigen, dass die Einhaltung der Social-Distancing-Empfehlungen signifikant vom Vorwissen der betreffenden Personen abhängt (Reinders Folmer et al., 2021). Das durchschnittlich geringe Wissen über COVID-19 und SARS-CoV-2 einerseits (Betsch et al., 2020; Shafiq et al., 2021) und die daraus resultierende teilweise geringe Compliance mit COVID-19-Eindämmungsmaßnahmen andererseits bedurften einer intensiveren Begegnung mit Mythen und Fake News zur COVID-19-Pandemie von wissenschaftlicher Seite. Ziel einer solchen Begegnung sollten die Steigerung des (Vor-)Wissens und die Aufklärung von Mythen und Fake News sein, um politische Entscheidungsprozesse und Eindämmungsmaßnahmen verständlicher für die Bevölkerung zu machen. Aus diesem Grund ist die Bedeutung von Wissenschaftskommunikationsformaten im Laufe der COVID-19-Pandemie als besonders hoch anzusehen. Im Folgenden werden die im Rahmen der vorliegenden Arbeit erstellten und erprobten Wissenschaftskommunikationsformate zu Mythen und Fake News in der COVID-19-Pandemie vorgestellt.

5.2 Wissenschaftskommunikationsformate zur COVID-19-Pandemie

5.2.1 Problemstellung und übergeordnete Zielsetzung

Wie in Kapitel 5.1.4 beschrieben, waren und sind zu Aspekten und Themenfeldern der COVID-19-Pandemie zahlreiche Mythen und Fake News im Umlauf. Von diesen Fehlinformationen sind sowohl Schüler:innen als auch Erwachsene betroffen. Die Omnipräsenz der COVID-19-Pandemie seit dem Jahr 2020 in den Medien, der Schule und dem alltäglichen Leben führt zu einer enormen Relevanz der Thematik für alle Menschen weltweit. Die hohe Relevanz in Kombination mit der hohen Zahl an Fehlinformationen führt zu einer hohen Anfälligkeit für eine wissenschaftsfeindliche Ausrichtung von Menschen, eine generelle Unzufriedenheit in Teilen der Bevölkerung und das Ablehnen bis hin zum Sabotieren unerlässlicher Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie (Johnson et al., 2022). Um das Wissen über die COVID-19-Pandemie zu erhöhen, ist daher die Erstellung geeigneter Wissenschaftskommunikationsformate von Nöten, die im Umlauf befindliche Fake News und Mythen zur COVID-19-Pandemie thematisieren. Dabei wurden im Vorfeld der Erstellung dieser Formate zwei Zielgruppen identifiziert, die von den Formaten angesprochen werden sollen und deren konkrete Zielsetzungen im Folgenden erläutert werden sollen.

Zielsetzungen für Schüler:innen

Die erste identifizierte Zielgruppe der Formate sind Schüler:innen ab einem Alter von ungefähr 12 Jahren. Wie zuvor beschrieben, tendieren besonders junge Menschen stark dazu, Fehlinformationen als wahr zu deklarieren, da ihnen oft (Vor-)Wissen zur Identifikation und Interpretation der Informationen fehlt. Aus diesem Grund erscheint es zwingend notwendig, Fehlinformationen zur COVID-19-Pandemie mit Schüler:innen sowohl innerhalb des Schulunterrichtes als auch außerhalb des Schulunterrichtes zu thematisieren und mit Schüler:innen Strategien zu entwickeln, Fake News zu identifizieren. Derartige Strategien beruhen dabei vor allem auf der Vertiefung des fachspezifischen Wissens, aber auch auf der Stärkung der Medienkompetenz im Umgang mit sozialen Medien. Für die konkrete Betrachtung von Fehlinformationen zur COVID-19-Pandemie eignet sich hierfür besonders der MINT-Unterricht. Dies kann vorrangig auf die für die Naturwissenschaften grundlegende *Scientific Literacy* zurückgeführt werden (OECD, 2017). Vor dem Hintergrund des PISA-Schocks wurden aus der *Scientific Literacy* die bis heute gültigen Bildungsstandards der Naturwissenschaften *Sachkompetenz*, *Erkenntnisgewinnungskompetenz*, *Kommunikationskompetenz* und *Bewertungskompetenz* abgeleitet (KMK, 2005). Eine besondere Rolle für den Wissenserwerb und das tieferegreifende Verständnis über die Struktur von Naturwissenschaften (NOS, Nature of Science) spielen dabei die Planung, Durchführung und Auswertung naturwissenschaftlicher Experimente. Schüler:innen internalisieren Wissen deutlich besser, wenn dieses durch Experimente beobachtbar, erfahrbar und erlebbar gemacht wird (Sommer & Pfeifer, 2018). Die Aneignung von Wissen und Soft-Skills, Fehlinformationen zur COVID-19-Pandemie identifizieren und entkräften zu können, soll daher über naturwissenschaftliche (Modell-)Experimente geschehen. Aus diesem Grund sind die für die Schüler:innen erstellten Formate experimentalbasiert.

Zielsetzungen für Bürger:innen

Neben den Schüler:innen sind wie zuvor beschrieben auch Bürger:innen im Allgemeinen (hier als Gesamtheit aller Personen im deutschsprachigen Raum) massiv sowohl von den Einschränkungen durch die COVID-19-Pandemie als auch von im Rahmen der Pandemie zirkulierenden Fehlinformationen betroffen. Wenngleich das Interesse an Naturwissenschaften und Medizin in Deutschland während der COVID-19-Pandemie als hoch angesehen wird (Wissenschaft im Dialog, 2020), muss das Wissen über die Pandemie als recht gering eingestuft werden (Shafiq et al., 2021). Wie zuvor gezeigt, ist Wissen allerdings unabdingbar, um Fehlinformationen zu identifizieren und zu entkräften (Betsch et al., 2020; Reinders Folmer et al., 2021). Im Gegensatz zu Schüler:innen kann das Aneignen von Wissen und Soft-Skills allerdings nicht über schulische Bildung gehen, da ein Großteil der Bürger:innen keine schulische Bildung mehr erfährt. Hier dient Wissenschaftskommunikation als Bindeglied zwischen Wissenschaft und Bürger:innen. Besonders in der COVID-19-Pandemie wurde Wissenschaftskommunikationsformaten eine hohe Bedeutung darin zu teil, Bürger:innen aufzuklären, Fehlinformationen zu entkräften und die Bevölkerung zu informieren. Beispiele dafür waren in der Pandemie der Podcast „Das Coronavirus-Update von NDR-Info“ mit dem Virologen Christian Drosten (NDR Info, 2023), das Epidemiologische Bulletin des RKI (RKI, 2023a) oder der YouTube-Kanal „Kurz gesagt – In a Nutshell“, der der

international erfolgreichste Science-YouTube-Kanal der letzten Jahre ist (Kurzgesagt - In a Nutshell, 2023). Trotz der zahlreichen Wissenschaftskommunikationsformate in der COVID-19-Pandemie zeigten sich steigende Ablehnungshaltungen gegen staatliche Maßnahmen in der Bevölkerung sowie ein mangelndes Vorwissen in Bezug auf die Viruserkrankung. Ähnlich wie bei Schüler:innen kann ein Grund dafür in der Komplexität der Inhalte liegen. Vergleichbar mit Schüler:innen kann eine Lösungsstrategie im Durchführen oder zumindest Beobachten von Experimenten liegen, die Aspekte der COVID-19-Pandemie (modellhaft) näherbringen. Gleichzeitig unterscheidet sich ein Wissenschaftskommunikationsformat, das experimentell-orientiert Inhalte zur COVID-19-Pandemie vermittelt, deutlich von anderen Wissenschaftskommunikationsformaten, die zumeist visuell (Texte, Bücher), auditiv (Podcasts) oder in wenigen Fällen audiovisuell (TV-Sendungen, YouTube-Kanäle) agieren. Die experimentelle Orientierung möglicher Formate zur Aufklärung von Mythen und Fehlinformationen im Rahmen der COVID-19-Pandemie markiert daher ein Alleinstellungsmerkmal.

5.2.2 Übersicht der Experimente und Formate

Tabelle 121: Experimente der Wissenschaftskommunikationsformate "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".

#	Name	Zugrundeliegender Mythos	Inhalt
1	Die Virenverbreitung	Kann das Coronavirus über Hände und Gegenstände übertragen werden?	Schmierinfektionen mittels einer selbst hergestellten Fluoreszenzcreme aus Tonic Water simulieren
2	Die Rolle des Bargelds bei der Virusübertragung	Kann das Coronavirus über Bargeld übertragen werden?	Darstellung der antimikrobiellen Wirkung von Kupfer-Ionen am Beispiel von Geldmünzen
3	Tröpfchenausstoß	Reicht das Halten von 2 Metern Abstand aus, um Infektionen zu vermeiden?	Vergleich der Persistenz von Tröpfchen und Aerosolen in der Luft in Abhängigkeit ihrer Größe mithilfe von Tonic Water
4	Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken – Kerzen löschen	„Das Tragen von Gesichtsmasken hat keine bzw. nur eine kleine Wirkung.“ Oder	Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Mund-Nase-Schutze mithilfe einer Kerze (Teil 1) und grünen Lichtes (Teil 2)
5	Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken – Masken in grünem Licht	„Viren sind zu klein, um von den groben Maschen von Gesichtsmasken aufgefangen werden zu können.“	
6	Masken backen	Können alle Masken wiederverwendet werden?	Darstellung der Denaturierung von Proteinen durch Hitze und damit verbundene Wiederverwendbarkeit eines Mund-Nase-Schutzes
7	Emulgierende Wirkung von Seife	Kann das Coronavirus durch Seife inaktiviert werden?	Darstellung der emulgierenden (Teil 1) und dispergierenden (Teil 2) Eigenschaften von Seifen und damit verbundene Wirkung auf behüllte Viren im Modellexperiment
8	Dispergierende Wirkung von Seife		
9	Herstellung von Desinfektionsmitteln	Kann das Coronavirus durch begrenzt viruzide Desinfektionsmittel inaktiviert werden?	Herstellung eines Desinfektionsmittels nach Vorgaben der WHO und Untersuchung der Wirkungsweise von Desinfektionsmitteln im Modellexperiment
10	Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren		
11	Desinfektionsmittel im Blut	Aussage Donald Trumps: „Es sollte überprüft werden, ob eine Injektion von Desinfektionsmitteln in den Körper Corona bekämpfen kann“.	Überprüfung der Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Blutplasma
12	Digitales Experiment: Das Coronavirus im virtuellen Politiklabor	Kann vorhergesagt werden, wie sich verschiedene Eindämmungsmaßnahmen auf die Pandemie auswirken?	Digitale Simulation verschiedener Maßnahmen zur Pandemiebekämpfung in einer virtuellen Kleinstadt
13	Aerosole in feuchter und trockener Luft	Ist die Pandemie im Winter stärker als im Sommer?	Untersuchung des Verhaltens von Aerosolen in Bezug auf jahreszeitenbedingte Schwankungen der Luftfeuchtigkeit

Die im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Formate werden unter dem Titel „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“ zusammengefasst. Der Titel informiert dabei bereits über drei Kernaspekte, die alle Formate gemein haben. Erstens sollen mit ihnen Mythen zur COVID-19-Pandemie und zum Coronavirus wissenschaftlich überprüft werden. Weiterhin soll diese Überprüfung mithilfe von (naturwissenschaftlichen) Experimenten geschehen, um Wissen bzw. Verständnis für das Virus und die Pandemie zu schaffen. Letztlich sollen alle Experimente von zu Hause aus mit einfachen Mitteln durchführbar sein, ohne dass schwer beschaffbare oder gefährliche Chemikalien benötigt würden oder anderweitige Labormaterialien beschafft werden

müssten. Da die Formate während der Pandemie entwickelt worden sind, betrifft dies sowohl die innerschulischen als auch die außerschulischen Formate, da auf diesem Wege Rücksicht auf mögliches Lernen auf Distanz („Homeschooling“) genommen werden konnte. Insgesamt wurden 13 Experimente entwickelt, die in sechs verschiedenen Formaten platziert worden sind. Alle Experimente sind dabei an Mythen angelehnt, die im Laufe der COVID-19-Pandemie zirkulieren bzw. zirkulierten. Die Experimente sind in Tabelle 121 dargestellt.

Die insgesamt sechs Wissenschaftskommunikationsformate sind in Tabelle 122 dargestellt. Zunächst wurde im Laufe der Pandemie das Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“ verfasst. Um möglichst viele Zielgruppen passgenau anzusprechen, wurde das Format durch einen YouTube-Kanal ergänzt und im Rahmen des Lernen auf Distanz „Online-Projektunterricht“ mit Schüler:innen verschiedener Schulen durchgeführt. Darüber hinaus wurde für die Phasen der Pandemie, in der eine Vor-Ort-Beschulung möglich war, ein Schülerlaborsetting entwickelt. Um die Experimente und Materialien in den Regelunterricht zu implementieren, wurden Lehrkräftefortbildungen angeboten. Letztlich wurden Experimentalvorträge für Bürger:innen angeboten, um ein niederschwelliges Angebot neben Buch und YouTube-Kanal auch außerhalb des Schulunterrichts anbieten zu können.

Tabelle 122: Wissenschaftskommunikationsformate zum Titel "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".

#	Format	Zielgruppe	Digitalität
1	Buch	Schüler:innen und Bürger:innen	Nein
2	YouTube-Kanal	Schüler:innen und Bürger:innen	Ja
3	Online-Projektunterricht	Schüler:innen	Ja (teilweise Hybrid)
4	Schülerlabor	Schüler:innen	Nein
5	Lehrkräftefortbildungen	Lehrkräfte	Ja / Nein
6	Vorträge	Bürger:innen	Ja / Nein

Exemplarisch sollen einige der insgesamt 13 entwickelten Experimente im Folgenden vorgestellt werden. Die Vorstellung entspricht den Experimenten, die in der Publikation im *Journal of Chemical Education* dargestellt worden sind (Otte & Beeken, 2022b). Alle Experimente wurden im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“ publiziert (Otte & Beeken, 2021). Das Buch selbst mit allen darin enthaltenen Experimenten ist im Anhang dieser Arbeit veröffentlicht.

Tröpfchenausstoß (Experiment 3)

Theoretischer Hintergrund und Ziel des Experimentes:

Die Tröpfcheninfektion ist der primäre Mensch-zu-Mensch-Übertragungsweg des Coronavirus (Morawska & Cao, 2020). Als Tröpfchen werden in der Infektionsbiologie flüssige Partikel mit einem Durchmesser $< 10 \mu\text{m}$ bezeichnet, die durch die Luft übertragen werden (Tabatabaeizadeh, 2021). Diese Tröpfchen können (Corona-)Viren enthalten und somit potentiell infektiös sein. Differenziert werden muss zwischen Tröpfchen im eigentlichen Sinne, die einen Durchmesser $> 5 \mu\text{m}$ aufweisen und Aerosolen mit einem Durchmesser $< 5 \mu\text{m}$ (Tabatabaeizadeh, 2021). Diese Unterscheidung spielt eine große Rolle, da sich das Verhalten in der Luft maßgeblichen mit dem Durchmesser der Partikel ändert. Während Tröpfchen aufgrund ihrer größeren Masse recht schnell zu Boden sinken, werden die leichteren Aerosole teilweise über Hunderte von Metern transportiert und verbleiben in geschlossenen Räumen bis zu mehrere Stunden in der Luft (Tabatabaeizadeh, 2021). Tröpfchen werden von Menschen überwiegend beim Husten und Niesen ausgestoßen, Aerosole bei jeglicher respiratorischer Aktivität (z.B. Atmen, Singen, Sprechen, aber auch Husten und Niesen) (Setti et al., 2020).

Das im Folgenden vorgestellte Modellexperiment simuliert den Ausstoß von Tröpfchen und Aerosolen und ihr Verhalten in der Luft auf einfache Weise. Mit dem Experiment soll die Fragestellung beantwortet werden, ob das Halten eines Abstandes von 2 Metern zu anderen Menschen ausreichend ist, um sich vor einer Infektion mit COVID-19 zu schützen.

Materialien:

Chininhaltiges Tonic Water (Diät-Tonic Water), UV-Taschenlampe, leere Sprühflasche mit größenverstellbarem Zerstäuber, Maßband

Gefahrenhinweise:

Vom Experiment gehen keine besonderen Gefahren aus. Bei Verwendung der UV-Taschenlampe sollte darauf geachtet werden, dass diese ein CE-Prüfsiegel trägt. Mit der Taschenlampe sollte nicht in das Gesicht von anderen Personen geleuchtet werden. Von Tonic Water gehen zumeist keine Gefahren aus. Personen, die eine Allergie gegenüber Chinin und Chininderivaten haben, sollten jedoch auf eine Durchführung des Experimentes verzichten.

Durchführung:

Zunächst wird die Sprühflasche mit Diät-Tonic Water gefüllt und der Zerstäuber so eingestellt, dass möglichst kleine Tröpfchen ausgestoßen werden. Anschließend wird der Raum abgedunkelt und die UV-Taschenlampe angeschaltet. Diese sollte so positioniert werden, dass der Raum vor dem Sprühkopf gut ausgeleuchtet wird. Nun wird einige Male Tonic Water mit der Sprühflasche versprüht und das Verhalten der Tröpfchen in der Luft und das entstehende Muster am Boden beobachtet. Anschließend wird die Einstellung des Zerstäubers so eingestellt, dass möglichst große Tröpfchen ausgestoßen werden. Der Versuch wird mit dieser Einstellung wiederholt. Mit einem Maßband können die entstandenen Tröpfchenmuster auf dem Boden vermessen werden.

Beobachtungen:

Die Beobachtungen des Versuches sind in Abbildung 139 dargestellt. Das Tonic Water zeigt unter UV-Licht eine intensive hellblaue Fluoreszenz. Werden kleine Tröpfchen ausgestoßen, verbleiben die unter UV-Licht blau fluoreszierenden Partikel für einige Sekunden in der Luft und sinken dann langsam zu Boden. Dort erzeugen sie ein breit verteiltes, feines Muster auf dem Boden. Die größeren Tröpfchen fallen hingegen unmittelbar zu Boden und zeigen einen schmalen, länger ausgebreiteten hellblauen Streifen auf dem Boden, der eine Ausdehnung von ungefähr 1,50 m aufweist. In der Luft lassen sich die kleinen Tröpfchen nahezu nur unter UV-Licht erkennen.

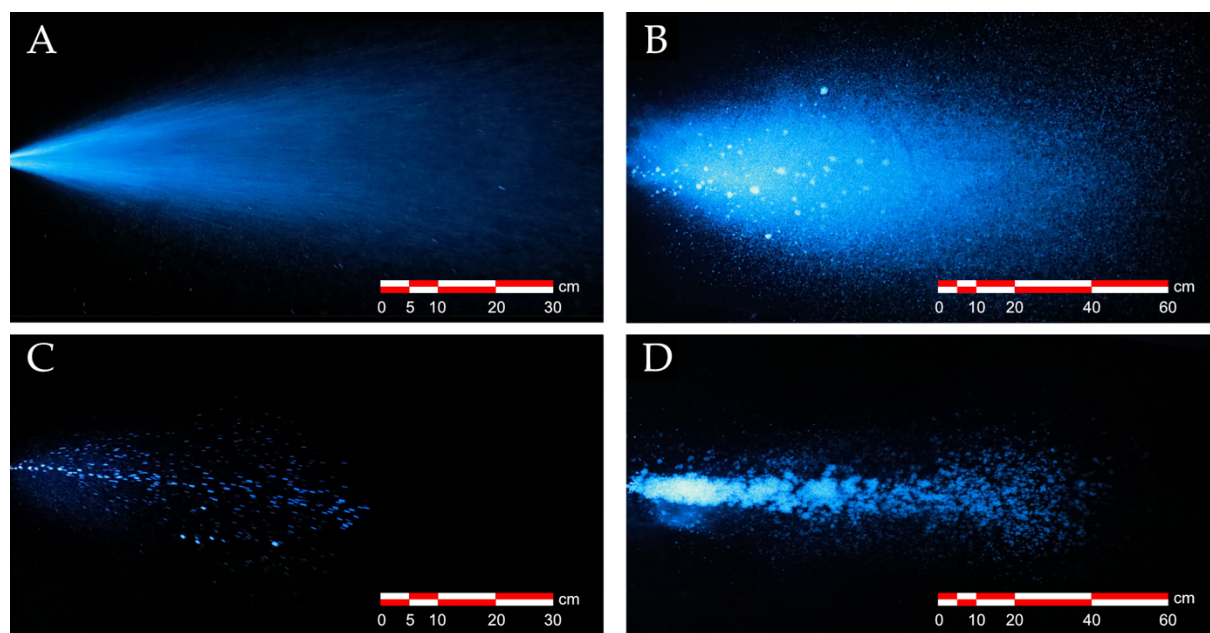


Abbildung 139: Simulation des Tröpfchen- und Aerosolausstoßes mithilfe einer Sprühflasche mit Tonic Water. Darstellung unter Beleuchtung mit UV-Licht. **A** Einstellung des Zerstäubers auf den Ausstoß kleiner Tröpfchen, Verhalten der Tröpfchen in der Luft. **B** Einstellung des Zerstäubers auf den Ausstoß kleiner Tröpfchen, Tröpfchenmuster am Boden. **C** Einstellung des Zerstäubers auf den Ausstoß großer Tröpfchen, Verhalten der Tröpfchen in der Luft. **D** Einstellung des Zerstäubers auf den Ausstoß großer Tröpfchen, Tröpfchenmuster am Boden.

Auswertung und Beantwortung der Fragestellung:

Die intensiv blaue Farbe des Tonic Waters unter UV-Licht ist mithilfe der Fluoreszenz des Alkaloides Chinin zu erklären, welches in Tonic Water und anderen Bitterlimonaden enthalten ist. Das Tonic Water wird im Versuch verwendet, um den Ausstoß der Tröpfchen sichtbar zu machen. Die im Versuch ausgestoßenen kleineren Tröpfchen simulieren dabei den Ausstoß von Aerosolen, beispielsweise durch die Atmung oder durch Sprache. Im Gegensatz stehen die im Experiment ausgestoßenen größeren Tröpfchen modellhaft für den Ausstoß von Tröpfchen durch Husten oder Niesen. Entsprechend der

Beobachtungen des Experimentes kann geschlussfolgert werden, dass das Halten eines Abstandes von zwei Metern die Wahrscheinlichkeit, sich durch das Husten oder Niesen anderer Personen anzustecken, verringert. Kleinere Tröpfchen bzw. Aerosole verbleiben jedoch länger in der Luft und sind besonders in geschlossenen Räumen persistenter. Das Halten eines Abstandes von zwei Metern ist daher zum Schutz vor einer Infektion durch Aerosole insuffizient, sodass andere Maßnahmen zum Infektionsschutz getroffen werden müssten.

Diskussion:

Das Experiment simuliert den Ausstoß von Tröpfchen und Aerosolen auf einfache Art und Weise. Die Unterschiede im Flugverhalten und in der Ausbreitung der Tröpfchen in Abhängigkeit der Größe der ausgestoßenen Tröpfchen kann einfach erkannt werden, sodass Empfehlungen zum Abstandhalten für die Beobachter:innen leicht abgeleitet werden können. Der Versuch kann erweitert werden, um den Unterschied des Tröpfchenausstoßes in geschlossenen Räumen und im Freien zu simulieren. Um die im Freien stattfindenden Luftbewegungen zu modellieren, kann ein Ventilator quer zur Ausstoßrichtung der Tröpfchen aufgestellt werden. Es kann festgestellt werden, dass die größeren Tröpfchen durch die Luftbewegung des Ventilators kaum beeinflusst werden, während die kleineren Tröpfchen zur Seite gestoßen werden und schneller zu Boden sinken als im experimentellen Aufbau ohne Ventilator. Anhand dieses Versuchsaufbaus kann die Empfehlung abgeleitet werden, möglichst viel Zeit im Freien zu verbringen, um Infektionen zu vermeiden.

Das Experiment funktioniert mit Tonic Water und mit Diät-Tonic Water gleichermaßen. Der in gewöhnlichem Tonic Water enthaltene Zucker verklebt allerdings die Sprühflasche und die besprühten Oberflächen und macht eine aufwändigere Reinigung notwendig. Der Versuche sollte daher mit Diät-Tonic Water durchgeführt werden.

Der Versuch erfüllt die Funktion eines Modellexperimentes und sollte daher kritisch reflektiert werden. Die durch die Sprühflasche ausgestoßenen Tröpfchen weisen andere Dimensionen als die durch humane respiratorische Aktivität ausgestoßenen Tröpfchen und Aerosole auf und zeigen daher andere physikalische Eigenschaften. Die durch Atmung und Sprechen ausgestoßenen Aerosole weisen Durchmesser $< 0,8 \mu\text{m}$ bzw. zwischen $3,5 \mu\text{m}$ und $5 \mu\text{m}$ auf (Morawska et al., 2009). Die im Versuch verwendete Sprühflasche der Marke EMSA (Oase, 1 L Füllvermögen) produziert hingegen Tröpfchen mit einer kleinstmöglichen Größe von ungefähr $50 \mu\text{m}$. Die durch Husten ausgestoßenen Tröpfchen weisen im Durchschnitt Durchmesser von $8,35 \mu\text{m}$ auf (Yang et al., 2007). Um im Experiment einen Vergleich der Größenordnungen der verschiedenen Tröpfchen gewährleisten zu können, wird eine Einstellung gewählt, in der die Durchmesser der Tröpfchen durch die Sprühflasche $> 250 \mu\text{m}$ betragen. Die natürliche Größe der Tröpfchen und Aerosole weicht daher stark von der im Experiment gewählten Tröpfchengröße ab, sodass keine Rückschlüsse auf Zeiten und Entfernungen geschlossen werden sollten, die die Tröpfchen in der Luft zurücklegen. Darüber hinaus stößt die Sprühflasche alle Partikel mit einer bestimmten Geschwindigkeit aus, die zumeist deutlich höher als die Ausstoßgeschwindigkeit von Aerosolen durch Atmung und Sprechen, aber deutlich geringer als die Ausstoßgeschwindigkeit von Tröpfchen durch Husten und besonders Niesen ist. Unabhängig der Modellkritik entsprechen die Beobachtungen näherungsweise den tatsächlich messbaren Parametern des Tröpfchen- und Aerosolausstoßes durch Menschen (Tabatabaeizadeh, 2021).

Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken (Experiment 4 und 5)

Theoretischer Hintergrund und Ziel des Experimentes:

Als eine Maßnahme zur Eindämmung der Pandemie wurden in Deutschland die AHA+L-Regeln beschlossen, die unter anderem das Tragen von Gesichtsmasken (Alltagsmasken) empfehlen. Entsprechend der Gesetzeslage wurde in verschiedenen Zeitabschnitten der Pandemie das Tragen von Masken verpflichtend, teilweise wurde vorgeschrieben, dass Masken mit bestimmten Standards (medizinischer Mund-Nase-Schutz oder FFP2-Masken) getragen werden müssen (Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland, 2021). Die Pflicht zum Tragen von Masken in öffentlichen Gebäuden, dem Einzelhandel und dem Öffentlichen Personennahverkehr sah sich bereits mit Einführung der Maskenpflicht häufiger und wiederkehrender Kritik ausgesetzt. Neben zahlreichen anderen Punkten wurde kritisiert, die Masken seien nicht in der Lage, Viren bzw. virusbeladene Tröpfchen und Aerosole aufzuhalten. Oft wurde als Argument angeführt, Masken könnten nicht engmaschig genug sein, um Coronaviren mit einem Durchmesser von ca. 100 nm aufzuhalten. Darüber hinaus wurde kritisiert, dass durch das Tragen der Masken schwere gesundheitliche Komplikationen bis hin zum Tode auftreten könnten.

Diese nachweislichen Falschaussagen bzw. Verschwörungstheorien wurden teilweise im pseudowissenschaftlichen Stil publiziert (z.B. *Pathologie des Maskentragens* von Arne Burkhardt). Die Wirksamkeit von Mund-Nase-Schutz wurde jedoch in zahlreichen Peer-Reviewten Studien belegt. Die Effektivität der Masken beruht nicht, wie von Kritiker:innen zum Teil angenommen, auf dem Aufhalten einzelner Viren an sich, sondern vielmehr auf dem Verlangsamen und Stoppen von ausgestoßenen Tröpfchen und Aerosolen, über die Viren transmittiert werden (MacIntyre & Chughtai, 2020). Dennoch unterscheiden sich verschiedene Typen von Masken hinsichtlich ihrer Wirksamkeit voneinander. Während für den medizinischen Einsatz zertifizierte Masken wie FFP2-Masken hocheffizient sind, zeigen beispielsweise einlagige Alltagsmasken geringere Effizienzen (Chughtai et al., 2020; Lima et al., 2020). Ziel der beiden zusammenhängenden Experimente ist es, auf einfache Weise die Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken zu überprüfen.

Materialien – Experiment 4 – Kerzen löschen:

Verschiedene Gesichtsmasken (z.B. Medizinischer Mund-Nase-Schutz, FFP2-Maske, FFP3-Maske, einlagige Baumwollmaske, mehrlagige Baumwollmaske, Nylonschal, T-Shirt, Ellenbeuge, Taschentuch), Kerze oder Teelicht, Streichholz oder Feuerzeug

Sicherheitshinweise – Experiment 4 – Kerzen löschen:

Von der offenen Flamme der Kerze bzw. des Teelichtes geht eine geringe Brandgefahr aus. Entzündliche Gegenstände und Substanzen sollten entfernt werden.

Durchführung – Experiment 4 – Kerzen löschen:

Zunächst wird die Kerze bzw. das Teelicht entzündet und aus ca. 30 cm Entfernung getestet, wie viel Atemkraft benötigt wird, die Kerze ohne Maske durch Pusten zu löschen. Anschließend wird eine der Masken angelegt und erneut versucht, die Kerze mit der Atemkraft zu löschen. Dieses Vorgehen wird für alle zu testenden Gesichtsmasken wiederholt und die benötigte Atemkraft zum Löschen der Kerze qualitativ verglichen.

Materialien – Experiment 5 – Masken in grünem Licht:

Verschiedene Gesichtsmasken (z.B. Medizinischer Mund-Nase-Schutz, FFP2-Maske, FFP3-Maske, einlagige Baumwollmaske, mehrlagige Baumwollmaske, Nylonschal, T-Shirt, Ellenbeuge, Taschentuch), Taschenlampe mit grünem Licht, leere Sprühflasche mit größenverstellbarem Zerstäuber, Leitungswasser

Sicherheitshinweise – Experiment 5 – Masken in grünem Licht:

Vom Versuch gehen keine Gefahren aus. Es sollte darauf geachtet werden, mit der Taschenlampe nicht direkt in das Gesicht anderer Personen oder das eigene Gesicht zu leuchten.

Durchführung – Experiment 5 – Masken in grünem Licht:

Zunächst wird die Sprühflasche mit Leitungswasser gefüllt und der Raum abgedunkelt. Die Taschenlampe wird nun so positioniert, dass der Raum vor der Sprühflasche gut ausgeleuchtet wird. Die Sprühflasche wird auf den Ausstoß kleiner Tröpfchen eingestellt und betätigt, das Flugverhalten der Tröpfchen wird beobachtet. Alternativ kann das Flugverhalten auch mit einer Kamera aufgenommen werden. Anschließend wird unmittelbar vor die Sprühflasche eine der zu testenden Masken gehalten und die Sprühflasche erneut betätigt. Dieses Vorgehen wird für alle weiteren Masken wiederholt und der jeweils durch die Maske dringende Sprühnebel verglichen. Die in beiden Versuchen verwendeten Masken und Gesichtsschutze sind in Abbildung 140 dargestellt.

Beobachtungen – Experiment 4 – Kerzen löschen:

Sofern die Maske korrekt getragen wird, fällt es schwer, die Kerzen beim Tragen der Masken A–D mit der Atemkraft zu löschen. Beim Tragen der einlagigen Baumwollmaske (G) kann die Maske mit moderater Anstrengung gelöscht werden, während beim Tragen des Nylonschals und des T-Shirts kaum eine größere Kraftaufwendung notwendig ist als bei der Blindprobe ohne Maske. Das Face-Shield zeigt ein komplexeres Ergebnis, da der Erfolg des Löschens der Kerze hier vom Winkel zwischen Gesicht und Kerze abhängt.



Abbildung 140: Im Experiment verwendete Gesichtsmasken. **A** FFP3-Maske, **B** FFP2-Maske, **C** Medizinischer Mund-Nase-Schutz, **D** Mehrschichtige Baumwollmaske, **E** Nylonschal, **F** Face-Shield, **G** Einlagige Baumwollmaske und **H** T-Shirt. Zusätzlich wurden ein Papiertaschentuch und die Ellenbeuge vor die Sprühflasche gehalten.

Beobachtungen – Experiment 5 – Masken in grünem Licht:

Die Ergebnisse des Experimentes sind in Abbildung 141 dargestellt. In grünem Licht sichtbare Tröpfchen sind kaum oder nicht in der Lage, die Masken A–D zu durchdringen. Bei der einlagigen Baumwollmaske (G) ist eine moderate Durchdringung der Maske erkennbar. Eine deutlich höhere Durchdringung lässt sich beim T-Shirt (H) und dem Nylonschal (E) erkennen. Der Nylonschal zeigt dabei noch eine sichtbare Verkleinerung der ausgestoßenen Tröpfchen. Durch das Face-Shield (F) dringen die Tröpfchen nur in einem bestimmten Winkel. Auch die Ellenbeuge (I) und das Papiertaschentuch (J) zeigen eine Durchdringung bzw. eine Transmission von Tröpfchen. Während an der Ellenbeuge, ähnlich zum Face-Shield, Tröpfchen nur in einem bestimmten Winkel dringen, lässt sich eine Durchdringung des Papiertaschentuches mit kleinen Tröpfchen erkennen.

Auswertung und Beantwortung der Fragestellung:

Die Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken kann mithilfe der beiden beschriebenen Experimente modellhaft überprüft werden. In Experiment 4 wird dies über die Verlangsamung des Luftstroms durch die verschiedenen Masken überprüft. Es konnte gezeigt werden, dass die FFP3-Maske, die FFP2-Maske, der medizinische Mund-Nase-Schutz sowie die mehrschichtige Baumwollmaske den Luftstrom effizient verlangsamen. Die einlagige Baumwollmaske, der Nylonschal und das T-Shirt hingegen zeigen keine ausreichende Verlangsamung des Luftstroms. Die Ergebnisse aus Experiment 5 bestätigen die Beobachtungen. Hier wurde untersucht, inwiefern Tröpfchen die verschiedenen Masken durchdringen können. Ebenfalls zeigen die einlagige Baumwollmaske, der Nylonschal und das T-Shirt keine effiziente Wirksamkeit. Auch die Ellenbeuge und das Papiertaschentuch zeigen keine gute Wirksamkeit, bieten jedoch, beispielsweise beim Husten eine Reduktion der ausgestoßenen Tröpfchen. Beide Experimente bestätigen einerseits die auch in Fachpublikationen festgestellten Unterschiede zwischen Masken und andererseits die generelle Funktionsfähigkeit von Masken.

Diskussion:

Das grüne Licht dient der besseren Sichtbarkeit der Wassertropfen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass grünes Licht vom menschlichen Auge besonders gut erkannt werden kann. Diese Eigenschaft wurde ebenfalls in anderen Publikationen zur COVID-19-Pandemie genutzt, die die Transmission von Tröpfchen und Aerosolen experimentell untersuchten (Stadnytskyi et al., 2020).

Die beiden Versuche müssen in ihrer Rolle als Modellexperimente kritisch reflektiert werden. Experiment 4 modelliert die Funktionsweise von Gesichtsmasken stark vereinfacht, da die Wirkung der Masken lediglich mithilfe der Verlangsamung des Luftstroms überprüft wird. Dies wird in Experiment 5 durch die Betrachtung der Permeabilität der Masken für Tröpfchen optimiert, die näherungsweise der in Fachpublikationen überprüften Parameter für die Wirksamkeit von Gesichtsmasken entspricht. Ebenso wie im vorherigen Abschnitt zur Tröpfcheninfektion sollte jedoch berücksichtigt werden, dass

die durch die Sprühflasche ausgestoßenen Tröpfchen andere Dimensionen aufweisen als die durch humane Respiration ausgestoßenen Tröpfchen und Aerosole. Ebenso entspricht, wie zuvor erwähnt, Ausstoßgeschwindigkeit durch die Sprühflasche nicht realistischen Gegebenheiten. Unabhängig der Modellkritik korreliert die in beiden Versuchen festgestellte Wirksamkeit verschiedener Masken gut mit Fachpublikationen zur Untersuchung von Gesichtsmasken (Fischer et al., 2020; MacIntyre & Chughtai, 2020; Tabatabaeizadeh, 2021).

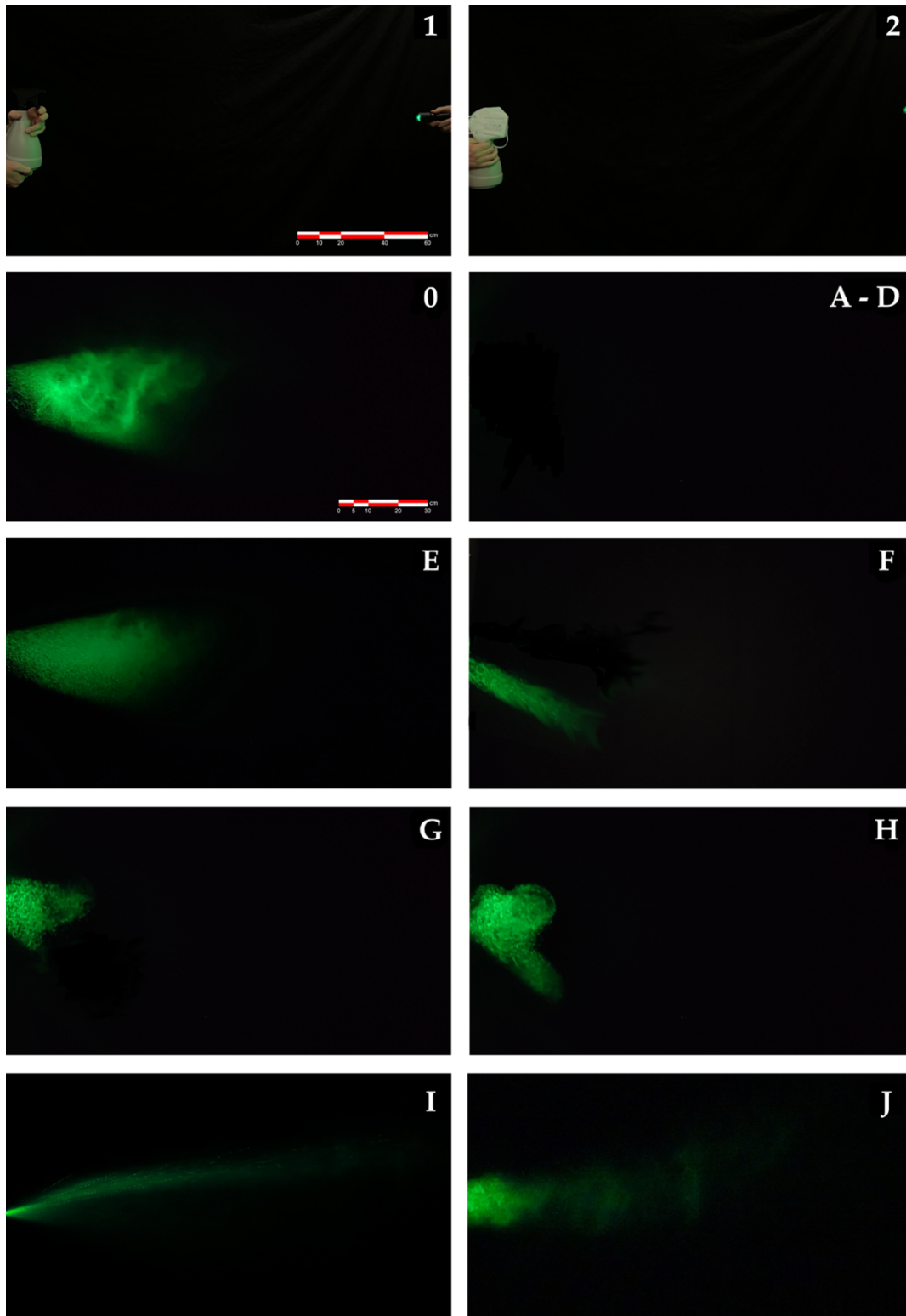


Abbildung 141: Ergebnisse des Experimentes "Masken in grünem Licht". 1 Darstellung von Sprühflasche und Taschenlampe. Die Taschenlampe zeigt zu der Sprühflasche in einem Abstand von ungefähr 2 Metern. 2 Darstellung des Settings mit vorgehaltener Maske. 0 Keine Maske (Kontrolle), A–D FFP3-Maske, FFP2-Maske, Medizinischer Mund-Nase-Schutz, Mehrlagige Baumwollmaske, E Nylonschal, F Face-Shield, G Einlagige Baumwollmaske, H T-Shirt, I Ellenbeuge, J Papiertaschentuch.

Wirkungsweise von Seife und Desinfektionsmitteln gegen SARS-CoV-2 (Experimente 7–10)

Theoretischer Hintergrund und Ziel des Experiments:

Desinfektionsmittel auf Alkoholbasis wurden im Rahmen der COVID-19-Pandemie zahlreich angeboten, um sich vor einer Infektion mit dem Coronavirus über die Hände zu schützen. Die Desinfektionsmittel sollen auf die Hände aufgetragen werden und dort für 20–30 Sekunden intensiv verrieben werden. Die Klasse von Desinfektionsmitteln, die in der COVID-19-Pandemie eingesetzt werden und wurden, werden als „begrenzt viruzid“ bezeichnet. Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel sind in der Lage, Bakterien und behüllte Viren, wie zum Beispiel Grippeviren oder Hepatitis B-Viren, zu töten bzw. zu inaktivieren. Die Virushülle besteht aus Membran-Glykoproteinen, die in eine Phospholipiddoppelschicht eingebettet sind. Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel entfernen die Phospholipiddoppelschicht und zerstören so die Virushülle (Maillard et al., 2013). Alkoholbasierte Desinfektionsmittel bestehen zumeist zu 80 % aus Ethanol, ansonsten aus Glycerin, Wasserstoffperoxid und Wasser. Sie können darüber hinaus Duftstoffe oder Farbstoffe enthalten. Im Rahmen der COVID-19-Pandemie wurden auch Desinfektionsmittel auf Basis von Isopropanol (Propan-2-ol) zugelassen, um einer Verknappung von Ethanol entgegenzutreten. In diesem Falle empfiehlt die WHO eine Wirkstoffkonzentration von 75 % (WHO, 2010).

Neben Desinfektionsmitteln wird auch die Verwendung von Tensiden bzw. Seifen zum Schutz vor Schmierinfektionen empfohlen. Im klassischen Sinne sind Seifen Natrium- oder Kaliumsalze von Fettsäuren, wenngleich der heutige Begriff *Seife* als Synonym für jede Form von Tensiden, besonders im alltäglichen Einsatz verstanden wird. Das wirksame Tensid, das heutzutage in den meisten Flüssigseifen verwendet wird, ist Natriumlaurylsulfat (Natriumdodecylsulfat, SDS für *englisch*: Sodium laureth sulfate). Tenside bilden in wässrigen Lösungen oberhalb der kritischen Mizellenbildungskonzentration Mizellen, die Virushüllen zerstören, indem Fragmente der Phospholipiddoppelschicht in die Mizellen eingeschlossen werden (Holmberg, 2023). Die Wirkung sowohl von Seifen als auch von Handdesinfektionsmitteln basiert auf der Zerstörung der viralen Hülle. Durch die zerstörte Virushülle denaturieren die Membranproteine, die für die Infiltration des Virus in die Wirtszelle notwendig sind. Die Verwendung von Seifen und Desinfektionsmitteln stellt daher einen sinnvollen Schritt zur Verhinderung von Schmierinfektionen über die Hände dar. Besonders durch die Definition der Desinfektionsmittel als „begrenzt viruzid“ kamen besonders zu Beginn der COVID-19-Pandemie Sorgen in der Bevölkerung hinsichtlich der ausreichenden Wirksamkeit gegen das Coronavirus auf. Die folgenden aus dem Buch zusammengefassten Modellexperimente zeigen die Wirkungsweise von Desinfektionsmitteln und Seife gegenüber behüllten Viren auf.

Materialien:

Vier leere Marmeladengläser mit Deckel, ein Messbecher, ein Teelöffel, Leitungswasser, Spiritus (Ethanol), begrenzt viruzides Handdesinfektionsmittel, Flüssigseife, Kürbiskernöl (oder ein anderes Speiseöl)

Sicherheitshinweise:

Von den Experimenten geht lediglich eine geringe Gefährdung aus, da sowohl Spiritus als auch Handdesinfektionsmittel auf Alkoholbasis leicht entzündlich sind. Beide Substanzen müssen daher von heißen Oberflächen, Flammen und weiteren Zündquellen ferngehalten werden. Spiritus und Handdesinfektionsmittel reizen die Augen. Im Falle des Kontaktes müssen die Augen gründlich mit Wasser ausgespült werden. Es sollte daher geprüft werden, dass die befüllten Marmeladengläser gut verschlossen werden. Das Tragen einer Schutzbrille wird empfohlen.

Durchführung:

Als Vorbereitung des Versuches muss eine Seifenlauge hergestellt werden. Dazu wird Flüssigseife im Verhältnis 1:20 mit Wasser gemischt (oder aber ungefähr 5 mL Seife auf 100 mL Wasser). Die Seifenlauge kann anschließend direkt verwendet werden. Je ein Teelöffel des Kürbiskernöls wird in jedes Marmeladenglas gegeben. Mithilfe des Messbechers werden 50 mL Wasser, Spiritus, Desinfektionsmittel bzw. Seifenlauge in je eines der Marmeladengläser gegeben. Das Marmeladenglas mit Wasser und Kürbiskernöl wird mit dem Deckel verschlossen, 30 Sekunden lang kräftig geschüttelt und für 30 weitere Sekunden stehen gelassen. Anschließend wird der Deckel entfernt und der Inhalt des Glases mit einem Schwung in den Ausguss gegeben. Dieser Vorgang wird für die drei verbleibenden Marmeladengläser wiederholt.

Beobachtungen:

Nachdem die vier Gläser geschüttelt worden sind, liegen das Kürbiskernöl und die jeweilige Flüssigkeit vermischt vor. Nach einer halben Minute haben sich das Wasser und das Kürbiskernöl weitestgehend voneinander getrennt, während das Kürbiskernöl im Spiritus und Desinfektionsmittel gelöst vorliegt. In der Seifenlauge sind kleine Öltröpfchen sichtbar. Nach dem Ausgießen der vier Marmeladengläser verbleibt im Glas mit Wasser ein grüner Ölfilm am Glasrand. Alle anderen Gläser zeigen keine farbigen Rückstände, nur im Glas mit Seifenlauge bleiben Schaumrückstände zurück (Abbildung 142).

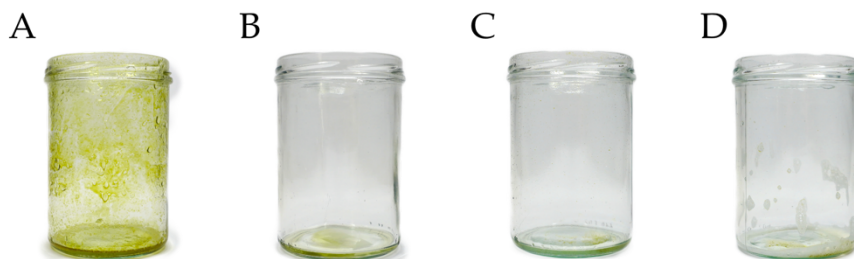


Abbildung 142: Beobachtungen des Experimentes „Wirkungsweise von Seife und Desinfektionsmitteln gegen SARS-CoV-2“ nach Ausgießen der Marmeladengläser. Kürbiskernöl und **A** Wasser, **B** Spiritus, **C** Desinfektionsmittel, **D** Seifenlauge.

Auswertung und Beantwortung der Fragestellung:

Speiseöle bestehen größtenteils aus fetten Ölen und können daher vereinfacht als Gemisch verschiedener Triglyceride aufgefasst werden. Triglyceride wiederum stellen eine Klasse der Lipide dar. In Triglyceriden schirmen die Alkyl- bzw. Alkenylketten die Sauerstoff-Atome der Ester-Gruppen ab, sodass Triglyceride unpolare Moleküle sind, die sich nicht in Wasser lösen. Die Ergebnisse des Experimentes können auf die Löslichkeit bzw. das Verhalten des Speiseöls in den verschiedenen Flüssigkeiten zurückgeführt werden. Während fette Öle sich nicht in dem polaren Lösungsmittel Wasser lösen lassen, ist die Löslichkeit im weniger polaren Ethanol deutlich größer. Dies führt zu der Beobachtung, dass im Marmeladenglas mit Wasser ein Ölfilm zurückbleibt, im Glas mit Spiritus hingegen nicht. Da in Desinfektionsmitteln mindestens 80 % Ethanol enthalten sind, ergibt sich auch für dieses eine hohes Lösungsvermögen von Ölen. Das in der Flüssigseife enthaltene Natriumlaurylsulfat ist ein anionisches Tensid, welches aus einer negativ geladenen Kopfgruppe und einem unpolaren Molekülschwanz besteht. Aufgrund der molekularen Struktur bildet es in Wasser Mizellen, in denen unpolare Substanzen eingeschlossen werden können. Dadurch dispergieren Tenside unpolare Stoffe in wässrigen Lösungen, was als emulgierender Effekt bezeichnet wird (Abbildung 143). Im durchgeführten Experiment werden die im Kürbiskernöl enthaltenen Triglyceride durch Natriumlaurylsulfat emulgiert und können leicht aus dem Glas gewaschen werden.

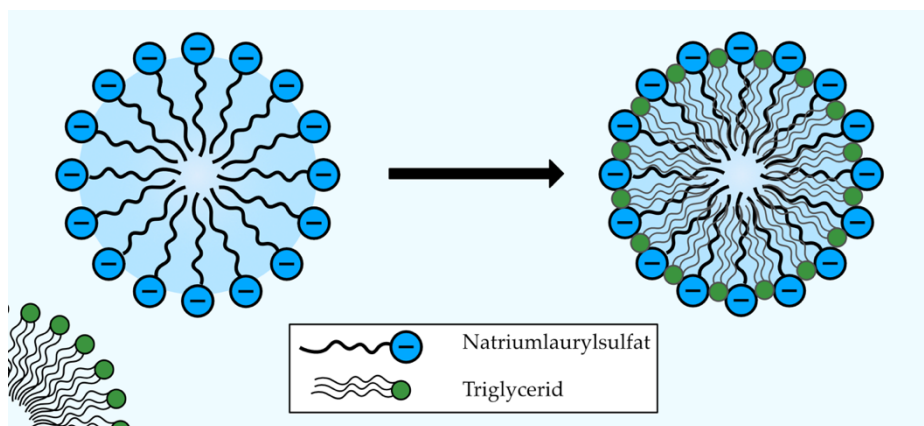


Abbildung 143: Schematische Darstellung der Inklusion von Triglyceriden in Natriumlaurylsulfat-Mizellen. In wässrigem Milieu bilden anionische Tenside sphärische Mizellen aus. Gelangen Lipide in die Nähe von Mizellen, werden sie in diese eingeschlossen und somit im wässrigen Medium emulgiert.

Die Ergebnisse des Experimentes können im Sinne eines Modellexperimentes auf die Funktionsweise von Desinfektionsmittel und Seife gegenüber behüllten Viren bzw. Coronaviren übertragen werden. Die Virushülle, die in Form einer Doppelschicht vorliegt, besteht aus einzelnen Phospholipid-Molekülen. Diese ähneln strukturell den im Speiseöl enthaltenen Triglycerid-Molekülen stark (Abbildung 144).

Alkohol-basierte Desinfektionsmittel sind daher in der Lage, die virale Hülle von Coronaviren aufzulösen und das Virus so zu inaktivieren. Vergleichbar dazu emulgieren Mizellen aus Tensiden die Virushülle von Coronaviren und inaktivieren die Viren daher ebenfalls, indem die Virushülle zerstört wird.

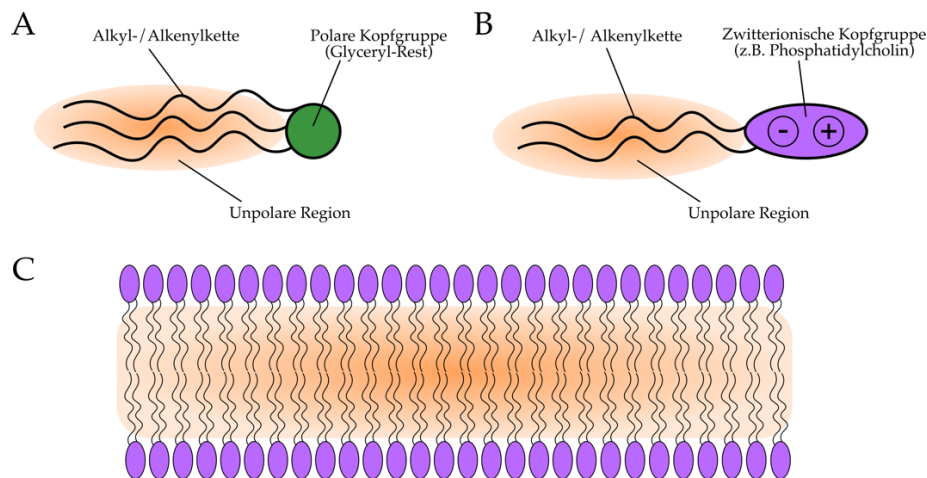


Abbildung 144: A Schematische Darstellung eines natürlichen Triglycerids. Das Molekül enthält drei unpolare Fettsäure-Reste (Alkyl-/ Alkenylketten), die mit der polaren Kopfgruppe (Glyceryl-Rest) verbunden sind. B Schematische Struktur eines Phospholipids. Das Molekül enthält zwei unpolare Fettsäure-Reste (Alkyl-/ Alkenylketten) und eine zwitterionische Kopfgruppe, die an einen Glyceryl-Rest gebunden ist. C Schematische Struktur einer Doppellipidschicht aus Phospholipiden. In wässrigem Milieu ordnen sich die Phospholipid-Moleküle zu einer Doppelschicht zusammen, in welcher die hydrophoben Molekülschwänze zueinander zeigen.

Diskussion:

Das Experiment muss im Sinne eines Modellexperimentes kritisch reflektiert werden. Die im Speiseöl enthaltenen Lipide ähneln den Phospholipiden der Virushülle, sind aber nicht identisch mit diesen (vgl. Abbildung 144). Dennoch können auch Phospholipide auf die gleiche Weise durch unpolare Lösungsmittel gelöst bzw. durch Tenside emulgiert werden. Neben den Phospholipiden sind Membranproteine ein integraler Bestandteil der Virushülle. In einigen Viren sind die Membranproteine so dicht gepackt (z.B. Herpesviren), dass sie die Doppellipidschicht vollständig umschließen. Dies kann einen massiven Einfluss auf die Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln haben. Im Falle von Herpesviren sind alkoholbasierte Desinfektionsmittel beispielsweise nicht wirksam, auch wenn diese eine begrenzt viruzide Wirkung aufweisen. Im Falle von Coronaviren ist die Wirksamkeit begrenzter Desinfektionsmittel jedoch ausreichend. Die Versuchsdurchführung stellt modellhaft den Ablauf des Desinfizierens bzw. Waschens der Hände dar. Im Experiment werden die Hände durch das Marmeladenglas modelliert, das Speiseöl entspricht im Modell der Virushülle (bzw. dem gesamten Virus). Die jeweiligen Flüssigkeiten (Wasser, Spiritus, Desinfektionsmittel, Seifenlauge) stehen modellhaft für das entsprechende Agens, mit dem die Hände gereinigt werden. Durch das Schütteln der Gläser wird das Waschen der Hände simuliert, das anschließende Stehenlassen der Gläser modelliert das Einwirken der jeweiligen Substanz. Es sollte berücksichtigt werden, dass die Zusammensetzung und Beschaffenheit der Haut die Wirksamkeit von Desinfektionsmitteln und Seife beeinflussen kann, was im Modellexperiment nicht gezeigt werden kann.

Das Experiment kann mit einem weiteren Versuch (Experiment 1, Tabelle 121) kombiniert werden. Beispielsweise kann eine fettbasierte Fluoreszenzcreme auf die Hände aufgetragen und mit den in diesem Experiment vorgestellten Reinigungsmitteln die Hände gereinigt werden. Die Wirksamkeit des Agens kann mithilfe einer UV-Taschenlampe überprüft werden und Rückschlüsse auf die Einsatzmöglichkeiten zur Bekämpfung von Schmierinfektionen gezogen werden können.

5.2.3 Format 1 – Das Buch als Wissenschaftskommunikationsmedium

Das Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“ wurde im Dezember des Jahres 2020 bzw. im Publikationsjahr 2021 durch den Bombini Verlag in Bonn veröffentlicht (Otte & Beeken, 2021) (Abbildung 145). Das Buch ist als erstes der Formate unter dem Titel „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ als Reaktion auf zahlreiche Mythen und Fehlinformationen zur COVID-19-Pandemie entstanden. Das Buch richtet sich an eine

breite Zielgruppe von Menschen ab einem Alter von ca. 12 Jahren. Damit sind sowohl Jugendliche als auch Erwachsene als Zielgruppe eingeschlossen. Das Werk ist im Zeitraum von Juni bis Dezember 2020 von einem Team aus neun Autor:innen unter Leitung von Lars Otte und Prof. Dr. Marco Beeken verfasst worden (Tabelle 123). Die Illustrationen im Buch stammen von Jennifer Wending, die diese im Rahmen einer Beschäftigung als studentische Hilfskraft angefertigt hat.

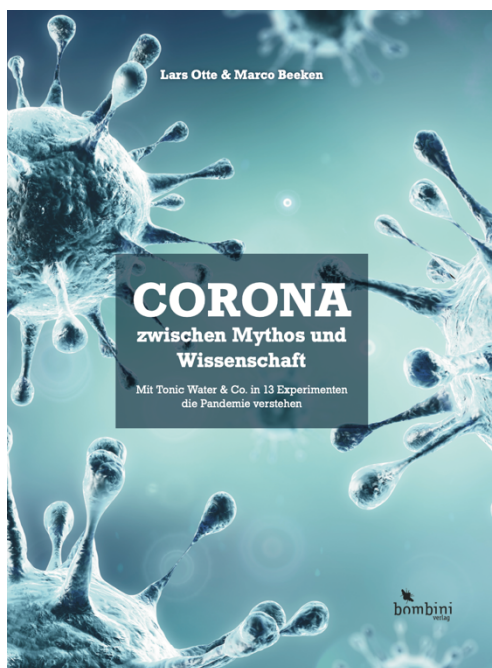


Abbildung 145: Cover des Buches "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft - Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen".

Tabelle 123: Kapitelübersicht des Buches "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft - Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen" unter Angabe der Autor:innen und Verantwortlichen der jeweiligen Kapitel.

#	Name des Kapitels	Hauptautor:in	Mitwirkung / Verantwortung
1	Einleitung	Lars Otte ¹ , Marco Beeken ²	–
2	How to read the book	Lars Otte	Marco Beeken
3	Das Coronavirus in der Übersicht	Nils Kreienhop ¹	Lars Otte
4	Viren, wo man nur hinfasst	Carina Jansen ³	Lars Otte
5	Schmutziges Geld oder Geldwäsche	Carina Jansen	Lars Otte
6	Verhindert das Einhalten des Sicherheitsabstandes eine Ansteckung?	Janet Lusmöller ¹ , Hanno Penning ³	Lars Otte
7	Eindämmung der Pandemie durch das Tragen von Masken	Janet Lusmöller, Johann Schmidt ¹	Lars Otte
8	Reinigung von Masken	Janet Lusmöller, Johann Schmidt	Lars Otte
9	Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus!	Lars Otte	–
10	Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!	Lars Otte	–
11	Injektion von Desinfektionsmittel	Lars Otte	–
12	Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?	Nils Kreienhop	Lars Otte
13	Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es Infizierte gibt	Lars Otte, Hanno Penning	–
14	Reproduktionszahlen sind out...	Renate Peper-Bienzeisler ⁴	Lars Otte
15	Eine unberechenbare Zukunft?	Frauke Brockhage ¹	Lars Otte
16	Flatten the curve	Frauke Brockhage	Lars Otte
17	Winterzeit ist Grippezeit. Im Sommer wird das Coronavirus von alleine verschwinden!	Johann Schmidt	Janet Lusmöller, Lars Otte

¹Wissenschaftliche:r Mitarbeiter:in, ²Arbeitsgruppenleiter, ³Studentische Hilfskraft, ⁴Technische Assistentin

Struktur und didaktische Hintergründe des Buches

Das Buch ist in insgesamt 17 Kapitel unterteilt. Jedes Kapitel (mit Ausnahme der Kapitel 1–3) untersucht einen Mythos bzw. eine mögliche Fehlinformation, die im Rahmen der COVID-19-Pandemie in den sozialen Netzwerken bzw. im gesellschaftlichen Diskurs von den Autor:innen vorgefunden wurden. Die thematisierten Mythen wurden dabei bewusst so ausgewählt, dass keine Verschwörungstheorien (z.B. „Das Virus gibt es nicht, die Menschen werden durch Strahlung krank gemacht“ oder „Das Virus wurde in einem chinesischen Labor entwickelt, um der Weltwirtschaft zu schaden“) im Buch untersucht werden. Dies ist auf die fehlende Möglichkeit zur Validierung bzw. Falsifikation von Verschwörungstheorien im Gegensatz zu Fehlinformationen oder Mythen zurückzuführen. Die in den 17 Kapiteln untersuchten Mythen wurden derart dargestellt, dass diese als zu beantwortende Frage oder als verifizierbarer bzw. falsifizierbarer Mythos formuliert wurden. Beispiele dafür sind als Fragestellung in der Überschrift in Kapitel 6 „Verhindert das Einhalten des Sicherheitsabstandes eine Ansteckung?“ oder als formulierter Mythos in Kapitel 10 „Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!“ zu finden. Darüber hinaus werden Mythen und Aussagen, die im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie von bekannten Personen getätigt worden sind, untersucht. Ein Beispiel findet sich in Kapitel 11, welches mit einem Zitat des ehemaligen US-Präsidenten Donald Trump beginnt: „*And then I see the disinfectant, where it knocks it out in a minute. One minute. And is there a way we can do something like that, by injection inside or almost a cleaning? Because you see it gets in the lungs and it does tremendous number on the lungs. So it would be interesting to check that.*“ („Ich denke an die Desinfektionsmittel, die es [das Virus] innerhalb einer Minute ausknocken. Einer Minute. Gibt es da einen Weg, so etwas in der Art zu machen – durch eine Injektion in den Körper oder fast etwas wie eine Reinigung? Sehen Sie, es [das Desinfektionsmittel] gelangt dann in die Lunge und zieht dort eine gewaltige Nummer durch. Das wäre interessant, das zu überprüfen“). Die Verschiedenartigkeit der Überschriften und Darstellung der Mythen dient dazu, eine möglichst hohe Aktivierung der Leser:innen zu erzeugen (Abbildung 146).



Abbildung 146: Darstellung von Mythen im Buch "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft - Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen". **A** Überschrift in Form einer Fragestellung. **B** Überschrift in Form eines Mythos. **C** Mythos als Zitat einer bekannten Person.

Da einige der thematisierten Aussagen zutreffend, andere hingegen inkorrekt sind, soll durch das bloße Lesen der Überschriften und Mythen kein eindeutiger Rückschluss auf deren Richtigkeit möglich sein. Aus diesem Grunde muss der/die Leser:in das Kapitel vollständig lesen, um die Beantwortung des Mythos zu erfahren. Das Buch ist so strukturiert, dass es sowohl als klassisches Buch von vorne nach hinten, als auch abschnittsweise oder partiell gelesen werden kann. Jedes Kapitel stellt eine eigene in sich geschlossene Einheit dar, in der ein Mythos vorgestellt, erarbeitet und beantwortet wird. Querverweise auf andere Kapitel weisen Leser:innen darauf hin, wo vertiefende Informationen zu bestimmten Inhalten erklärt werden. Dennoch kann durch das Lesen eines einzelnen Kapitels die Beantwortung des Mythos auch dann nachvollzogen werden, wenn ein voriges Kapitel nicht gelesen wurde. Dies führt an wenigen Stellen zu Redundanzen, auf die Leser:innen hingewiesen werden. Diese Redundanzen stellen einen Kompromiss dar, sich schnell im Buch zu orientieren und nur einzelne Informationen zu erhalten, ohne verschiedene Kapitel lesen zu müssen. Auf der anderen Seite werden die Redundanzen kurzgehalten und markiert, um Leser:innen, die das Buch vollständig lesen möchten, nicht am Lesefluss zu hindern.

Da das Buch als Wissenschaftskommunikationsformat für eine Vielzahl an Bürger:innen dient, werden nur geringe naturwissenschaftliche Grundkenntnisse vorausgesetzt. Dadurch soll eine möglichst niederschwellige Begegnung mit dem Buch auch für Menschen möglich sein, die vermutlich wenig Vorwissen über das Coronavirus und COVID-19 aufweisen. Dennoch ist davon auszugehen, dass in der Leser:innenschaft des Buches eine starke Heterogenität in Bezug auf das Vorwissen festzustellen ist. Um Leser:innen mit geringem Vorwissen notwendige Informationen zu geben, die für Leser:innen mit größerem Vorwissen nicht störend wirken, sind bestimmte Informationen in Form von Infoboxen in den Kapiteln platziert. Diese Infoboxen können zum einen beim Verständnis des Textes unterstützend wirken, die Leser:innen zum anderen aber auch mit weiterführenden Informationen versorgen. Damit Leser:innen schnell entscheiden können, ob eine Infobox für sie notwendig ist, sind die Infoboxen farblich unterlegt, enthalten ein charakteristisches Symbol und besitzen eine Überschrift, die die Leser:innen über den Inhalt der Infobox informiert (Abbildung 147). Die bessere Verständlichkeit für die Leser:innen sollte weiterhin dadurch erreicht werden, dass auf die Verwendung von Fachbegriffen und Fachsprache verzichtet wird. Die Leser:innen werden im Buch geduzt, also mit „Du“, „Dein“, „Dir“ und „Dich“ angesprochen.

Da sich das Buch Fehlinformationen und Mythen widmet, war eine Berücksichtigung wissenschaftlicher Quellen für die Aufklärung unabdingbar. Die in wissenschaftlichen Arbeiten verwendeten Zitierstile, die auf einer unmittelbaren Zitation der Quelle hinter dem Textabschnitt entweder in Form von Ziffern mit anschließender Darstellung in der Fußnote (z.B. Chicago-Zitation) oder in Form der Angabe von Autor:innen und Jahr in Klammern hinter dem Zitat (z.B. APA-Zitation) beruhen, könnten aber von Leser:innen, die nur geringe Erfahrung im Umgang mit wissenschaftlichen Texten haben, irritierend oder störend sein. Auf eine Angabe oder Referenzierung von Quellen im Fließtext wurde daher verzichtet. Um dennoch eine hohe Transparenz und eine daraus folgende Wissenschaftlichkeit der Texte zu erzielen, wurden die verwendeten Quellen am Ende jedes Kapitels angegeben (Abbildung 148). Diese dienen einerseits der wissenschaftlichen Integrität, können interessierte Leser:innen aber auch zur tiefergreifenden wissenschaftlichen Recherche anregen. Eine direkte Angabe der Quelle erfolgte lediglich bei einem direkten Zitat. In diesem Falle wurde der Ursprung des direkten Zitates ebenfalls im Quellenverzeichnis referenziert.

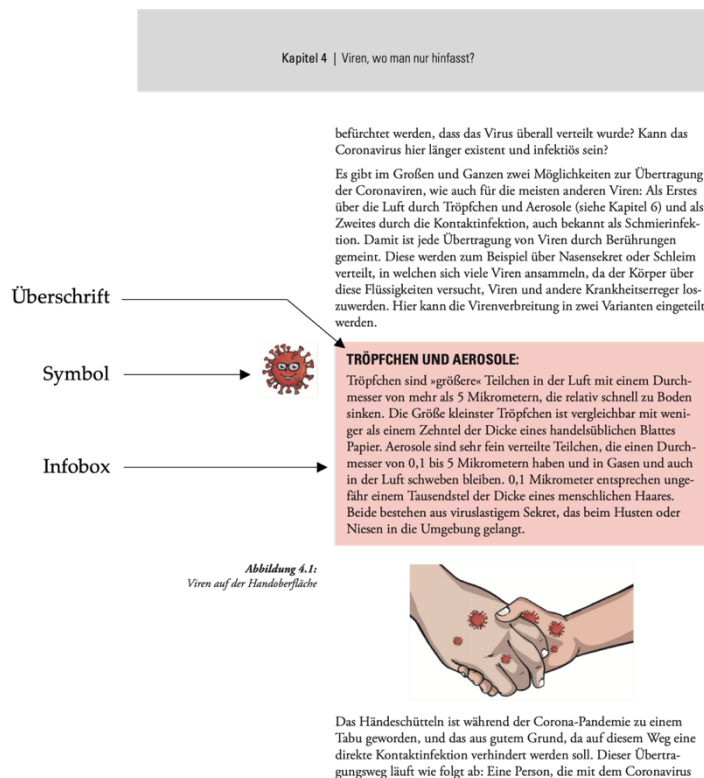


Abbildung 147: Infobox im Buch "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen". Die Infoboxen sind in den Fließtext eingebettet, aber durch ein Symbol sowie die farbliche Markierung deutlich sichtbar von diesem abgetrennt. Eine Überschrift informiert über den Inhalt der Infobox.

karten-Terminals und PIN-Pads direkt betroffen sind. Hier liegt die Stabilitätsdauer der Viren bei zwei bis drei Tagen, sodass auch bei der Kartenzahlung und PIN-Eingabe eine Kontaminierung denkbar ist und diese somit ein ähnliches Risiko wie die Bargeldzahlung darstellt. Wenn also der Kontakt mit potenziell kontaminierten Gegenständen vollständig umgangen werden soll, sind kontaktlose Kartenzahlungen, die keine PIN-Eingabe erfordern, oder Smartphone-basierte Zahlungsmöglichkeiten eine Lösung. Hier kommt es zu keinerlei Kontakt mit Objekten, die von mehreren Personen berührt werden.

Es gibt keine Beweise für Erkrankungen, die durch das Berühren von Geldscheinen herbeigeführt wurde – selbst bei Bakterien nicht, die im Vergleich mit Viren in viel höheren Mengen auf Bargeld nachgewiesen werden können. Speziell zu dem Faktor Bargeld in der Pandemie hat sich die World Health Organisation (WHO) geäußert und betont, dass die Übertragung durch Münzen oder Scheine weder bewiesen noch widerlegt werden konnte. Sie empfiehlt deshalb, auf eine gute Hygiene zu achten und regelmäßig die Hände zu waschen, wie es nach der Berührung jedes häufig berührten Gegenstands der Fall sein sollte. Die Deutsche Bundesbank schließt sich dem an und erklärt, dass das Infektionsrisiko durch Geldscheine minimal ist. So wird von einigen Zentralbanken versucht, das Vertrauen in Bargeld zu stärken und dessen weitere Annahme zu fördern. Gleichzeitig tragen die wahrgenommenen Übertragungsriskos des Bargelds, ob gültig oder nicht, zur schnelleren Entwicklung der digitalen Zahlungen bei.

Letztendlich kann auf die Desinfektion von Geldscheinen also verzichtet werden. Ein Mann aus Südkorea hat es hier etwas zu gut gemeint und 1,8 Mio. Won (ca. 1.300 Euro) in der Mikrowelle erhitzt, um die Scheine zu desinfizieren. Nach seinem Versuch blieben ihm nur 950.000 Won (ca. 700 Euro) – viele Banknoten waren versengt und unbrauchbar.

Quellen:

- Auer, R., Cornelli, G. & Frost, J. (2020). Covid-19, cash, and the future of payments. *BIS Bulletin*, 3. Abgerufen von <https://www.bis.org/publ/bisbullet03.pdf>.
- Pal, R. & Bhadada, S. K. (2020). Cash, currency and COVID-19. *Postgraduate Medical Journal*, 96(1137), 427–428. doi:10.1136/postgradmedj-2020-138006

Thomas, Y., Vogel, G., Wunderli, W., Suter, P., Witschi, M., Koch, D., Tapparel, C. & Kaiser, L. (2008). Survival of Influenza Virus on Banknotes. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(10), 3002–3007. doi:10.1128/AEM.00076-08

Angelakis, E., Azhar, E. I., Bibi, F., Yasir, M., Al-Ghamdi, A. K., Ashshi, A. M., Elshemi, A. G. & Raouf, D. (2014). Paper money and coins as potential vectors of transmissible disease. *Future Microbiology*, 9(2), 249–261. doi:10.2217/fmb.13.161

Huang, R. (2020). WHO Encourages Use Of Contactless Payments Due To COVID-19. *Forbes*. Abgerufen von <https://www.forbes.com/sites/rogerhuang/2020/03/09/who-encourages-use-of-digital-payments-due-to-covid-19/#ba28aa441eb6>

Faktencheck: Werden Coronaviren durch Bargeld übertragen? (2020). *Süddeutsche Zeitung*. Abgerufen von <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/bundesbank-faktencheck-werden-coronaviren-durch-bargeld-uebertragen-dpa-urn-newsml-dpa-com-20090101-200317-99-355511>

Auer, S. (2016). Bargeld stinkt nicht-aber: ist es auch hygienisch? *WDR*. Abgerufen von <https://www1.wdr.de/wissen/mensch/bargeld-hygiene-100.html>

Umfrage: Corona beschleunigt Abkehr vom Bargeld (2020). *Tagesschau.de*. Abgerufen von <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/corona-bargeld-101.html>

Tröger, R. (1964). Der Einfluss von Kupfersulfat auf die Atmung, aerobe und anaerobe Gärung von *Saccharomyces cerevisiae*. *Archiv für Mikrobiologie*, 48(3), 282–290. doi:10.1007/BF00408598

Vincent, M., Duval, R. E., Hartemann, P. & Engels-Deutsch, M. (2018). Contact killing and antimicrobial properties of copper. *Journal of Applied Microbiology*, 124(5), 1032–1046. doi:10.1111/jam.13681

Lopez, G. U., Gerba, C. P., Tamimi, A. H., Kitajima, M., Maxwell, S. L. & Rose, J. B. (2013). Transfer Efficiency of Bacteria and Viruses from Porous and Nonporous Fomites to Fingers under Different Relative Humidity Conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(18), 5728–5734. doi:10.1128/AEM.01030-13

Lexikon der Biologie: Hefen. (1999). *Spektrum.de*. Abgerufen von <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/hefen/31015>

Abbildung 148: Quellenverzeichnis aus dem Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“. Die Angabe der Quellen im Quellenverzeichnis erfolgt im APA-Stil.

Das Buch ist mit Illustrationen versehen, die in Form von Zeichnungen und Skizzen einerseits zum Verständnis der Inhalte beitragen sollen, andererseits eine optische Aufwertung des Buches bedeuten sollen. Im Sinne der Cognitive Load Theory soll die Informationslast auf den einzelnen Seiten dadurch verringert werden und die Kapitel in verschiedene Abschnitte unterteilt werden (Sweller, 2005). Neben den Zeichnungen und Skizzen sind im Buch noch Fotos dargestellt, die vor allem bei den im Buch dargestellten Experimenten platziert sind. Unterschieden wird im Buch durch drei verschiedene Arten von Illustrationen und Bildern. Einerseits dienen Zeichnungen der Autor:innen oder von fiktiven Szenen der Verringerung der Cognitive Load und der höheren Identifikation mit den Inhalten des Buches. Diese Abbildungen tragen keine Bildunterschriften und finden sich zumeist am Anfang eines Kapitels und zwischen verschiedenen Kapitelabschnitten (z.B. vor dem Experimentaltteil). Sie zeigen den oder die jeweils für das Kapitel zuständigen Hauptautor:innen in einer zum Mythos bzw. zur Fragestellung passenden Situation (Abbildung 149 A). Die zweite Art der Abbildungen zeigt Illustrationen, die das Verständnis für bestimmte Sachverhalte erhöhen sollen und in Verbindung zum Text stehen. Sie weisen Beschriftungen auf, die die Abbildung einerseits nummerieren, andererseits durch einen kurzen Text beschreiben (Abbildung 149 B). Der dritte Abbildungstyp ist wie zuvor beschrieben überwiegend in den Experimentalanleitungen im Buch zu finden. Dies sind überwiegend Fotos der Experimente, beispielsweise vom Experimentalaufbau oder den zu erwartenden Beobachtungen. Auch diese Bilder enthalten nummerierte Beschriftungen, die das Bild näher beschreiben (Abbildung 149 C). Neben diesen drei Abbildungstypen finden sich noch vereinzelt Abbildungen, die in Form von Screenshots bestimmte Überschriften aus Nachrichten, Tweets bekannter Personen oder in Kapitel 15 die verwendete Simulation betreffen. Diese Abbildungen sind ebenfalls nummeriert und beschriftet.

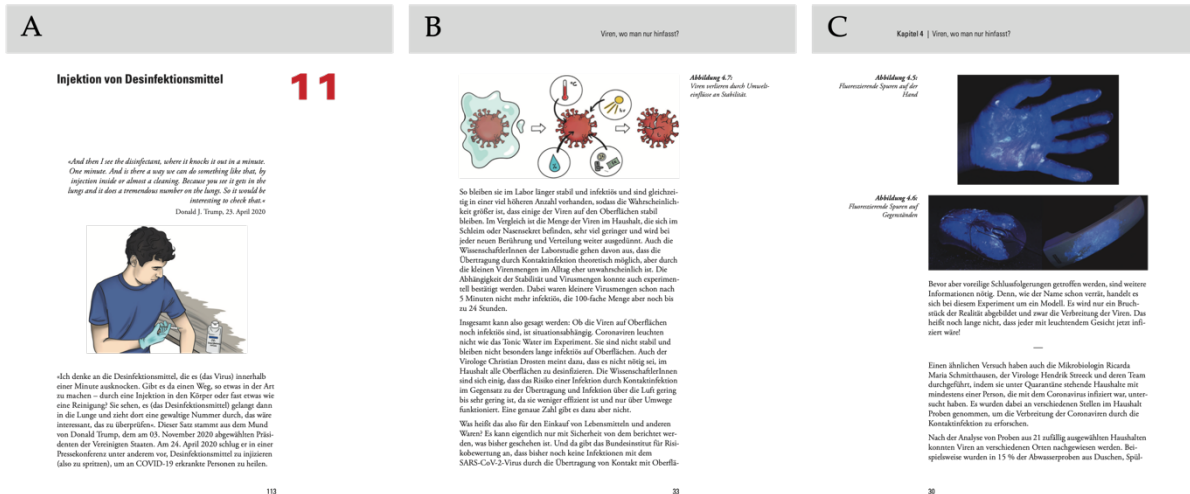


Abbildung 149: Abbildungstypen im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“. **A** Abbildungstyp 1: Die Bilder stellen zumeist Zeichnungen der Autor:innen des jeweiligen Kapitels dar und weisen keine Bildbeschriftung auf. **B** Abbildungstyp 2: Die Zeichnungen unterstützen den Text und verdeutlichen Inhalte. Sie sind mit Beschriftungen versehen. **C** Abbildungstyp 3: Die Abbildungen sind Fotos, zumeist von den im Buch enthaltenen Experimenten.

Letztlich wurden zur besseren Orientierung neben dem bereits vorgestellten Symbol weitere Symbole ergänzt, die die Experimente markieren und charakterisieren. Damit die Leser:innen diese Symbole einordnen können und den Aufbau des Buches nachvollziehen können, informiert Kapitel 2 darüber, wie das Buch zu lesen ist (Abbildung 150).

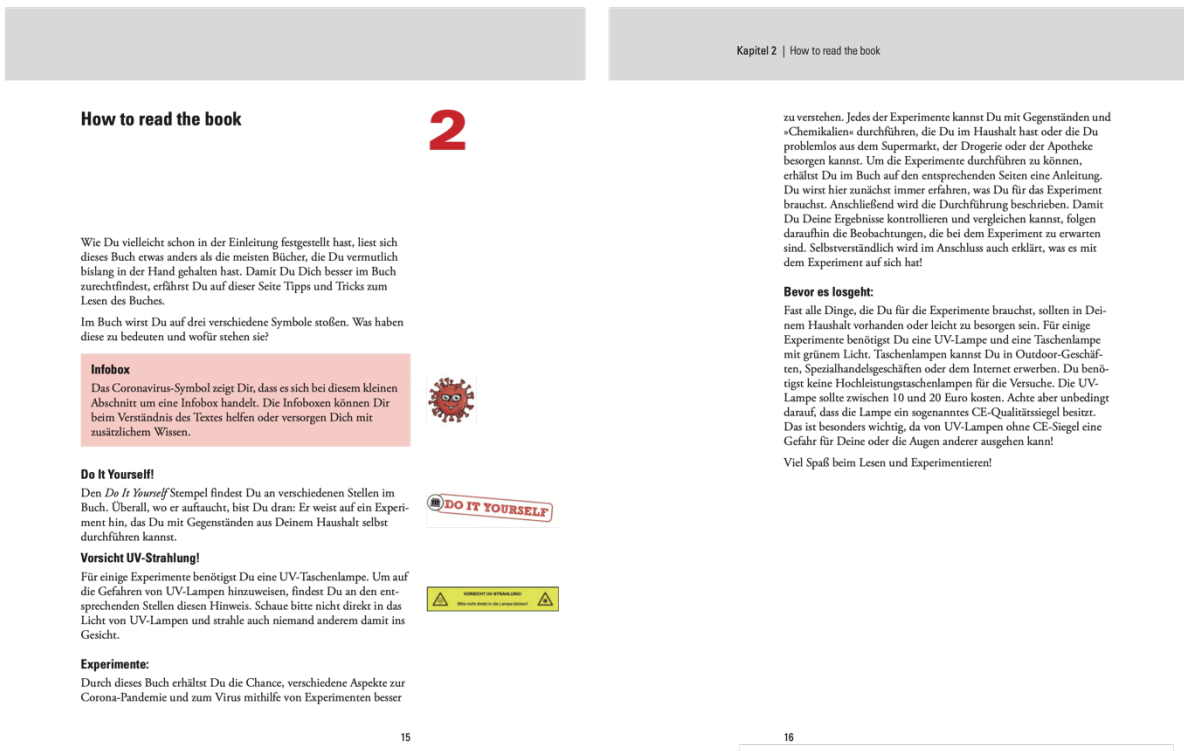


Abbildung 150: Kapitel 2 aus dem Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“.

Das Alleinstellungsmerkmal und innovative Element des Buches wird durch die in die Kapitel eingearbeiteten Experimente ermöglicht, die mit einfachen Mitteln zu Hause auch ohne Kenntnisse über Naturwissenschaften durchgeführt werden können. Die didaktisch-methodischen Überlegungen zur Erstellung der Experimente und ihrer Darstellung im Buch werden im Folgenden näher erläutert.

Die Experimente im Buch

Die insgesamt 13 Experimente, die zuvor aufgelistet worden sind, wurden für das Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“ entwickelt. Die Experimente dienen (mit einer Ausnahme) dazu, die im Buch thematisierten Mythen und Fehlinformationen genauer zu betrachten und über die aus dem Experiment möglichen Beobachtungen entkräften zu können. Die Experimente sind so in die Kapitel integriert, dass zunächst allgemeine Informationen zum Thema erfolgen, die das Experiment einleiten bzw. die Durchführung des Experimentes zur Entmythifizierung notwendig machen. Nachdem das Experiment beschrieben worden ist, wird dieses hinsichtlich des untersuchten Mythos abstrahiert und der Mythos beantwortet. Für die Gestaltung der Experimente mussten bestimmte Richtlinien und Grundsätze eingehalten werden, die für jedes Experiment gültig sind.

1. Das Experiment darf eine Tätigkeitsdauer von 30 Minuten nicht überschreiten.
2. Das Experiment muss mit Haushaltsmaterialien oder Materialien, die problemlos zu beschaffen sind, durchführbar sein.
3. Sollte zu erwarten sein, dass Materialien für die Durchführung des Versuches beschafft werden müssen, müssen diese kostengünstig zu erwerben sein.
4. Das Experiment muss so simpel wie möglich sein. Führen verschiedene Durchführungen zum gleichen Ergebnis, ist die simpelste Durchführung im Buch zu verwenden.
5. Vom Experiment darf sowohl bei richtiger als auch bei falscher Durchführung kein großes Risiko durch physikalische oder chemische Gefahren ausgehen.
6. Das Experiment muss in seiner Durchführung so einfach sein, dass sowohl Kinder als auch Erwachsene ohne Vorkenntnisse oder Experimentierpraxis das Experiment sicher und ziel führend durchführen können.
7. Die Beobachtungen des Experimentes müssen eindeutig und ohne Hilfsmittel zu treffen sein.
8. Das Experiment muss robust gegenüber Veränderungen der angegebenen Mengen oder Zeitdauern sein.
9. Das Experiment muss neue Erkenntnisse liefern, die zur Beantwortung des Mythos bzw. der Fragestellung von Nöten sind.
10. Die Durchführung des Experimentes soll Freude und Interesse am Erarbeiten naturwissenschaftlicher Sachverhalte erzeugen und dazu anregen, weitere Experimente aus dem Buch durchzuführen.

Alle Experimente wurden anhand dieser Gestaltungsrichtlinie konzipiert und ausgearbeitet. Einzelne Experimente benötigen in der Gesamtdauer länger als 30 Minuten. Dies betrifft beispielsweise Experiment 2 (vgl. Tabelle 121), welches durch das Stehenlassen der Ansätze insgesamt ca. 3 Stunde in Anspruch nimmt. Die eigentliche Zeit, in der die Leser:innen tätig sein müssen, beträgt jedoch je nach Expertise der Leser:innen lediglich zwischen 5 und 15 Minuten, sodass auch ein solches Experiment den Gestaltungsrichtlinien entspricht. In einzelnen Experimenten werden potentiell bedenkliche Materialien verwendet. Zu diesen zählen vorrangig Spiritus und Desinfektionsmittel, welche leicht entflammbar sind. Dementsprechend wird auf die von den Substanzen ausgehenden Gefahren hingewiesen. Eine Verwendung dieser Substanzen wurde für das Buch dennoch als problemlos angesehen, da für diese Versuche zum einen keine offenen Flammen notwendig sind und die Substanzen zum anderen zu gewöhnlichen Haushaltssubstanzen zählen. Des Weiteren wird für die Experimente 1 und 3 eine UV-Taschenlampe benötigt. Wenngleich von herkömmlichen UV-Taschenlampen keine große Gefahr für die Haut und die Augen ausgeht, wird im Buch darauf hingewiesen, dass auf die möglichen Gefahren von UV-Strahlung zu achten sei. Immer, wenn mit einer UV-Lampe gearbeitet werden soll, werden die Leser:innen durch ein Symbol auf die Gefahren hingewiesen (Abbildung 151).

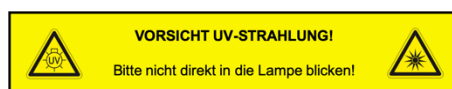


Abbildung 151: Gefahrenhinweis zum Umgang mit UV-Strahlung.

Die Experimente sind innerhalb des Kapitels durch eine Überschrift und ein Symbol sichtbar markiert. Das „Do it yourself“-Symbol findet sich zu Beginn jedes Experimentes und weist die Leser:innen

folglich daraufhin, dass sie für den folgenden Teil des Kapitels selbst tätig werden müssen. Alle Experimente sind im Buch nach dem gleichen Schema dargestellt. Zunächst leitet ein Einführungssatz in das Experiment ein, indem das grundsätzliche Ziel bzw. die Fragestellung des Experimentes aufgegriffen wird. Anschließend werden die für das Experiment benötigten Materialien aufgelistet (Abbildung 152).

Experiment 2: Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren

Überschrift

Einleitungssatz

Auflistung der Materialien

gefüllt wird, von möglichen Sporen und Pilzen befreien. Da Wasserstoffperoxid durch die Abspaltung von Sauerstoffatomen ein besonders aggressives Oxidationsmittel ist, können selbst hartnäckige Keime wie Sporen gut bekämpft werden. Jedoch zerfällt Wasserstoffperoxid nach einiger Zeit in Wasser und Sauerstoff und eignet sich somit nicht als sporizides Mittel, welches über einen längeren Zeitraum gelagert werden kann. Es dient lediglich dazu, das Aufbewahrungsbehältnis einmalig von möglichen Sporen und Pilzen zu befreien.

Glycerin erfüllt eine völlig andere Funktion als Wasserstoffperoxid und dient im Desinfektionsmittel dem Hautschutz. Da Glycerin eine sehr zähflüssige, fettende Substanz ist, eignet es sich besonders gut, die Haut zu befeuchten. Alkoholbasierte Desinfektionsmittel trocknen die Hände bei häufigem Gebrauch leicht aus und machen sie dadurch spröde und anfällig für Keime. Glycerin sorgt dafür, dass die Haut einen neuen Feuchtigkeitsschutz bilden kann, um so spröde Hautstellen zu verhindern. Anstelle von Glycerin könnte nach der Händedesinfektion auch eine feuchtigkeitsspendende Creme aufgetragen werden (die selbst oft Glycerin enthält). Falls Du das Desinfektionsmittel ohne Glycerin hergestellt hast, solltest Du darauf achten, es nicht zu oft für die eigene Haut zu verwenden oder aber nach dem Gebrauch eine Handcreme zu verwenden.


Die wichtigste Funktion im Desinfektionsmittel nimmt allerdings der Alkohol ein. Im folgenden Experiment kannst Du untersuchen, welche Wirkungsweise Alkohole auf Viren haben.

Experiment 2: Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren

Mit diesem Experiment kannst Du modellhaft überprüfen, welche Wirkung Alkohole beziehungsweise alkoholhaltige Desinfektionsmittel auf Viren haben.

Was Du benötigst:

- ▶ Drei leere Marmeladengläser (mit Deckel)
- ▶ Wasser
- ▶ Spiritus
- ▶ Desinfektionsmittel
- ▶ Kürbiskernöl
- ▶ Eine Einmalpipette / einen Teelöffel
- ▶ Einen Messbecher



105

Abbildung 152: Einleitung und Materialliste für Experimente im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“.

Die Materialien werden in Form einer Stichpunktliste aufgeführt. Dies ermöglicht den Leser:innen einen schnelleren Überblick über möglicherweise noch fehlende Materialien. Anschließend wird die Versuchsdurchführung in Form eines Fließtextes formuliert. Zumeist werden dazu zunächst die benötigten Materialien präzisiert, beispielsweise in der Art und Weise wie sie im Versuch verwendet werden sollen, oder ob Alternativen zu Materialien verwendet werden können. Dies wird bewusst nicht in der Materialliste ergänzt, um eine möglichst hohe Übersichtlichkeit der Liste gewährleisten zu können. Die Durchführung wird so beschrieben, dass auch Personen ohne naturwissenschaftliche Vorkenntnisse die Versuche einfach durchführen können. Dazu wird beispielsweise auf die Verwendung von Begriffen zurückgegriffen, die aus dem Alltag oder der Küche bekannt sind. Besonders in der Versuchsdurchführung wird auf die Verwendung kurzer Sätze geachtet, um ein strukturiertes Abarbeiten der Anweisungen zu ermöglichen. Im Anschluss an die Versuchsdurchführungen werden die zu erwartenden Beobachtungen dargestellt. Zum einen können die Leser:innen auf diesem Weg überprüfen, ob das von ihnen durchgeführte Experimente den zu erwartenden Beobachtungen entspricht. Zum anderen können auch Leser:innen, die die Experimente nicht durchführen können oder wollen, eine Möglichkeit erhalten, die Ergebnisse des Experimentes nachzuvollziehen. Zumeist werden die Beobachtungen mit einem Foto versehen, damit auch ein visueller Vergleich für die Leser:innen möglich ist (Abbildung 153).

Kapitel 10 | Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

Experiment 2: Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren

Präzisierung und Alternativen zu Materialien

Skizze der Durchführung

Beschreibung der Durchführung in kurzen Sätzen

Durchführung:

Für diesen Versuch benötigst Du drei leere Marmeladengläser mit Deckel. Solltest Du nicht genügend leere Marmeladengläser vorrätig haben, kannst Du den Versuch auch mit einem Marmeladenglas machen und nach jedem Schritt ein Foto mit der Handkamera machen. Wichtig für den Versuch ist, dass die Marmeladengläser komplett sauber sind und Du problemlos in das Glas gucken kannst! Am einfachsten ist es daher, wenn Du das Etikett der Gläser entfernst.

Darüber hinaus brauchst Du für den Versuch Kürbiskernöl, welches Du in den meisten Supermärkten kaufen kannst. Solltest Du kein Kürbiskernöl besitzen, kannst Du auch Speisöl mit Paprikapulver anfärben. Gib zu einem Glas mit Speisöl einen Teelöffel mit Paprikapulver und rühre gut um. Das Öl kannst Du über Nacht stehen lassen und am nächsten Tag nur das rot gefärbte Öl dekantieren.

Abbildung 10.2:
Skizze zur Versuchsdurchführung

Beschreibung der Durchführung in kurzen Sätzen:

Fülle zunächst einen Milliliter Kürbiskernöl (oder das von Dir angefarbte Öl) in alle drei Marmeladengläser. Dies geht am besten mit einem Pipettenspitzen. Du kannst aber auch einen Teelöffel benutzen und diesen zur Hälfte füllen. Gib nun mithilfe eines Messbechers je 50 Milliliter Wasser, Spiritus und Desinfektionsmittel in die drei verschiedenen Marmeladengläser. Verschließe das erste Marmeladenglas mit dem Deckel und schüttle es nun gut durch, sodass sich das Öl gut mit dem Wasser vermischt. Warte nach dem Schütteln noch ungefähr 30 Sekunden und kippe den Inhalt des Glases mit einem Schwung in den

Beschreibung der Beobachtungen

Foto der Beobachtungen

Abbildung 10.3:
Beobachtungen nach dem Ausschütten der Marmeladengläser. A Kürbiskernöl mit Wasser B Kürbiskernöl mit Spiritus C Kürbiskernöl mit Desinfektionsmittel

Abbildung 10.3:
Beobachtungen nach dem Ausschütten der Marmeladengläser. A Kürbiskernöl mit Wasser B Kürbiskernöl mit Spiritus C Kürbiskernöl mit Desinfektionsmittel

106

107

Abbildung 153: Durchführung und Beobachtungen für Experimente im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“.

Schließlich wird das Experiment ausgewertet, was im Buch als „Erklärung“ betitelt wird. In den meisten Fällen fungieren die Experimente als Modellexperimente, sodass die Auswertung des Experimentes strikt von einer möglichen Interpretation getrennt werden muss. Jedes Experiment wird daher zunächst ohne Bezug des möglichen Kontextes, sondern nur anhand der Beobachtungsebene gedeutet. Diese Auswertung des Experimentes erklärt die Beobachtungen auf einem grundlegenden Niveau und bedient sich oftmals Analogien aus dem Alltag, um den Abstraktionsgrad möglichst zu verringern. Das Experiment wird durch einen Querstrich beendet und für die Leser:innen sichtbar vom Fließtext getrennt (Abbildung 154).

Experiment 2: Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren

Kapitel 10 | Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

Erklärung des Experimentes

Ausguss. Wiederhole diesen Vorgang auch für die Marmeladengläser mit Spiritus beziehungsweise Desinfektionsmittel. Anschließend kannst Du die drei Marmeladengläser miteinander vergleichen.

Beobachtungen:

Nach dem Schütteln der drei Marmeladengläser ist zu erkennen, dass sich die Flüssigkeiten vermischt haben. Die deutlich grünliche Färbung des Kürbiskernöls ist gut zu sehen. Nach einer halben Minute bilden sich beim Marmeladenglas mit Öl und Wasser kleine, grüne Tröpfchen auf der Wasseroberfläche, dies passiert bei den Marmeladengläsern mit Spiritus und Desinfektionsmittel nicht. Werden die Marmeladengläser mit Schwung ausgegossen, so bleibt lediglich im Glas mit Wasser ein grüner Film zurück. Die Gläser mit Spiritus und Desinfektionsmittel sind hingegen deutlich sauberer (siehe Abbildung 10.3).

Abbildung 10.3:
Beobachtungen nach dem Ausschütten der Marmeladengläser. A Kürbiskernöl mit Wasser B Kürbiskernöl mit Spiritus C Kürbiskernöl mit Desinfektionsmittel

Erklärung:

Es ist gut zu erkennen, dass Wasser nicht in der Lage ist, das Kürbiskernöl aus dem Marmeladenglas zu waschen. Spiritus (also Alkohol) und das alkoholhaltige Desinfektionsmittel entfernen das Kürbiskernöl nahezu problemlos. Dies liegt an den chemischen Eigenschaften des Öles und des Alkohols. Bereits im vorherigen Kapitel zum Thema Seife hast Du Dich mit dem Aufbau von Fetten und Ölen beschäftigt. Auch das Kürbiskernöl gehört – wie der Name schon sagt – zu den Ölen und ist somit ein hydrophober, also wasserabweisender Stoff. Aus diesem Grund lässt sich das Kürbiskernöl nicht restlos mit Wasser aus dem Marmeladenglas waschen. Dies ist auch der Grund, wieso fettige Pfannen und Töpfe nicht ausschließlich mit Wasser gereinigt werden können, sondern immer ein Spülmittel zu Hilfe genommen werden muss. Alkohole sind im Gegensatz zu Wasser in der Lage,

Querstrich: Ende des Experimentes

106

108

Abbildung 154: Erklärung für Experimente im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“.

Die Interpretation des Experimentes erfolgt erst nach dem eigentlichen Experimentalteil im Kapitel. Dies wird aus wissenschaftspropädeutischen Gründen verfolgt. Da die meisten Experimente Modellexperimente sind, ist eine Interpretation der Daten zur Beantwortung einer Fragestellung außerhalb der Modellebene (z.B. das Realgeschehen) nicht erlaubt (Sommer et al., 2017). Eine Interpretation erfolgt daher stets vergleichend zu Aspekten der Pandemie. Neben der wissenschaftstheoretischen Begründung ermöglicht die Trennung von Interpretation und Experiment ebenfalls, den zugrundeliegenden Mythos vollumfänglich beantworten zu können, auch wenn das Experiment nicht durchgeführt und nicht gelesen worden ist. Leser:innen, die das Buch nicht aufgrund der Experimente erworben haben, können so dennoch die Beantwortung der Mythen und Fragestellungen nachvollziehen. Zusammen mit dem Buch wurden Arbeitsmaterialien für Lehrkräfte entwickelt, die im Unterricht eingesetzt werden können. Diese Arbeitsmaterialien enthalten die Arbeitsanweisungen für die 13 im Buch vorkommenden Experimente sowie weiterführende Aufgaben für Schüler:innen ab der 8. Klasse. Die Arbeitsmaterialien sind ebenso wie das Buch selbst im Anhang dieser Arbeit aufgeführt.

Feedback und Evaluation

Das Buch wurde mit einer Auflage von 500 Exemplaren gedruckt und durch den Bombini Verlag vermarktet. Die Bücher konnten über Buchhandlungen und Büchereien sowohl vor Ort als auch im Online-Handel oder über andere Versandhäuser (z.B. Amazon) online erworben werden. Darüber hinaus war eine Bestellung direkt über den Bombini Verlag möglich. Weiterhin ist das Buch in unbegrenzter Auflage als E-Book erhältlich. Mit Ausnahme weniger Exemplare ist diese Auflage vollständig verkauft worden. Wenngleich keine offizielle Evaluation oder Erhebung zum Buch durchgeführt worden ist, meldeten vor allem Lehrkräfte ein positives Feedback in Bezug auf die Einsatzmöglichkeiten der Experimente im Unterricht. Dies wird in Kapitel 5.2.7 dezidiert beschrieben.

Aus der wissenschaftlichen Community wurden zum Buch zwei Rezensionen verfasst, die im chemiedidaktischen Journal „CHEMKON“ respektive den „Nachrichten in der Chemie“ erschienen sind. Beide Rezensionen heben die einfachen, gut verständlichen und interessanten Experimente sowie die gewählten Themen und Mythen positiv hervor. Die in den „Nachrichten in der Chemie“ erschienene Rezension kritisiert, dass für das Verständnis einiger Mythen Vorkenntnisse in den Naturwissenschaften notwendig seien (Heinzerling, 2021; Zbikowski, 2021).

5.2.4 Format 2 – Digitale Wissenschaftskommunikation mit YouTube

Wissenschaftskommunikation auf digitalem Wege nimmt besonders seit Beginn der COVID-19-Pandemie einen enorm wichtigen Stellenwert ein. Die voranschreitende Digitalisierung sowohl innerhalb als auch außerhalb des Bildungssektors ermöglicht die schnelle und simple Verbreitung von Inhalten beispielsweise über soziale Netzwerke oder Broadcast-Plattformen. Besonders das Medium YouTube bietet zahlreiche Kanäle, die Wissenschaftskommunikation betreiben und wissenschaftliche Inhalte näherbringen. Im internationalen Raum sind die Kanäle „Kurzgesagt in a Nutshell“ mit über 20.200.000 Abonnent:innen und über 2.250.000.000 Aufrufen (nur auf dem Hauptkanal) und „Vsauce“ mit über 17.100.000 Abonnent:innen und über 2.100.000.000 Aufrufen (nur auf dem Hauptkanal) die erfolgreichsten Produzent:innen von Videos im Bereich Wissenschaftskommunikation (Kurzgesagt - In a Nutshell, 2023; Vsauce, 2023). Im deutschsprachigen Raum sind sowohl der deutschsprachige Ableger von Kurzgesagt (Dinge Erklärt – Kurzgesagt), als auch der YouTube-Kanal der ProSieben Wissenssendung „Galileo“ sowie die YouTuber:innen „MrWissen2go“ und „maiLab“ erfolgreich. Besonders der letztgenannte Kanal der Chemikerin Mai Thi Nguyen-Kim gilt spätestens seit Beginn der COVID-19-Pandemie als Vorbild für Wissenschaftskommunikation und wurde mit zahlreichen Preisen wie beispielsweise dem Verdienstkreuz am Bande der Bundesrepublik Deutschland ausgezeichnet (Der Bundespräsident, 2020).

Um neben dem Buch ein weiteres, niederschwelliges, kostenloses und besonders für junge Menschen ansprechende Medium zu nutzen, welches sich mit Mythen und Fragen zur COVID-19-Pandemie auseinandersetzt, wurde die Video-Reihe „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ entwickelt. Die insgesamt neun Videos wurden auf dem YouTube-Kanal der Chemiedidaktik Universität Osnabrück veröffentlicht (Chemiedidaktik Universität Osnabrück, 2021). Sie orientieren sich an den für das Buch formulierten Mythen und Fragen zur COVID-19-Pandemie und stellen die entwickelten Experimente in den Fokus (Tabelle 124). In den Videos sind teilweise Experimente zusammengefasst (Video 6: Emulgierende Wirkung von Seife und Dispergierende Wirkung von Seife; Video 7: Herstellung von

Desinfektionsmitteln und Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren). Die Experimente, die in den Videos vorgestellt werden, um Mythen bzw. Fragestellungen zu beantworten, entsprechen dabei den Experimenten, die bereits im Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“ dargestellt worden sind.

Tabelle 124: Liste der Videos auf dem YouTube-Kanal der Chemiedidaktik Universität Osnabrück unter dem Titel "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".

#	Name des Videos	Expert:in	Moderation
1	Verbreitung von Viren durch Schmierinfektion	Janet Lusmöller	Johann Schmidt
2	Die Rolle des Bargeldes in der Pandemie	Janet Lusmöller	Johann Schmidt
3	Was bringt der Sicherheitsabstand?	Hanno Penning	Lars Otte
4	Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken	Janet Lusmöller	Lars Otte
5	Kann man Masken wiederverwenden?	Johann Schmidt	Lars Otte
6	Ist Seife gegen das Corona-Virus wirksam?	Lars Otte	Johann Schmidt
7	Wie funktioniert Desinfektionsmittel?	Lars Otte	Johann Schmidt
8	Trump und die Injektion von Desinfektionsmittel	Lars Otte	Johann Schmidt
9	Mit Simulationen die Pandemie verstehen	Frauke Brockhage	Johann Schmidt

Alle Videos sind nach einem ähnlichen Schema aufgebaut. Das Video beginnt mit einer Einführung und Vorstellung der Fragestellung bzw. des Mythos durch den Moderator. Dieser befindet sich vor einer zum Videoinhalt passenden Szenerie, die über einen Greenscreen eingefügt worden ist, um die Zuschauer:innen besser zu aktivieren und Interesse für das Video zu schaffen (Abbildung 155).



Abbildung 155: Screenshot aus dem Video "Verbreitung von Viren durch Schmierinfektion". Moderationsszenerie in einem Einzelhandelsmarkt.

Der Moderator des Videos führt die Zuschauer:innen nach der Einführungssequenz in ein Labor, wo der/die für das jeweilige Experiment zuständige Expert:in das Experiment durchführt. Dabei nimmt der/die Expert:in nicht nur eine experimentierende Funktion ein, sondern führt mit dem Moderator einen Dialog, in welchem die Fragestellung beantwortet wird. Der Moderator nimmt in diesem Gesprächsteil eher die Rolle der Zuschauer:innen ein, die aktiv Fragen stellen, um von den jeweiligen Expert:innen Ratschläge und Antworten zu erhalten. Die Experimente werden dabei in verschiedenen Kameraeinstellungen gefilmt, um bestimmte Beobachtungen zu verdeutlichen (Abbildung 156).

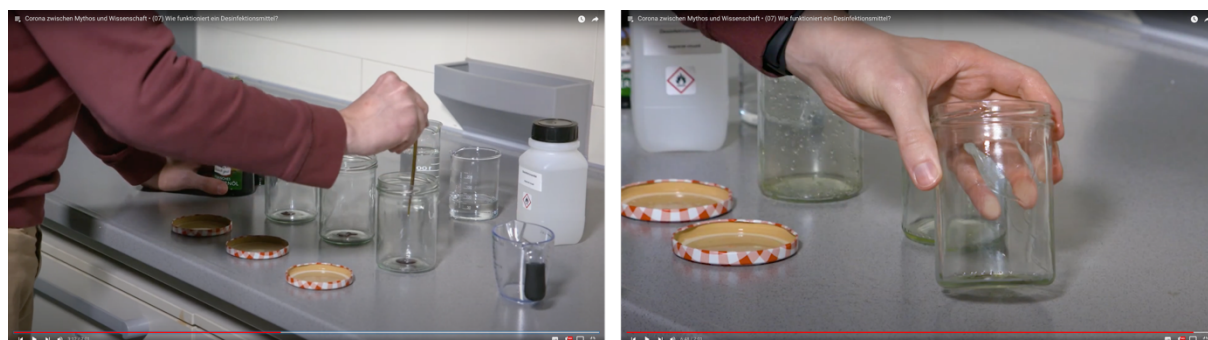


Abbildung 156: Screenshots aus dem Video „Wie funktioniert Desinfektionsmittel?“. Nahe Kameraeinstellung und Großaufnahme beim Experiment.

Damit die Videos informierend sind, aber gleichzeitig ein hohes Potential bieten, vollständig angesehen zu werden, wurde eine Videolänge von 10 Minuten nicht überschritten. Das kürzeste Video der Reihe besitzt eine Dauer von 3 Minuten, das längste Video eine Dauer von 9,5 Minuten. Alle Videos enden mit einer Schlussmaske, in der die am Video beteiligten Personen benannt werden (Abbildung 157).

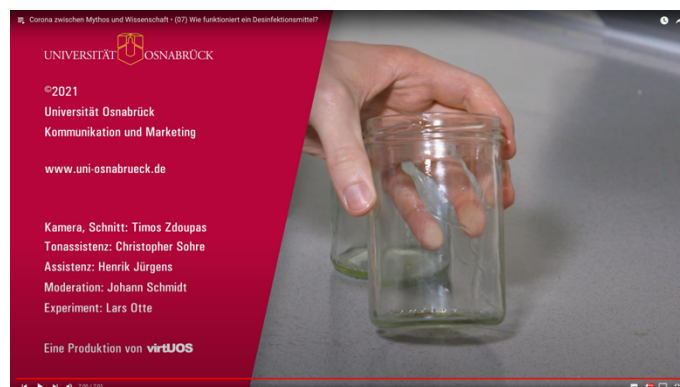


Abbildung 157: Screenshot aus dem Video „Wie funktioniert Desinfektionsmittel?“. Schlussmaske des Videos.

Die Videos stellen damit ein zeitgemäßes, digitales Wissenschaftskommunikationsformat dar, mit welchem über verschiedene Mythen und Fragestellung im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie aufgeklärt werden soll. Die Videos können sowohl von Lehrkräften für unterrichtliche Zwecke eingesetzt werden als auch von interessierten User:innen angesehen werden. Zu den Videos liegt keine Evaluation vor.

5.2.5 Format 3 – Lernen auf Distanz im Online-Projektunterricht

Wie in Kapitel 5.1.3 erwähnt, war zu bestimmten Zeiten der COVID-19-Pandemie der Präsenzunterricht an Schulen in Deutschland ausgesetzt. Als Alternative wurde in Deutschland das sogenannte „Lernen auf Distanz“ (fälschlicherweise auch als Homeschooling bezeichnet) angewandt, bei dem Unterricht über Videokonferenztools digital stattgefunden hat. Die Schüler:innen befanden sich zu diesen Zeitpunkten zu Hause an entsprechenden Endgeräten. Zeitweise wurde Unterricht in Hybridformen durchgeführt, in denen beispielsweise eine Hälfte der Klasse in der Schule beschult wurde, während die andere Hälfte der Klasse digital zugeschaltet wurde. Im Rahmen dieser teilweise oder vollständig digitalen Unterrichtsszenarien wurden im Rahmen des Wissenschaftskommunikationskonzeptes „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ mehrere digitale Workshops für Schüler:innen angeboten, die als Zeitraum einen Schulvormittag (bzw. 200 Minuten und Pausen) umfassten. Die Workshops wurden in verschiedene Phasen eingeteilt, sodass ein Wechsel zwischen Vortragsteil, Experimentanteilen (Demoexperiment und Schüler:innenexperiment) sowie Diskussionsteilen ermöglicht wurde. Die Experimente, die an den Workshoptagen durchgeführt wurden, entsprechen einer Auswahl der Experimente des Konzeptes „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“. Der Ablaufplan der Workshoptage ist in Tabelle 125 dargestellt.

Wie auch das Buch und die Videos wurden die Themen der Workshoptage an den Mythen und Fragen zur COVID-19-Pandemie orientiert. Die Workshops wurden online über die Videokonferenzplattform „Zoom“ durchgeführt. Die Schüler:innen konnten sich von zu Hause bzw. aus ihrer Klasse (je nach aktuell gültigem Beschulungsmodell in Niedersachsen) zur Videokonferenz zuschalten. Den Schüler:innen wurde eigenständig ermöglicht, ihre Kamera und ihr Mikrofon ein- bzw. auszuschalten, um an den Plenargesprächen teilzuhaben. Weiterhin wurde die Plattform Zoom verwendet, da diese das problemlose Teilen eines Bildschirms zulässt und Gruppenräume (Breakout Rooms) erstellt werden können, mithilfe derer in Kleingruppen gearbeitet werden kann. Damit alle Schüler:innen am Workshop auch praktisch teilnehmen können, wurde den Lehrkräften zwei Wochen im Voraus eine Liste mit Materialien zugesandt, die an die Schüler:innen weitergegeben wurde. Auf dieser Liste standen die für die fünf von den Schüler:innen eigenständig durchgeführten Experimente benötigten Materialien. Innerhalb der Praxisphasen wurde zwischen drei Arten von Experimenten unterschieden: Demoexperimente wurden ausschließlich vom Referenten durchgeführt. Die Experimente wurden währenddessen gefilmt und mithilfe der Software „Imaging Edge Desktop“ live auf den Bildschirm des Referenten übertragen. Dort wurde das Kamerabild mit den Vortragsfolien zusammengefügt und via Zoom an die Schüler:innen

übertragen. Die zweite Form der Experimente wurde von den Schüler:innen zusammen mit dem Referenten durchgeführt. Die Schüler:innen konnten sich an der Durchführung des Referenten orientieren und die Experimente anhand dessen selbstständig durchführen. Letztlich wurden reine Schüler:innenexperimente durchgeführt, bei denen die Schüler:innen nach Anleitung oder nach eigener Planung Versuche durchführen, Beobachtungen machen und die Auswertung im Plenum mit dem Referenten besprechen.

Tabelle 125: Ablaufplan der Online-Workshops „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“.

Phase	Inhalt	Sozialform	Dauer [min]
Einführung	Begrüßung, Vorstellung der Projektes, Allgemeiner Informationsvortrag zum Coronavirus	Vortrag	15
Praxisphase I	Schmierinfektionen (E1) ¹ . Demoexperiment zur Schmierinfektion, Auswertung mit Schüler:innen.	Demoexperiment, Plenargespräch	10
	Aerosole (E3) . Demoexperiment zur Verbreitung von Aerosolen, Auswertung mit Schüler:innen	Demoexperiment, Plenargespräch	10
– Pause –			10
Praxisphase II	Händewaschen mit Seife (E7) . Schüler:innenexperiment im Plenum, Auswertung im Plenum	Schüler:innenexperiment, Plenargespräch	15
	Desinfektionsmittel herstellen (E9) . Schüler:innenexperiment, Auswertung im Plenum	Schüler:innenexperiment, Plenargespräch	10
	Wirkung von Desinfektionsmitteln (E10) . Schüler:innenexperiment, Auswertung durch die Schüler:innen, gemeinsame Abstraktion	Schüler:innenexperiment, Plenargespräch	15
	Masken (E4) . Schüler:innenexperiment, Auswertung durch die Schüler:innen, Auswertung im Plenum	Schüler:innenexperiment, Plenargespräch	15
– Pause –			25
Praxisphase III	Simulation: Corona im Politiklabor (E12) . Simulationsexperiment (Schüler:innen) in Kleingruppen, Auswertung im Plenum	Kleingruppenarbeit, Schüler:innenvortrag, Plenargespräch	45
	Injektion von Desinfektionsmitteln (E11) . Schüler:innenexperiment, Auswertung mit Schüler:innen	Schüler:innenexperiment, Plenargespräch	10
– Pause –			25
Abschluss	Informationsvortrag zur mRNA-Impfung	Vortrag	5
	Erarbeitungsphase zur Impfung von Kindern und Jugendlichen	Partner:innenarbeit	20
	Offene Diskussion zur Impfung von Kindern und Jugendlichen	Plenardiskussion	20
	Abschlussbesprechung, offene Fragen, Feedback, Verabschiedung	Plenargespräch	~ 10

Insgesamt wurden 4 Workshops für Schüler:innen im Zeitraum von April bis Juni 2021 angeboten. An den Workshops nahmen über 1000 Schüler:innen aus Niedersachsen (überwiegend Region Emsland und Stadt Oldenburg) im Alter von 12 bis 18 Jahren teil. An drei der Veranstaltungen, die zusammen mit dem Wirtschaftsverband Emsland organisiert wurden, nahmen je 320 Schüler:innen teil. Teilweise wurden die Schüler:innen als Klassenverband aus der Schule zugeschaltet. Beteiligt an allen Workshops waren auch die jeweiligen Lehrkräfte der Schüler:innen, die im Falle von Hybridunterricht als Lehrkraft im Klassenraum agierten oder im Falle des Distanzlernens einzeln zugeschaltet wurden. Sowohl die Schüler:innen als auch die Lehrkräfte bezeichneten die Workshop als äußerst gewinnbringend. Viele der Schüler:innen führten an, dass sie durch den Workshoptag nun besser verstehen würden, wie man sich vor dem Coronavirus schützt und wie man Fehlinformationen in den sozialen Netzwerken begegnen kann. Darüber hinaus wurde von vielen Schüler:innen die Möglichkeit der praktischen Arbeit besonders positiv hervorgehoben, da dies durch längere Zeiten des Lernens auf Distanz nicht möglich war. Auch die Lehrkräfte bewerteten das Format sehr positiv und hoben ebenfalls das Experimentieren mit Haushaltsmitteln unter Einhaltung der Sicherheitsbestimmungen hervor. Darüber hinaus lobten sie die begleitenden Folien des Workshoptages sowie den Methodenwechsel zwischen Vortrag, Experiment und Diskussion.

Die Formate haben in kurzer Zeit über 1000 Schüler:innen und damit mehr Personen erreicht als durch das Buch angesprochen wurden. Die Möglichkeit eines digitalen Unterrichtes hat im Rahmen der COVID-19-Pandemie besonders für entsprechende Wissenschaftskommunikationsformate wie dieses ein enormes Potential aufgezeigt.

5.2.6 Format 4 – Das Schülerlaborsetting „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“

Das Schülerlabor GreenLab_OS der Universität Osnabrück bietet Schülerlaborsettings zu aktuell in der Gesellschaft debattierten Themen an (vgl. Kapitel 3.1). Neben dem in dieser Arbeit konzipierten und evaluierten Setting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II wurde auch ein Schülerlaborsetting zum Thema „Mit der AHA-Formel gegen die Verbreitung des Coronavirus“ entwickelt. Die Experimentalentwicklung sollte durch zwei Abschlussarbeiten unterstützt werden, wobei nur ein Schülerlaborsetting in einer Arbeit entwickelt worden ist (Jansen, 2021). Das Schülerlaborsetting greift Experimente aus dem Buch auf und adaptiert diese für einen Schülerlabortag. Die Experimente werden daher nicht mehr ausschließlich mit Haushaltsmaterialien durchgeführt und quantitative Elemente implementiert. Der Ablauf des Schülerlaborsettings nach Jansen ist in Tabelle 126 dargestellt.

Tabelle 126: Ablauf des Schülerlaborsettings "Mit der AHA-Formel gegen die Verbreitung des Coronavirus" nach (Jansen, 2021).

Phase	Inhalt	Dauer [min]
Vorbesprechung	Einführungspräsentation	25
	Station 1: Simulation der Tröpfcheninfektion	20
Erarbeitungsphase/ Experimentierphase	Station 2.1: Simulation der Kontaktinfektion	15
	Station 2.2: Scheine vs. Münzen	25
	Station 2.3: Funktion von Seife	25
	Station 2.4 Funktion von Desinfektionsmitteln	10
	Station 3.1: Wirksamkeit von Masken	15
	Station 3.2: Wiederverwendung von Einwegmasken	10
	Station 4: Simulation von Lüftungsvarianten	20
	Strategieausarbeitung	15
Abschlussbesprechung	Fishbowl-Diskussion und Poster-Erstellung	30

Das Laborsetting untersucht die im Rahmen der COVID-19-Pandemie empfohlene und zum Teil verpflichtend anzuwendende AHA-Regeln (bzw. AHA+L-Regeln), die dem physikalischen Infektionsschutz dienen. Das Alleinstellungsmerkmal des Schülerlabores liegt in dem von den Schüler:innen erstellten Produkt. Die Schüler:innen nehmen zu Beginn des Labortages in ihrer Kleingruppe eine Rolle ein (z.B. Lehrkraft, Unternehmer:in, Gastronom:in). Die Schüler:innen führen alle Experimente durch und entwickeln im Anschluss eine für sie umsetzbare und wissenschaftliche begründbare Strategie bezüglich der verpflichtenden Anwendung der AHA+L-Regeln (z.B. Wo sollte das Tragen von Masken verpflichtend sein, wie viel Abstand sollte gehalten werden), die gleichzeitig die Bedürfnisse der eigenen Rolle beachtet. Beispielsweise könnte es im Interesse von Gastronom:innen sein, möglichst geringe oder keine Abstandsregeln zu halten, damit viele Personen die eigene Gastronomie besuchen können. Dieser Strategieplan wird auf einem vorgefertigten Arbeitsblatt ausgefüllt, sodass dieser für alle Schüler:innen bzw. Kleingruppen das gleiche Format aufweist. Anschließend diskutieren die Schüler:innen in einer Fishbowl-Diskussion entsprechend der nach ihren Rollen entsprechende erstellten Strategien miteinander und entwickeln einen einzelnen, einheitlichen Strategieplan. Dazu müssen sie konkurrierende Meinungen abwägen und Kompromisse treffen, gleichzeitig aber die aus den Experimenten erhaltenen wissenschaftlichen Grundlagen der Regeln berücksichtigen. Das Schülerlabor orientiert sich damit stark an der Kommunikations- und Bewertungskompetenz, die für die naturwissenschaftlichen Fächer entsprechend der Umsetzung der Scientific Literacy-Vorgaben der OECD gefordert sind. Es steht daher, vergleichbar zum in Kapitel 3 vorgestellten Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II, stellvertretend für moderne Schülerlabore, die sich nicht ausschließlich an fachlichen Inhalten, sondern stärker an der Kompetenzentwicklung bei Schüler:innen orientieren und eine Partizipation an gesellschaftlichen Themen ermöglichen sollen. Das Schülerlabor ist damit auch ein Instrument der Wissenschaftskommunikation im eigentlichen Sinn, da es neben einer Wissensvermittlung auch die Struktur und Funktion von Naturwissenschaften im Sinne der Nature of Science intrinsisch thematisiert und die in der COVID-19-Pandemie häufig angesprochene Verzahnung von wissenschaftlichen Erkenntnissen und politischen Entscheidungen simuliert und reflektiert.

5.2.7 Format 5 – Fortbildungen für Lehrkräfte

Eines der Ziele des Konzeptes „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ ist es, die thematisierten Inhalte zeitnah, während der COVID-19-Pandemie, in den naturwissenschaftlichen Regelunterricht an Schulen zu implementieren. Während der Pandemie war dieses Ziel zeitweise schwer erreichbar, da der Unterricht durch Lernen auf Distanz massiv beeinträchtigt wurde und über längere Zeiträume der Besuch außerschulischer Lernorte sowohl innerhalb als auch außerhalb der Schule für Schüler:innen nicht gestattet war. Möglichkeiten, die entwickelten Inhalte im Unterricht zu implementieren, konnten folglich nur über digitale Formate (vgl. Kapitel 5.2.5) oder aber über die Lehrkräfte direkt ermöglicht werden. Zu diesem Zweck wurden mehrfach digitale Lehrkräftefortbildungen angeboten, die die 13 entwickelten Experimente in den Fokus gestellt hatten. Im Vergleich zu herkömmlichen Lehrkräftefortbildung ist eine Herausforderung, praktisches Arbeiten auch in einem digitalen Rahmen zu ermöglichen. Vergleichbar zu den Online-Workshops für Schüler:innen wurden den Lehrkräften daher im Vorfeld Materiallisten zugesandt, die die für die Experimente benötigten Haushaltsmaterialien auflisteten. Da während der Fortbildungen alle Experimente durch den Referenten vor der Kamera durchgeführt wurden, konnten auch Lehrkräfte teilnehmen und den Inhalten folgen, die die Experimente nicht eigenständig durchführen konnten oder wollten. Die Fortbildungen wurden über das Lehrerfortbildungszentrum Chemie NordWest (LFBZ Chemie NordWest) der Universität Osnabrück und einmalig über das Institut Dr. Flad in Stuttgart angeboten. Insgesamt nahmen an den Fortbildungen über 200 Lehrkräfte teil. In einer Evaluation bewerteten die Lehrkräfte die Formate durchschnittlich als sehr gut. Ausgewählte Aussagen der Lehrkräfte in Freitextfeldern der Evaluation sind in Tabelle 127 dargestellt.

Tabelle 127: Auswahl von Feedback-Aussagen im Freitextfeld zur Lehrkräftefortbildung "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft".

#	Antwort im Freitextfeld
1	Danke. Das war sehr kurzweilig und für einen Nicht-Biologen sehr lehrreich.
2	War sehr interessant und schöne Experimente für die Schule, vielen dank (sic!)
3	Tolle, einfache Experimente!
4	Vielen Dank, Herr Otte! Sie haben uns viele Anregungen für den Unterricht gegeben! Alles Gute!
5	Dankeschön, das waren Klasse (sic!) Experimente, schön, dass es so einfach sind (sic!), dann könnte man es mit den Schülern sogar im homeschooling (sic!) machen, tolle Folien mit richtige schönen Bildern und super Erklärung DAN-KESCHÖN (sic!)
6	Vielen Dank für die durchdachten Versuche
7	Herzlichen Dank für den kurzweiligen Vortrag und die tollen Experimente
8	Herzlichen Dank! Das war eine der besten Fortbildungen. Aktuell und super gut erklärt!
9	Vielen Dank für den anschaulichen Vortrag mit einfachen Mitteln.
10	Vielen Dank, das war sehr interessant – ich werde es nächste Woche meinen Schülern zeigen! Freue mich schon darauf!
11	Vielen Dank – beste online Veranstaltung (sic!) an der ich in letzter Zeit teilnehmen konnte
12	Versuche sehr gut für den Unterricht geeignet
13	Vielen Dank für die tollen Experimente, werden demnächst im Homeschooling eingesetzt.
14	Der Vortrag war sehr kurzweilig, die Versuche werden nachgemacht. Danke.

Den Aussagen ist zu entnehmen, dass die Lehrkräfte überwiegend die Fortbildung an sich, aber vor allem die Experimente positiv bewerten. Die Experimente seien mit einfachen Mitteln durchführbar und könnten im Homeschooling eingesetzt werden. Einzelne Lehrkräfte geben an, die Experimente der Fortbildung schnellstmöglich im eigenen Unterricht einsetzen zu wollen.

Die für die Fortbildung festgelegten Ziele, eine möglichst schnelle Implementation der Inhalte und Experimente in den Regelunterricht zu erreichen, kann anhand der Aussagen der Lehrkräfte angenommen werden. Die Fortbildung kann demnach als sinnvolles Format für eine indirekte Form der Wissenschaftskommunikation angesehen werden. Für eine tiefergreifende Evaluation müsste eine Befragung der Lehrkräfte einige Wochen nach der Intervention erfolgen.

5.2.8 Format 6 – Klassische Wissenschaftskommunikation durch (Online-)Vorträge

Das letzte im Rahmen des Konzeptes „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ entwickelte Wissenschaftskommunikationsformat richtet sich ausschließlich an Bürger:innen, die durch digitale Vorträge für die Thematik sensibilisiert werden sollten. Im Gegensatz zu den anderen Formaten ist die Interaktion seitens der Teilnehmer:innen bei Vorträgen deutlich geringer, dafür kann ein heterogeneres Personenfeld adressiert werden. Die Vorträge wurden teilweise über „Rotary Clubs“, zum Teil über

Presseanfragen an die Universität Osnabrück organisiert und ausschließlich digital durchgeführt. In den Online-Vorträgen wurde nach einer Vorstellung des Buchprojektes über verschiedene Mythen zur COVID-19-Pandemie durch den Referenten berichtet. Die Mythen wurden teilweise durch Live-Experimente vor der Kamera unterstützt, allerdings zu keinem Zeitpunkt durch die Teilnehmer:innen selbst durchgeführt.

Insgesamt nahmen an den Online-Vorträgen ungefähr 150 Personen teil, eine genaue Teilnehmer:innenzahl lässt sich jedoch nicht erheben. Da die Vorträge oftmals im Rahmen von anderen Organisationsstrukturen gehalten wurden, wurde keine Evaluation der Vorträge vorgenommen.

5.3 Diskussion der entwickelten Wissenschaftskommunikationsformate

Die COVID-19-Pandemie stellte einen der stärksten Einschnitte in das Wohlergehen, die soziale Struktur und die Gesundheit aller Menschen, aber auch in die Wirtschaft und internationale Zusammenarbeit der letzten Jahre dar. Neben der durch das Virus ausgelösten Krise zeigte sich, dass in der Bevölkerung ein eher geringes Vorwissen zu Viruserkrankungen und Maßnahmen, sich gegen die Ausbreitung von Infektionskrankheiten zu schützen, feststellbar ist. Zeitgleich zur Pandemie entwickelten sich daher viele Mythen und Fehlinformationen zu COVID-19 und dem Coronavirus, die sowohl von vielen Schüler:innen als auch vielen Erwachsenen nicht einfach widerlegt werden konnten. Diese Fehlinformation belasteten und belasten das Vertrauen vieler Menschen in die Politik und gefährdeten und gefährden teilweise die Gesundheit der Bevölkerung. Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser Arbeit verschiedene Wissenschaftskommunikationsformate entwickelt, die Mythen und Fehlinformationen identifizieren und zielgruppengerecht aufklären sollen. Als Zielgruppen wurden Schüler:innen und Bürger:innen identifiziert, da angenommen wurde, dass diese grundsätzlich unterschiedlich angesprochen werden können und müssen.

Das Kernelement aller entwickelten Formate des Konzeptes „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ bildet das Experiment, das zur Beantwortung von Fragen und zur Aufklärung von Mythen genutzt wird. Es erfüllt damit den Auftrag und die Anforderungen an naturwissenschaftliche Experimente im Prozess der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung. Das Buch, aber auch alle anderen Formate gehen von einer überprüfbaren Fragestellung bzw. einem überprüfbaren Mythos aus, die als Hypothese aufgefasst werden können. Das Experiment selbst dient folglich der Überprüfung der Hypothese und damit ihrer Verifizierung oder Falsifizierung. Anhand der Bewertung der Hypothese können Gesetzmäßigkeiten beziehungsweise allgemeingültige Aussagen über die COVID-19-Pandemie getroffen werden. Dieser Weg ähnelt dem klassischen naturwissenschaftlichen Weg der Erkenntnisgewinnung stark, da auch hier anhand einer Fragestellung Hypothesen abgeleitet werden, die experimentell verifiziert oder falsifiziert werden. Anhand der Verifizierung bzw. Falsifizierung der Hypothesen können allgemeine Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden bzw. müssen neue Hypothesen aufgestellt werden (Abbildung 158). Zwischen beiden Wegen können allerdings auch Unterschiede festgestellt werden. Während im klassischen Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung die Fragestellung zusammen mit dem Vorwissen zur Hypothesenbildung führt, entsprechen die Mythen und Fragestellungen im Beispiel von „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ näherungsweise der Hypothese selbst. Dies führt dazu, dass diese „Hypothesen“ nicht zur Planung der Hypothesenüberprüfung durch ein Experiment führen, sondern die experimentelle Planung durch das Format vorgegeben wird. Dies ist auf die fehlende Fähigkeit zur systematischen Planung naturwissenschaftlicher Experimente durch die Allgemeinbevölkerung zurückzuführen. Weiterhin führen in den Formaten von „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ sowohl die Verifizierung als auch die Falsifizierung der Mythen und Fragestellungen zur Beantwortung derselben, während im klassischen Modell bei einer Falsifikation der Hypothese zunächst neue Hypothesen aufgestellt werden müssen, bevor Gesetzmäßigkeiten abgeleitet werden können. Dieser Unterschied ist vor allem auf die verschiedenartige Funktion der Experimente in beiden Modellen zurückzuführen. Der klassische Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung dient des tatsächlichen Erkenntnisgewinns, also der Mehrung naturwissenschaftlichen Wissens und der Aufklärung grundsätzlich unbekannter Sachverhalte. Im Gegensatz dazu fungieren die Formate „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ als Wissenschaftskommunikationsformate, die bereits erlangtes Wissen aus der Wissenschaft adressatengerecht an die Bevölkerung transferieren müssen. Das Experiment dient in diesen Formaten daher eher als Mediator von Wissen und nicht als naturwissenschaftliche Arbeitsweise. Diese Funktion ist vergleichbar mit der Rolle von Experimenten im naturwissenschaftlichen Unterricht. Wenngleich die im naturwissenschaftlichen Unterricht behandelten Themen bereits allgemeingültig wissenschaftlich akzeptiert sind, sind die Inhalte für die Lernenden neu. Für sie fungiert das Experiment folglich als Methode zum Erkenntnisgewinn, während es für die Lehrenden als Methode zur Wissensvermittlung dient. Ein klassisches Beispiel eines Unterrichtsverfahrens, das die Rolle des Experimentes derart nutzt, ist das Forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren nach Schmidkunz und Lindemann (Schmidkunz & Lindemann, 2003). Auch in den Formaten „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ wird das Experiment von den Autor:innen als Methode der Wissensvermittlung genutzt, während die Anwender:innen der Formate durch die Durchführung des Experimentes einen Erkenntnisgewinn erlangen. Weitergefasst kann das Experiment zusammen mit der davon ausgehenden Verifizierung bzw. Falsifizierung der Mythen und anschließenden

Darstellung allgemeingültiger Sachverhalte daher als Wissenschaftskommunikation verstanden werden. Damit ergibt sich für die Formate ein zweigeteilter Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung, der zum einen aus den in der Bevölkerung vorhandenen Fragen und Mythen und dem zu diesen vorhandenen Vorwissen, zum anderen aus dem jeweiligen Wissenschaftskommunikationsformat zur Beantwortung dieser Fragestellungen und Mythen besteht. Die Nutzer:innen dieser Formate nehmen daher aus Sicht der Erkenntnisgewinnung zunächst eine aktive Rolle (Fragestellung/ Mythos und Vorwissen entstammen der Bevölkerung), schließlich eine passive Rolle (Wissenstransfer durch das Format an die Nutzer:innen) ein. Um den Erfolg dieses Wissenstransfers zu erhöhen, wird das Experiment in seiner Rolle als kognitiv-aktivierendes Element genutzt, welches Nutzer:innen zwingt, die Erkenntnisgewinnung aktiv nachvollziehen zu können.

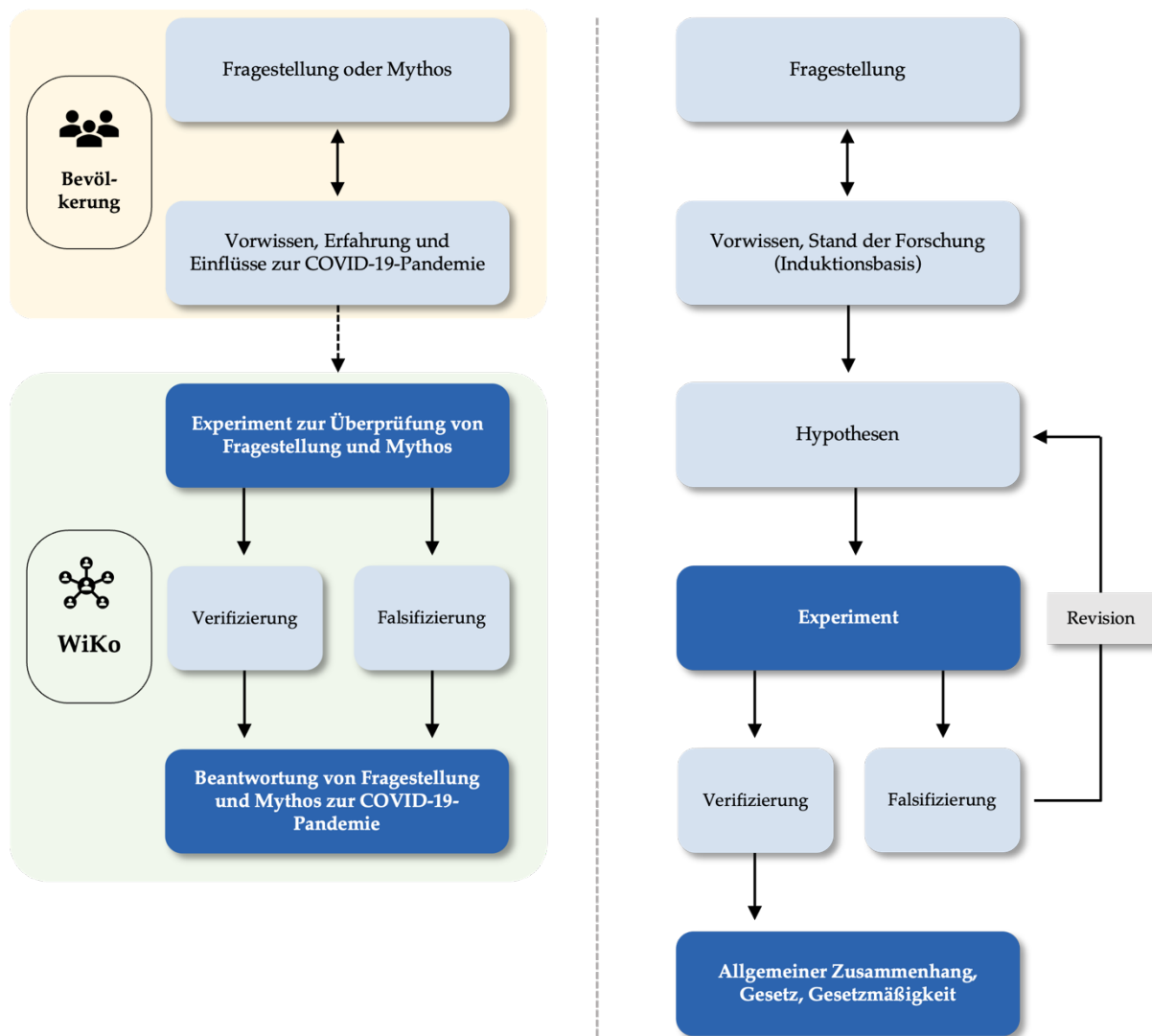


Abbildung 158: Weg der Erkenntnisgewinnung in den Wissenschaftskommunikationsformaten "Corona zwischen Mythos und Wissenschaft" (links) im Vergleich zum Weg der naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinnung nach (Häusler, 1976).

Da die entwickelten Formate nicht gänzlich empirisch überprüft worden sind, ist eine gesicherte und vergleichende Bewertung des Erfolgs der Formate schwer möglich. Es kann davon ausgegangen werden, dass ein langfristiger Erfolg der Formate zum einen mit steigender Dauer der Auseinandersetzung, zum anderen mit steigendem Grad der Aktivierung der Nutzer:innen einhergeht. Sowohl das Buch, das als Format für Schüler:innen und die allgemeine Bevölkerung entwickelt wurde als auch die Online-Projektformate für Schüler:innen versprechen daher einen hohen Lernerfolg bei den Nutzer:innen, während die YouTube-Videos vermutlich nur zu einer kurzfristigen Aktivierung der Nutzer:innen geführt haben werden. Für eine Bewertung des Erfolges der Formate müsste daher eine empirische Erhebung angeschlossen werden, die die Änderung des Wissens und der Einstellung sowie eine Überprüfung emotionaler und motivationaler Konstrukte bei den Nutzer:innen vergleichend überprüft.

6 Schlussfolgerungen und Forderungen für die Wissenschaftskommunikation

In dieser Arbeit wurde evaluiert, inwiefern Experimente sowohl innerhalb als auch außerhalb des naturwissenschaftlichen Unterrichtes sowohl Schüler:innen als auch Bürger:innen als Instrument der Wissenschaftskommunikation dienen. Diese übergeordnete Fragestellung wurde anhand zweier Kontexte untersucht. Zum einen wurde ein Schülerlaborsetting entwickelt, in welchem die Schüler:innen anhand eines konventionellen, vegetarischen und veganen Wurstproduktes chemisch-analytische Methoden der Lebensmittelchemie kennenlernen, um ihr eigenes Ernährungsverhalten hinsichtlich der Gesundheit und Nachhaltigkeit der Lebensmittel bewerten zu können. Gleichzeitig ist das Laborsetting an das Kerncurriculum der gymnasialen Oberstufe des Landes Niedersachsen angelehnt und soll dem Erwerb inhaltlicher und prozeduraler Kompetenzen dienlich sein. Zum anderen wurden adressatengerechte Wissenschaftskommunikationsformate entwickelt, die der Identifikation und Aufklärung von Fehlinformationen und Mythen im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie dienen sollen. Sowohl das Schülerlaborsetting als auch die Formate zur Identifikation und Aufklärung von Mythen können im weiteren Sinne als Wissenschaftskommunikation bezeichnet werden. Eingangs der Arbeit wurden Forschungsfragen aufgestellt, die im Folgenden zusammengefasst beantwortet werden. Anschließend werden Forderungen für weitere Wissenschaftskommunikationsformate aufgestellt.

6.1 Schlussfolgerungen und Forderungen

6.1.1 *„Es geht um die Wurst“ – Experimentalsetting zu nachhaltiger und gesunder Ernährung*

Das Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“, welches im Rahmen des Schülerlabors GreenLab_OS für Schüler:innen der Sekundarstufe II konzipiert wurde, stellt ein innovatives Wissenschaftskommunikationsformat und experimentell orientiertes Angebot dar. Im Labortag analysieren und identifizieren die Schüler:innen mithilfe chemisch-analytischer Methoden ein konventionelles, ein vegetarisches und ein veganes Fleisch-, bzw. Fleischersatzprodukt. Mithilfe der Experimente erlernen die Schüler:innen Methoden der analytischen Chemie und erhalten Einblicke in fachwissenschaftliche Forschung und Methodik. Gleichzeitig erlangen die Schüler:innen Kompetenzen, mithilfe derer sie ihre eigene Ernährung hinsichtlich der Nachhaltigkeit und Gesundheit kritisch reflektieren können. Das entwickelte Schülerlaborsetting wurde durch eine Begleitstudie hinsichtlich motivationaler und affektiver Einstellungen sowie Einstellungen zum Umweltbewusstsein evaluiert und mit den Erhebungen von Budke zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe II verglichen. Die eingangs gestellten Forschungsfragen 1–5 beziehen sich auf dieses Setting und werden nun zusammengefasst beantwortet.

Forschungsfrage 1: Welchen Einfluss hat der Besuch des Schülerlabortages auf die motivationalen und affektiven Einstellungen der Schüler:innen zum Chemieunterricht?

Die Begleitstudie konnte zeigen, dass das Fachinteresse und Sachinteresse der Schüler:innen durch den Schülerlabortag kaum verändert werden. Dies ist zu erwarten, da Interessenshaltungen wie das Interesse für das Fach Chemie dispositionale Konstrukte sind, die durch kurzfristige Einflüsse nicht verändert werden können. Die emotionalen (affektiven) Konstrukte hingegen werden durch den Schülerlabortag stark beeinflusst. Durch die Intervention zeigen die Schüler:innen kurzfristig eine stark erhöhte Freude und Interessiertheit sowie eine deutliche Reduktion der Frustration und Langeweile. Der Schülerlabortag ist daher sehr gut geeignet, um positive Emotionen gegenüber dem Fach Chemie zu vermitteln, wenngleich dieser Effekt nur kurzfristig anhält. Motivationale Einstellungen werden hingegen kaum beeinflusst.

Forschungsfrage 2: Können das Interesse am und die Motivation für den Chemieunterricht durch den Schülerlabortag gesteigert werden?

Wie zuvor in der Beantwortung von Forschungsfrage 1 erwähnt, zeigen sich kaum Veränderungen der Einstellungen der Schüler:innen zum Chemieunterricht. Wenngleich das Schülerlabor die emotionalen Einstellungen positiv verändert werden, gelingt dies durch die Kurzintervention bei den dispositionalen Konstrukten nicht. Ein mittel- oder langfristiger Einfluss auf den Chemieunterricht ist durch den Schülerlabortag daher nicht anzunehmen.

Forschungsfrage 3: Treten Unterschiede in den Ergebnissen im Vergleich beider Standorte und der Geschlechter auf?

Das Schülerlaborsetting wurde sowohl mobil in Schulen als auch stationär im Schülerlabor der Universität Osnabrück angeboten. Alle Konstrukte wurden in Abhängigkeit des Standortes erhoben. Zwischen beiden Standorten zeigen sich allerdings keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die emotionalen und affektiven Konstrukte bzw. auf die Interessenshaltungen der Schüler:innen. Leichte Unterschiede zeigen sich lediglich in der Akzeptanzbewertung, da die Schüler:innen, die das Labor in der Schule wahrgenommen haben, einen höheren Wunsch für Angebote in der Schule zeigen. Für die Interventionsgruppe Universität tritt kein Standorteffekt auf.

Unterschiede hinsichtlich der Geschlechter lassen sich innerhalb einiger Konstrukte wie beispielsweise dem Fähigkeitsselbstkonzept erkennen, welches für die Schülerinnen durch die Intervention stärker ansteigt als für die Schüler. Ein genereller Geschlechtereffekt ist jedoch ebenfalls nicht messbar.

Forschungsfrage 4: Welche Unterschiede zeigen sich hinsichtlich der Ergebnisse der Studie für die Sekundarstufe II im Vergleich zu den Ergebnissen der Studie für die Sekundarstufe I?

In der Studie zum Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ für die Sekundarstufe I (GLO1) konnte Budke grundsätzlich ähnliche Ergebnisse erzielen wie in der vorliegenden Studie für die Sekundarstufe II. So zeigten sich auch in GLO1 kurzfristige Änderungen der emotionalen Einstellungen, während keine Änderungen der dispositionalen Interessenshaltungen messbare waren. Unterschiede in beiden Studien betreffen vor allem die Standortakzeptanz. Während die GLO1-Studie bei Schüler:innen der Sekundarstufe I deutliche Präferenzen für die Durchführung des mobilen Schülerlabores aufzeigte, zeigen sich in der vorliegenden Studie zur Sekundarstufe II keine Unterschiede der Standortakzeptanz.

Forschungsfrage 5: Kann der Schülerlabortag das Umweltbewusstsein der Schüler:innen beeinflussen?

Das Umweltbewusstsein besteht entsprechend der Angaben des UBA aus dem Umweltaffekt, der Umweltkognition und dem Umweltverhalten. Besonders der Umweltaffekt und das Umweltverhalten sind Konstrukte, die langfristig angelegt sind und daher kaum Änderungen unterliegen. Auch in der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass das Allgemeine Umweltbewusstsein durch die Kurzintervention nicht signifikant beeinflusst wird. Eine Einflussnahme durch die Intervention kann lediglich hinsichtlich des Themenspezifischen Umweltverhaltens festgestellt werden. Hier zeigen die Schüler:innen kurzfristig eine hohe Bereitschaft, die eigene Ernährung kritisch zu reflektieren, ändern ihre Essgewohnheiten mittelfristig jedoch nicht.

6.1.2 *Wissenschaftskommunikationsformate zur COVID-19-Pandemie*

Die entwickelten Wissenschaftskommunikationsformate dienen der Identifikation und Analyse von Fehlinformationen und Mythen durch Bürger:innen und Schüler:innen. Diese Identifikation geschieht anhand von Experimenten, die somit als Wissenschaftskommunikationselemente fungieren und sowohl für den Einsatz in Schulen als auch bei Bürger:innen eingesetzt wurden. Diese Experimente sollen sowohl Bürger:innen als auch Schüler:innen befähigen, Fehlinformationen und Mythen zur COVID-19-Pandemie besser zu erkennen und das Wesen naturwissenschaftlicher Forschung besser nachvollziehen zu können. Sie agieren damit auch als Beitrag zur *Scientific Literacy* innerhalb und außerhalb der Schule. Im Rahmen dieser Arbeit wurden zwei Forschungsfragen gestellt, die nun beantwortet werden.

Forschungsfrage 6: Kann die Fachmethode Experiment auch außerhalb der Schule einen Beitrag zur *Scientific Literacy* leisten?

Die entwickelten Wissenschaftskommunikationsformate beruhen allesamt auf dem Einsatz einfacher und gut durchführbarer Experimente zur Aufklärung von Mythen und Fehlinformationen im Zusammenhang mit der COVID-19-Pandemie. Es konnte gezeigt werden, dass diese Experimente als zentrales Element der Formate fungieren und in dieser Rolle wesentlich an der Identifikation und Analyse von Fehlinformationen beteiligt sind. Der Einsatz von Experimenten, die zumeist im naturwissenschaftlichen Unterricht als Arbeitsmethode eingesetzt werden, lässt sich dabei auch auf den außerschulischen Raum erweitern. Das Wesen naturwissenschaftlicher Experimente wird dabei nicht verändert, da diese – unabhängig vom Kontext – als zentrales Element des Weges naturwissenschaftlicher Erkenntnisgewinnung agieren. Das Aufstellen von Hypothesen, Durchführen von Experimenten, Sammeln von Beobachtungen und Auswerten von Ergebnissen ist daher nicht lediglich auf den Einsatz in Wissenschaft und Schule beschränkt, sondern kann auch außerhalb dieser formalen Kontexte zum Erkenntnisgewinn beitragen. Damit dient das Experiment als Instrument der Wissenschaftskommunikation. Vor diesem Hintergrund muss die Rolle des Experimentes differenziert betrachtet werden. Während Experimente in der Forschung dem klassischen Zweck des Erkenntnisgewinns dienen, fungieren sie in der Schule und in der Bevölkerung in einer anderen Form. Hier haben sie die Aufgabe, bereits existentes Wissen an die jeweilige Zielgruppe zu transferieren und naturwissenschaftliche Arbeitsprozesse darzulegen. Damit ist das Experiment zusammen mit adäquaten Erklärungen und Abstraktionen in der Lage, sowohl Schüler:innen als auch Bürger:innen themenspezifisches Wissen zu vermitteln und zu befähigen, am gesellschaftlichen Diskurs fachgerecht zu partizipieren. Es leistet folglich auch außerhalb von Schule einen Beitrag zur *Scientific Literacy* in der Bevölkerung.

Forschungsfrage 7: Kann die Fachmethode Experiment Hilfestellungen geben, Mythen und Falschinformationen zur COVID-19-Pandemie aufzuklären?

Die entwickelten Wissenschaftskommunikationsformate konnten zeigen, dass durch den Einsatz von Experimenten Rückschlüsse auf Mythen und Falschinformationen in der COVID-19-Pandemie gezogen werden können. Die eingesetzten Experimente dienen dabei zumeist als Modellexperimente, da beispielsweise Coronaviren modellhaft durch Chemikalien und Materialien dargestellt werden. Für die Auswertung der Experimente muss daher berücksichtigt werden, dass dies einerseits nur unter Anwendung einer geeigneten Modellkritik möglich ist und die Durchführung des Experimentes nicht zum forschend-naturwissenschaftlichen Erkenntnisgewinn eingesetzt wird. Vielmehr adaptieren die eingesetzten Modellexperimente existierende Realexperimente und simulieren ein Abbild der Wirklichkeit. In dieser Funktion agieren die Experimente als Kommunikationsinstrument zur Aufklärung von Mythen und Falschinformationen. Wie zuvor bei Forschungsfrage 6 muss die Rolle des Experimentes also zweigeteilt betrachtet werden. Während die wissenschaftlichen Experimente zur tatsächlichen Aufklärung von Mythen und Falschinformationen dienen können, helfen die in dieser Arbeit konzipierten Experimente, Wissen und Erkenntnisse zu kommunizieren und unterstützen die Schüler:innen und Bürger:innen daher dabei, Mythen und Falschinformationen identifizieren und widerlegen zu können.

6.1.3 Forderungen

Die entwickelten Experimentalsettings sowohl zum Thema „Nachhaltige und gesunde Ernährung“ als auch zum Thema „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ konnten zeigen, dass Experimente auch außerhalb des klassischen Regelunterrichtes als Wissenschaftskommunikationsinstrumente dienen können. Sie bieten sich daher an, aktuell in der Gesellschaft diskutierte Themen adressatengerecht darzustellen. Dabei muss das Experiment keine komplexe wissenschaftliche Methode sein, die allen Ansprüchen eines tatsächlichen Forschungsexperiment entspricht, sondern kann auch mit simplen Mitteln, beispielsweise in Form eines Modellexperimentes, Wissen vermitteln und einen Beitrag zur naturwissenschaftlichen Grundbildung (*Scientific Literacy*) in der Bevölkerung leisten. Oftmals zeigt sich, dass Wissenschaftskommunikationsformate zu aktuellen Themen darauf angelegt sind, die Rezipient:innen lediglich passiv mit Informationen zu versorgen. Die im Rahmen der COVID-19-Pandemie entwickelten Formate wie beispielsweise Reporte, Podcasts und Fernsehsendungen sind dafür klassische Beispiele. Zeitgleich ist aus der naturwissenschaftsdidaktischen Forschung bereits seit langer Zeit bekannt,

dass Hands-On-Aktivitäten in Kombination mit geeigneten Erklärungsmustern den Lernerfolg signifikant steigern (Prenzel et al., 2002). Trotz der zahlreichen Wissenschaftskommunikation konnte besonders in der COVID-19-Pandemie gezeigt werden, dass viele Bürger:innen durch Fake News Informationsdefizite hinsichtlich der anzuwendenden Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie aufweisen. Diese zum Teil absichtlich publizierte Fehlinformationen werden dabei nicht ausschließlich durch Personen verbreitet, die durch das Amplifizieren der Informationen Schaden anrichten wollen, sondern auch von Personen, die nicht zwischen Wahrheit und Falschinformation differenzieren können (Brashier et al., 2017; Reinders Folmer et al., 2021). Der Einsatz von Experimenten in Wissenschaftskommunikationsformaten kann ein Baustein sein, den Erfolg der Wissenschaftskommunikation zu erhöhen und damit beispielsweise auch die Compliance mit Maßnahmen zur Pandemieeindämmung positiv zu beeinflussen. Dies lässt sich auch auf andere Themen und andere Krisen, wie beispielsweise die Klimakrise erweitern. Für den Einsatz von Experimenten als Instrumente der Wissenschaftskommunikation müssen allerdings verschiedene Forderungen gestellt werden.

1. Für die Wissenschaftskommunikation gelten ähnliche Regeln für die Wissensvermittlung. Hands-On-Aktivitäten und Experimente können den Erfolg der Vermittlung erhöhen.
2. Die eingesetzten Experimente müssen adressatengerecht sein.
3. Die Experimente müssen schnell und passend zur jeweiligen Thematik entwickelt werden.
4. Die Experimente müssen ohne großen Aufwand, einfach und sicher durchführbar sein.
5. Die Beobachtungen der Experimente müssen eindeutig sein.
6. Die Auswertung der Experimente muss zusammen mit geeigneten Vermittlungsstrategien und Materialien zur Wissenschaftskommunikation (z.B. Texte, Videos, Vorträge) erfolgen.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass ein Einsatz von Experimenten und Hands-On-Aktivitäten innerhalb und außerhalb der Schule erfolgversprechend für die Wissenschaftskommunikation und die Vermittlung aktueller Themen sein kann. An den Einsatz von Experimenten sind allerdings bestimmte Bedingungen geknüpft, deren Erfüllung die Wahrscheinlichkeit erhöhen kann, Bürger:innen und Schüler:innen zur aktiven Partizipation an aktuellen Diskussionen und Debatten zu beteiligen und somit einen Baustein zur Bewältigung von Krisen zu leisten.

6.2 Fazit und Ausblick

In dieser Arbeit wurden verschiedene Experimentalsettings konzipiert und evaluiert, die im Rahmen aktueller globaler Krisen und Herausforderungen entstanden sind. Das Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“ stellt das erste konzipierte Setting dieser Arbeit dar und ist in das Schülerlabor „GreenLab_OS“ implementiert. Anhand der Begleitstudie konnte gezeigt werden, dass der Besuch des Schülerlabores die Emotionen der Schüler:innen positiv beeinflusst und für die Auseinandersetzung mit diesen Themen begeistert. Das Thema „Nachhaltige und gesunde Ernährung“ stellt für den Schülerlabortag nicht nur einen Kontext dar, sondern ist vielmehr Ausgangssituation und Kernaspekt des gesamten Laborsettings. Durch die Auseinandersetzung mit chemisch-analytischen Methoden erlernen die Schüler:innen daher einerseits typische Arbeitstechniken der Fachwissenschaft Chemie, andererseits werden sie in die Lage versetzt, ihre eigene Ernährung kritischer zu reflektieren und begründet Entscheidungen bezüglich ihres eigenen Ernährungsverhaltens zu treffen. Wie zuvor gezeigt, dient das Experiment daher sowohl als Fachmethode des Chemieunterrichts als auch als Wissenschaftskommunikationsinstrument in der Vermittlung hochaktueller Themen und Fragestellungen.

Der zweite große Teil dieser Arbeit thematisiert Wissenschaftskommunikationsformate, die im Rahmen der COVID-19-Pandemie entwickelt worden sind. Im Gegensatz zum Schülerlaborsetting sind diese Formate nicht ausschließlich für die schulische Bildung, sondern auch für Bürger:innen erstellt worden, um Fehlinformationen und Fake News aufzuklären. Auch hier konnte gezeigt werden, dass die in den Formaten eingesetzten Experimente als Instrumente der Wissenschaftskommunikation dienen und an der Identifikation und Analyse von Fehlinformationen und Mythen beteiligt sind. Das Experiment sollte daher nicht nur in seiner Funktion als Fachmethode, sondern vielmehr in seiner ganzheitlichen Funktion als Element der Wissensvermittlung innerhalb und außerhalb der Schule betrachtet werden. In weiteren Untersuchungen sollte die Rolle des Experimentes tiefgründiger untersucht werden. Dazu sollte besonders der Erfolg der angewendeten Maßnahme hinsichtlich der Wissensvermittlung betrachtet werden. Für die einzelnen Teilprojekte ergeben sich daher weitere Fragen, die in entsprechenden Erhebungen evaluiert werden sollten:

Das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“:

1. Welchen konkreten Einfluss hat die Auswahl der Experimente auf den Erfolg des Schülerlabortages?
2. Wie können Schülerlabor optimiert werden, um BNE-abhängige Themenaspekte stärker zu fördern?
3. Welchen Einfluss hat die Auswahl des Themas des Schülerlabortages auf das Interesse, die Motivation und die Emotionen der Schüler:innen?
4. Wie gelingt es, Effekte bei Schüler:innen auch mittel- oder langfristig zu erzielen?
5. Gibt es geschlechterspezifische Unterschiede hinsichtlich des ausgewählten Themas und der eingesetzten Experimente?

Viele dieser Fragen bedürfen der Analyse weiterer Schülerlaborsettings. Der im Rahmen der Erhebung verwendete Fragebogen wurde daher so konzipiert, dass dieser auf alle klassischen Schülerlaborsettings im Rahmen des GreenLab_OS angewendet werden kann. Durch einen Austausch der Items zum Themenspezifischen Umweltverhalten entsprechend des ausgewählten Themas kann auch hier der themenabhängige Einfluss gemessen werden. Da viele Erhebungen zu Schülerlaboren das ausgewählte Thema nicht berücksichtigen, bzw. hier kaum Vergleiche stattfinden, ist dort eine große Forschungslücke zu erkennen. Der erstellte Fragebogen kann dabei helfen, die Forschungslücke zu bearbeiten.

Wissenschaftskommunikationsformate zur COVID-19-Pandemie:

1. Wie kann der Erfolg der Wissenschaftskommunikationsformate gemessen werden?
2. Welche Unterschiede treten hinsichtlich der durchgeführten Wissenschaftskommunikationsformate auf?
3. Welchen konkreten Einfluss haben die durchgeführten Experimente auf den Erfolg der Wissenschaftskommunikationsformate?
4. Wie lassen sich die Wissenschaftskommunikationsformate zielgruppengerecht adressieren?
5. Kann der Einsatz von Experimenten auch als Baustein zur Bewältigung anderer Krisen als der COVID-19-Pandemie dienen?

Die Wissenschaftskommunikationsformate zur COVID-19-Pandemie wurden nicht durch eine empirische Erhebung, sondern lediglich durch Feedback evaluiert. Die offenen Fragen sind daher grundlegender als zum erstgenannten Experimentalsetting. Weiterführende Untersuchungen sollten daher die Konzeption einer Fragebogen- oder Interviewstudie sowie die systematische Erhebung von Daten beinhalten, um die Wirkung und den Erfolg der Wissenschaftskommunikationsformate messen zu können.

Unabhängig der offenen bzw. anknüpfenden Forschungsfragen konnte die Arbeit zeigen, dass innovative Experimentalsettings in der Lage sind, einen Beitrag zur Wissenschaftskommunikation in Zeiten von Pandemie und Krisen zu leisten. Sie können dabei helfen, die naturwissenschaftliche Grundbildung (*Scientific Literacy*) sowohl von Schüler:innen als auch von Bürger:innen zu steigern und leisten damit sowohl innerhalb als auch außerhalb des naturwissenschaftlichen Unterrichtes einen wichtigen Beitrag an der Gesellschaft.

7 Publikationen und Konferenzbeiträge

Die während der Promotion als Erst- oder Koautor verfassten und erschienenen Publikationen sowie Konferenzbeiträge sind in folgender Übersicht aufgelistet. Weiterhin sind diese Publikationen, sofern sie als Open Access Publikation gelistet sind, dem digitalen Anhang dieser Arbeit beigelegt.

Wissenschaftliche Publikationen als Erstautor:

- Otte, L., Brockhage, F., Kreienhop, N., Lusmöller, J., Schmidt, J. & Beeken, M. (2020). Eigenschaften, Entstehung und Verwendung von Mikroplastik: Kompetenzen in den Bereichen Fachwissen und Erkenntnisgewinnung erwerben. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 31(179), 2-6.
- Otte, L., Brockhage, F., Kreienhop, N., Lusmöller, J., Schmidt, J. & Beeken, M. (2020). Lösungsansätze für die Mikroplastikproblematik: Kompetenzen in den Bereichen Bewertung und Kommunikation erwerben. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 31(179), 28-33.
- Otte, L. & Beeken, M. (2022). „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ - Innovative Experimente und Formate zur Bewertung von Fake News für den Chemieunterricht. *Chemkon*. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100075>
- Otte, L. & Beeken, M. (2022). „COVID-19 between Myth and Science“ - Innovative Experiments for Analyzing Fake News Inside and Outside the Chemistry Classroom. *Journal of Chemical Education*, 99(5), 1890-1899. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01262>
- Otte, L., Schmidt, J., Lusmöller, J., Berben, D. & Beeken, M. (2022). Das Format „Make@thon“ als Enrichment für den fächerübergreifenden MINT- Unterricht - Lernende entwickeln mit 3D-Druck und Co. Wege aus der Corona-Krise. *MNU Journal*(01.2022), 74-79.
- Otte, L., Amel, H., Korte, T. & Beeken, M. (2023). Die Wurst hat's in sich: Innovative Experimente zu Inhaltsstoffen fleischhaltiger, vegetarischer und veganer Wurst. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 1/23(193), 16-20.

Wissenschaftliche Publikationen als Erstautor in Begutachtung:

- Otte, L., Hager, S. & Beeken, M. (2023). Fridays For Future und Schule? Teil 4: Unterrichtsvorschläge zum Thema nachhaltige und gesunde Ernährung. *ChiuZ*, XX(XX), XX-XX.

Wissenschaftliche Publikationen als Koautor:

- Beeken, M., Budke, M., & Otte, L. (2019). Katalytische Spaltung von Wasserstoffperoxid: Die „Elefantenzahnpasta“. *Chemie & Schule*, 35(1), 5-9.
- Toschke, Y., Lusmoeller, J., Otte, L., Schmidt, J., Meyer, S., Tessmer, A., Brockmann, C., Ahuis, M., Huer, E., Kirberger, C., & Berben, D. (2022). Distributed LoRa based CO(2) monitoring network - A standalone open source system for contagion prevention by controlled ventilation. *HardwareX*, 11, e00261. <https://doi.org/10.1016/j.ohx.2022.e00261>
- Korte, T., Otte, L., Amel, H. & Beeken, M. (2023). "Burger.i.doo"-An Innovative Education Game for the Assessment of Sustainability from Meat and Substitute Products in Science Education. *Sustainability*, 15(1). <https://doi.org/ARTN21310.3390/su15010213>

Buchpublikationen:

- Otte, L., & Beeken, M. (2021). *Corona zwischen Mythos und Wissenschaft: Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen*. Bonn: Bombini Verlag.

Posterpublikationen:

Otte, L. & Beeken M. (2022). Sustainable Nutrition Lab Settings for Students and Citizens. Are Vegetarian and Vegan Meat Substitutes the More Sustainable Alternative to Conventional Meat? *Im Rahmen der "11th WEEC – Building Bridges"*

Konferenzbeiträge:

Beeken, M., Otte, L. & Kohlenbach, N. (2018). Die Mikroplastik-Problematik – universitäre Forschung trifft Schule. Experimentalvortrag. *GDCh-Fachgruppentagung Karlsruhe*.

Beeken, M., Otte, L. & Pilla, P. (2019). Das Projekt Chem_OS – Zur Rolle von Wissenschaftskommunikation in der Fachdidaktik Chemie. Experimentalvortrag. *Curie-Symposium Hannover*.

Brockhage, F., Otte, L., Lüsse, M., Pietzner, V. & Beeken, M. (2020). Der Stickstoffproblematik auf der Spur – Experimentelle Untersuchungen im Schülerlabor. Experimentalvortrag. *MNU-Tagung Bremerhaven*.

Otte, L. & Beeken, M. (2021). Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen. Digitaler Experimentalvortrag. *GDCh-Fachgruppentagung 2021. Gießen/Konstanz/Potsdam (digital)*.

Otte, L., Budke, M. & Beeken, M. (2022). Gin und Tonic Water geschmackvoll präsentiert. *GDCh-Fachgruppentagung 2022. Osnabrück*.

Otte, L. & Beeken, M. (2022). Gin und Tonic Water geschmackvoll präsentiert. *Bundesfachleitertagung der MNU. Bad Blankenburg*.

8 Literaturverzeichnis

- AG Antibiotikaresistenz. (2021). *Lagebild zur Antibiotikaresistenz im Bereich Tierhaltung und Lebensmittelkette*. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL). https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/_Tiere/Tiergesundheit/Tierarzneimittel/lagebild-antibiotikaeeinsatz-bei-tieren-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=3
- Agostoni, C., Canani, R. B., Farweather-Tait, S., Heinonen, M., Korhonen, H., La Vieille, S., Marchelli, R., Martin, A., Naska, A., Neuhäuser-Berthold, M., Nowicka, G., Sanz, Y., Siani, A., Sjödin, A., Stern, M., Strain, S. J. J., Tetens, I., Tomé, D., Turck, D., & Hans, V. (2015). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for vitamin E as α -tocopherol. *EFSA Journal*, 13(7). <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2015.4149>
- Allan, J. A. (1998). Virtual Water: A Strategic Resource Global Solutions to Regional Deficits. *Groundwater*, 36(4), S. 545-546. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1745-6584.1998.tb02825.x>
- Allcott, H., & Gentzkow, M. (2017). Social Media and Fake News in the 2016 Election. *Journal of Economic Perspectives*, 31(2), S. 211-236. <https://doi.org/10.1257/jep.31.2.211>
- Allensbacher Markt- und Werbeträgeranalyse 2022*. (2022). Institut für Demoskopie Allensbach. Abgerufen am 27.03.2023 von <https://www.ifd-allensbach.de/awa/startseite.html>
- American Heart Association Nutrition, C., Lichtenstein, A. H., Appel, L. J., Brands, M., Carnethon, M., Daniels, S., Franch, H. A., Franklin, B., Kris-Etherton, P., Harris, W. S., Howard, B., Karanja, N., Lefevre, M., Rudel, L., Sacks, F., Van Horn, L., Winston, M., & Wylie-Rosett, J. (2006). Diet and lifestyle recommendations revision 2006: a scientific statement from the American Heart Association Nutrition Committee. *Circulation*, 114(1), S. 82-96. <https://doi.org/10.1161/CIRCULATIONAHA.106.176158>
- Andersen, K. G., Rambaut, A., Lipkin, W. I., Holmes, E. C., & Garry, R. F. (2020). The proximal origin of SARS-CoV-2. *Nature Medicine*, 26(4), S. 450-452. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0820-9>
- Antimicrobial Resistance Collaborators. (2022). Global burden of bacterial antimicrobial resistance in 2019: a systematic analysis. *Lancet*, 399(10325), S. 629-655. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)02724-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)02724-0)
- Antrobus, R. D., Coughlan, L., Berthoud, T. K., Dicks, M. D., Hill, A. V., Lambe, T., & Gilbert, S. C. (2014). Clinical assessment of a novel recombinant simian adenovirus ChAdOx1 as a vectored vaccine expressing conserved Influenza A antigens. *Molecular Therapy*, 22(3), S. 668-674. <https://doi.org/10.1038/mt.2013.284>
- Anupam, A., Gupta, R., Naemi, A., & JafariNaimi, N. (2018). Particle in a Box: An Experiential Environment for Learning Introductory Quantum Mechanics. *IEEE Transactions on Education*, 61(1), S. 29-37. <https://doi.org/10.1109/te.2017.2727442>
- Appleby, P. N., Thorogood, M., Mann, J. I., & Key, T. J. (1999). The Oxford Vegetarian Study: an overview. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(3 Suppl), S. 525S-531S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/70.3.525s>
- Arcari, C. (2015). Understanding and measuring the dynamics of infectious disease transmission. In G. Milligan & A. Barrett (Hrsg.), *Vaccinology. An Essential Guide*. Hoboken, New-Jersey: Wiley-Blackwell.
- Atkins, P. W. (2002). *Kurzlehrbuch Physikalische Chemie*. 3. Auflage. Weinheim: WILEY-VCH Verlag.
- Atkinson, J. W. (1964). *An introduction to motivation*. Oxford, England: Van Nostrand.
- Bader, S. (2017). *Handbuch der Elektroanalytik Teil 3 - Die elektrische Leitfähigkeit*. Göttingen: Sartorius AG.

- Ball, M. J., & Ackland, M. L. (2000). Zinc intake and status in Australian vegetarians. *British Journal of Nutrition*, 83(1), S. 27-33. <https://doi.org/10.1017/s0007114500000052>
- Baltes, W. (2007). Zusatzstoffe im Lebensmittelverkehr. In *Lebensmittelchemie* (S. 162-205). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-38183-9_10
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. New York, NY, US: W H Freeman/ Times Books/ Henry Holt & Co.
- Barke, H.-D. (2006). *Chemiedidaktik - Diagnose und Korrektur von Schülervorstellungen*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/3-540-29460-0>
- Barke, H.-D., & Hilbing, C. (2000). Image von Chemie und Chemieunterricht. *Chemie in unserer Zeit*, 34(1), S. 17-23. [https://doi.org/https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1521-3781\(200002\)34:1<17::AID-CIUZ17>3.0.CO;2-V](https://doi.org/https://doi.org/10.1002/(SICI)1521-3781(200002)34:1<17::AID-CIUZ17>3.0.CO;2-V)
- Barr, S. I., & Broughton, T. M. (2000). Relative weight, weight loss efforts and nutrient intakes among health-conscious vegetarian, past vegetarian and nonvegetarian women ages 18 to 50. *Journal of the American College of Nutrition*, 19(6), S. 781-788. <https://doi.org/10.1080/07315724.2000.10718078>
- Baur, N., & Blasius, J. (2022). *Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung*. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-37985-8>
- Beeken, M., Fallenbeck, M., & Budke, M. (2019). Durch die Blume zur Elektrochemie: Neue und einfache experimentelle Anordnungen - Entwicklung von elektrochemischen Experimenten auf der Basis von Blumensteckschaummasse. *Chemkon*, 26(1), S. 7-11. <https://doi.org/10.1002/ckon.201800020>
- Beeken, M., Walf, S., & Budke, M. (2018). Traditionell oder vegetarisch? - „Es geht um die Wurst!“ im GreenLab_OS. *Chemkon*, 25(3), S. 112-117. <https://doi.org/10.1002/ckon.201800005>
- Behrendt, M., & Franklin, T. (2014). A Review of Research on School Field Trips and Their Value in Education. *International Journal of Environmental & Science Education*, 9(3), S. 235-245. <https://doi.org/10.12973/ijese.2014.213a>
- Belova, N., & Krause, M. (2022). Der Kontext „Wasser“ aus chemie- und mediendidaktischer Sicht - das Projekt „HIQO“ das Wasser mit Leitfähigkeitsextrakt? *Bunsen-Magazin*, 25(1), S. 30-32.
- Berg, J. M., Tymoczko, J. L., Gatto, G. J., & Stryer, L. (2018). *Stryer Biochemie*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-54620-8>
- Bergmann, A. (2020). *Mathematisch-naturwissenschaftliches Fachinteresse durch Profilunterricht fördern - Theoriebasierte Evaluation eines Thüringer Schulversuchs in der Sekundarstufe I [Dissertation]*. Universität Leipzig.
- Betsch, C., Wieler, L., Bosnjak, M., Ramharter, M., Stollorz, V., Omer, S., Korn, L., Sprengholz, P., Felgendreff, L., Eitze, S., & Schmid, P. (2020). *Germany COVID-19 Snapshot MOnitoring (COSMO Germany): Monitoring knowledge, risk perceptions, preventive behaviours, and public trust in the current coronavirus outbreak in Germany*. PsychArchives.
- BfR. (2014). *Ausgewählte Fragen und Antworten zu Vitamin D*. BfR (Bundesinstitut für Risikobewertung) & DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.). Berlin. <https://www.bfr.bund.de/cm/343/ausgewaehlte-fragen-und-antworten-zu-vitamin-d.pdf>
- BfR. (2016). *Fragen und Antworten zu den Auswirkungen des Antibiotika-Einsatzes in der Nutztierhaltung. Aktualisierte FAQ des BfR vom 03. August 2016*. Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR). <https://mobil.bfr.bund.de/cm/343/fragen-und-antworten-zu-den-auswirkungen-des-antibiotika-einsatzes-in-der-nutztierhaltung.pdf>
- Billah, M. A., Miah, M. M., & Khan, M. N. (2020). Reproductive number of coronavirus: A systematic review and meta-analysis based on global level evidence. *PLoS One*, 15(11), S. e0242128. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0242128>

- BMEL. (2022). *Deutschland, wie es isst: Der BMEL-Ernährungsreport 2022*. BMEL (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft). Bonn.
- Bordon, Y. (2021). Variant constraint by mRNA vaccines. *Nature Reviews Immunology*, 21(5), S. 274-275. <https://doi.org/10.1038/s41577-021-00548-5>
- Bortz, J., & Döring, N. (2016). *Forschungsmethoden und Evaluation in den Sozial- und Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg: Srpinger. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-41089-5>
- Bouvard, V., Loomis, D., Guyton, K. Z., Grosse, Y., Ghissassi, F. E., Benbrahim-Tallaa, L., Guha, N., Mattock, H., Straif, K., & International Agency for Research on Cancer Monograph Working, G. (2015). Carcinogenicity of consumption of red and processed meat. *The Lancet Oncology*, 16(16), S. 1599-1600. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(15\)00444-1](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(15)00444-1)
- Bower, G. H. (1981). Mood and memory. *American Psychologist*, 36, S. 129-148. <https://doi.org/10.1037/0003-066X.36.2.129>
- Brandt, A. (2005). *Förderung von Motivation und Interesse durch außerschulische Experimentierlabors [Dissertation]*. Universität Bielefeld.
- Brashier, N. M., & Schacter, D. L. (2020). Aging in an Era of Fake News. *Current Directions in Psychological Science*, 29(3), S. 316-323. <https://doi.org/10.1177/0963721420915872>
- Brashier, N. M., Umanath, S., Cabeza, R., & Marsh, E. J. (2017). Competing cues: Older adults rely on knowledge in the face of fluency. *Psychology and Aging*, 32(4), S. 331-337. <https://doi.org/10.1037/pag0000156>
- Braund, M., & Reiss, M. (2006). Towards a More Authentic Science Curriculum: The contribution of out-of-school learning. *International Journal of Science Education*, 28(12), S. 1373-1388. <https://doi.org/10.1080/09500690500498419>
- Brockhage, F. (2021). Anthropogene Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf. [Abbildung]
- Brockhage, F., Amel, H., Lüsse, M., Pietzner, V., & Beeken, M. (2022). „Vom VW-Abgasskandal zur Stickstoffproblematik“ Ein Experimentalssetting (nicht nur) für den Chemieunterricht. *Chemkon*. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100091>
- Brüggenjürgen, B., Stricker, H.-P., Krist, L., Ortiz, M., Reinhold, T., Roll, S., Rotter, G., Weikert, B., Wiese-Posselt, M., & Willich, S. N. (2023). Impact of public health interventions to curb SARS-CoV-2 spread assessed by an evidence-educated Delphi panel and tailored SEIR model. *Journal of Public Health*, 31(4), S. 539-552. <https://doi.org/10.1007/s10389-021-01566-2>
- Budke, M. (2019). *Entwicklung und Evaluation des Projektes GreenLab_OS - Empirische Studie zu Effekten von mobilen und stationären Schülerlaborangeboten [Dissertation]*. Osnabrück: Universität Osnabrück, Institut für Chemie neuer Materialien.
- Budke, M., Parchmann, I., & Beeken, M. (2019). Empirical Study on the Effects of Stationary and Mobile Student Laboratories: How Successful Are Mobile Student Laboratories in Comparison to Stationary Ones at Universities? *Journal of Chemical Education*, 96(1), S. 12-24. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00608>
- BUND. (2010). *Anhaltendes Bienensterben durch Pestizide*. Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND). Berlin. https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/umweltgifte/pestizide_bienensterben_hintergrundpapier.pdf
- Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte. (2020). *ICD-10 (WHO und GM): U07.2 kodiert Verdacht auf COVID-19*. Köln.
- Bundesministerium der Justiz. *Verordnung zur Neuordnung lebensmittelrechtlicher Vorschriften über Zusatzstoffe*. Bundesministerium der Justiz, (1998).

- Bundesministerium der Justiz. Gesetz über den Verkehr mit Tierarzneimitteln und zur Durchführung unionsrechtlicher Vorschriften betreffend Tierarzneimittel (Tierarzneimittelgesetz - TAMG). Bundesministerium der Justiz, (2022).
- Bundesministerium für Gesundheit. (2023). *Alltag in Zeiten von Corona: Schutz durch AHA+L+A*. Abgerufen am 19.07.2023 von <https://www.infektionsschutz.de/coronavirus/alltag-in-zeiten-von-corona/>
- Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland. (2020). *Besprechung der Bundeskanzlerin mit den Regierungschefinnen und Regierungschefs der Länder vom 22.03.2020*. Abgerufen am 18.07.2023 von <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/coronavirus/besprechung-der-bundeskanzlerin-mit-den-regierungschefinnen-und-regierungschefs-der-laender-vom-22-03-2020-1733248>
- Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland. (2021). *Videoschaltkonferenz der Bundeskanzlerin mit den Regierungschefinnen und Regierungschefs der Länder am 18. November 2021*. Bundesregierung der Bundesrepublik Deutschland.
- Burki, T. K. (2021). Lifting of COVID-19 restrictions in the UK and the Delta variant. *The Lancet Respiratory Medicine*, 9(8), S. e85. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(21\)00328-3](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(21)00328-3)
- Burns, T. W., O'Connor, D. J., & Stockmayer, S. M. (2003). Science Communication: A Contemporary Definition. *Public Understanding of Science*, 12(2), S. 183-202. <https://doi.org/10.1177/09636625030122004>
- Campbell, B. M., Beare, D. J., Bennett, E. M., Hall-Spencer, J. M., Ingram, J. S. I., Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J. A., & Shindell, D. (2017). Agriculture production as a major driver of the Earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*, 22(4). <https://doi.org/10.5751/es-09595-220408>
- Casanoves, M., Salvadó, Z., González, Á., Valls, C., & Novo, M. T. (2016). Learning genetics through a scientific inquiry game. *Journal of Biological Education*, 51(2), S. 99-106. <https://doi.org/10.1080/00219266.2016.1177569>
- Casella, M., Bimonte, S., Barbieri, A., Del Vecchio, V., Caliendo, D., Schiavone, V., Fusco, R., Granata, V., Arra, C., & Cuomo, A. (2018). Dissecting the mechanisms and molecules underlying the potential carcinogenicity of red and processed meat in colorectal cancer (CRC): an overview on the current state of knowledge. *Infectious Agents and Cancer*, 13, S. 3. <https://doi.org/10.1186/s13027-018-0174-9>
- Chan, J., Jaceldo-Siegl, K., & Fraser, G. E. (2009). Serum 25-hydroxyvitamin D status of vegetarians, partial vegetarians, and nonvegetarians: the Adventist Health Study-2. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), S. 1686S-1692S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.26736X>
- Chan, J. F., Yuan, S., Kok, K. H., To, K. K., Chu, H., Yang, J., Xing, F., Liu, J., Yip, C. C., Poon, R. W., Tsoi, H. W., Lo, S. K., Chan, K. H., Poon, V. K., Chan, W. M., Ip, J. D., Cai, J. P., Cheng, V. C., Chen, H., . . . Yuen, K. Y. (2020). A familial cluster of pneumonia associated with the 2019 novel coronavirus indicating person-to-person transmission: a study of a family cluster. *Lancet*, 395(10223), S. 514-523. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30154-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30154-9)
- Chang-Claude, J., Hermann, S., Eilber, U., & Steindorf, K. (2005). Lifestyle determinants and mortality in German vegetarians and health-conscious persons: results of a 21-year follow-up. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 14(4), S. 963-968. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-04-0696>
- Chemiedidaktik Universität Osnabrück. (2021). *Corona zwischen Mythos und Wissenschaft - Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen*. Abgerufen am 27.07.2023 von https://www.youtube.com/playlist?list=PL893kmKdclxWsD0mqafEMtG4_rvwBAUQk
- Chemiedidaktik Universität Osnabrück. (2023). *Schülerlabor GreenLab_OS*. Universität Osnabrück. Abgerufen am 05.05.2023 von https://www.chemie.uni-osnabrueck.de/forschung/didaktik/schuelerlabor/greenlab_os.html

- Chen, M., Shen, W., Rowan, N. R., Kulaga, H., Hillel, A., Ramanathan, M., Jr., & Lane, A. P. (2020). Elevated ACE-2 expression in the olfactory neuroepithelium: implications for anosmia and upper respiratory SARS-CoV-2 entry and replication. *European Respiratory Journal*, 56(3). <https://doi.org/10.1183/13993003.01948-2020>
- Chen, N., Zhou, M., Dong, X., Qu, J., Gong, F., Han, Y., Qiu, Y., Wang, J., Liu, Y., Wei, Y., Xia, J. a., Yu, T., Zhang, X., & Zhang, L. (2020). Epidemiological and clinical characteristics of 99 cases of 2019 novel coronavirus pneumonia in Wuhan, China: a descriptive study. *The Lancet*, 395(10223), S. 507-513. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30211-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30211-7)
- Cheng, P.-H., Yeh, T.-K., Tsai, J.-C., Lin, C.-R., & Chang, C.-Y. (2019). Development of an Issue-Situation-Based Board Game: A Systemic Learning Environment for Water Resource Adaptation Education. *Sustainability*, 11(5). <https://doi.org/10.3390/su11051341>
- Chughtai, A. A., Seale, H., & Macintyre, C. R. (2020). Effectiveness of Cloth Masks for Protection Against Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2. *Emerging Infectious Diseases*, 26(10). <https://doi.org/10.3201/eid2610.200948>
- Clarys, P., Deliens, T., Huybrechts, I., Deriemaeker, P., Vanaelst, B., De Keyzer, W., Hebbelinck, M., & Mullie, P. (2014). Comparison of nutritional quality of the vegan, vegetarian, semi-vegetarian, pesco-vegetarian and omnivorous diet. *Nutrients*, 6(3), S. 1318-1332. <https://doi.org/10.3390/nu6031318>
- Clayden, J., Greeves, N., & Warren, S. (2013). *Organische Chemie*. 2. Auflage. Heidelberg: Springer Spektrum.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2. Auflage. USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cohen, J. (2020a). New coronavirus threat galvanizes scientists. *Science*, 367(6477), S. 492-493. <https://doi.org/10.1126/science.367.6477.492>
- Cohen, J. (2020b). Scientists 'strongly condemn' rumors and conspiracy theories about origin of coronavirus outbreak. *Science*. <https://doi.org/10.1126/science.abb3730>
- Collaboration, N. C. D. R. F. (2017). Worldwide trends in body-mass index, underweight, overweight, and obesity from 1975 to 2016: a pooled analysis of 2416 population-based measurement studies in 128.9 million children, adolescents, and adults. *Lancet*, 390(10113), S. 2627-2642. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(17\)32129-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(17)32129-3)
- Corman, V. M., Haage, V. C., Bleicker, T., Schmidt, M. L., Muhlemann, B., Zuchowski, M., Jo, W. K., Tscheak, P., Moncke-Buchner, E., Muller, M. A., Krumbholz, A., Drexler, J. F., & Drosten, C. (2021). Comparison of seven commercial SARS-CoV-2 rapid point-of-care antigen tests: a single-centre laboratory evaluation study. *The Lancet Microbe*, 2(7), S. e311-e319. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(21\)00056-2](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(21)00056-2)
- Corman, V. M., Landt, O., Kaiser, M., Molenkamp, R., Meijer, A., Chu, D. K., Bleicker, T., Brunink, S., Schneider, J., Schmidt, M. L., Mulders, D. G., Haagmans, B. L., van der Veer, B., van den Brink, S., Wijsman, L., Goderski, G., Romette, J. L., Ellis, J., Zambon, M., . . . Drosten, C. (2020). Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-time RT-PCR. *Eurosurveillance*, 25(3). <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.3.2000045>
- COVID19-Pandemie.org. (2020). Schematische Darstellung des SARS-CoV-2 Vermehrungszyklus. [Abbildung]
- Crowe, F. L., Steur, M., Allen, N. E., Appleby, P. N., Travis, R. C., & Key, T. J. (2011). Plasma concentrations of 25-hydroxyvitamin D in meat eaters, fish eaters, vegetarians and vegans: results from the EPIC-Oxford study. *Public Health Nutrition*, 14(2), S. 340-346. <https://doi.org/10.1017/S1368980010002454>
- Cushen, B., Sulaiman, I., Donoghue, N., Langan, D., Cahill, T., Nic Dhonncha, E., Healy, O., Keegan, F., Browne, M., & O'Regan, A. (2016). High prevalence of obstructive lung disease in non-smoking

- farmers: The Irish farmers lung health study. *Respiratory Medicine*, 115, S. 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.rmed.2016.04.006>
- Damerau, K. (2012). *Molekulare und Zell-Biologie im Schülerlabor - Fachliche Optimierung und Evaluation der Wirksamkeit im BeLL Bio (Bergisches Lehr-Lern-Labor Biologie) [Dissertation]*. Bergische Universität Wuppertal.
- Davey, G. K., Spencer, E. A., Appleby, P. N., Allen, N. E., Knox, K. H., & Key, T. J. (2003). EPIC-Oxford: lifestyle characteristics and nutrient intakes in a cohort of 33 883 meat-eaters and 31 546 non meat-eaters in the UK. *Public Health Nutrition*, 6(3), S. 259-269. <https://doi.org/10.1079/PHN2002430>
- de Charms, R. (1983). *Personal Causation: The Internal Affective Determinants of Behavior*. 1. Auflage. New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315825632>
- de Haan, G., & Kuckartz, U. (1996). *Umweltbewußtsein: Denken und Handeln in Umweltkrisen*. Opladen: Westdeutscher Verlag.
- Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1993). Die Selbstbestimmungstheorie der Motivation und ihre Bedeutung für die Pädagogik. *Zeitschrift für Pädagogik*, 39(2), S. 223-238. <https://doi.org/10.25656/01:11173>
- Der Bundespräsident. (2020). *Ordensverleihung „Vereint und füreinander da“*. Abgerufen am 27.07.2023 von <https://www.bundespraesident.de/SharedDocs/Berichte/DE/Frank-Walter-Steinmeier/2020/10/201001-Verdienstorden-TdDE.html>
- Deriemaeker, P., Aerenhouts, D., De Ridder, D., Hebbelinck, M., & Clarys, P. (2011). Health aspects, nutrition and physical characteristics in matched samples of institutionalized vegetarian and non-vegetarian elderly (> 65yrs). *Nutrition & Metabolism*, 8(1), S. 37. <https://doi.org/10.1186/1743-7075-8-37>
- Deutscher Bundestag. Gesetz zum Schutz der Bevölkerung bei einer epidemischen Lage von nationaler Tragweite. Deutscher Bundestag, 587-592 (2020).
- Deutscher Bundestag. (2021). *Sachstand - Regelungen zu genbasierten Impfstoffen*. Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages. Berlin. <https://www.bundestag.de/resource/blob/852226/d37bc32fab0a37e0c6009d2e93d2a075/W-D-9-116-20-pdf-data.pdf#page=7>
- Deutscher Bundestag. Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen. Bundesministerium der Justiz, (2022).
- DGE. (2012). *Ernährungsbericht 2012*. DGE (Deutsche Gesellschaft für Ernährung e.V.). Bonn.
- DGE, ÖGE, & SGE. (2019). *D-A-CH Referenzwerte für die Nährstoffzufuhr*. 2. Auflage. Neustadt an der Weinstraße: Neuer Umschau Buchverlag.
- DGUV. (2023). *DGUV Information 213-098 - Stoffliste zur DGUV Regel 113-018 „Unterricht in Schulen mit gefährlichen Stoffen“*. DGUV (Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung). DEGINTU.
- Dharavath, B., Yadav, N., Desai, S., Sunder, R., Mishra, R., Ketkar, M., Bhanshe, P., Gupta, A., Redhu, A. K., Patkar, N., Dutt, S., Gupta, S., & Dutt, A. (2020). A one-step, one-tube real-time RT-PCR based assay with an automated analysis for detection of SARS-CoV-2. *Heliyon*, 6(7), S. e04405. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04405>
- Dicks, M. D., Spencer, A. J., Edwards, N. J., Wadell, G., Bojang, K., Gilbert, S. C., Hill, A. V., & Cottingham, M. G. (2012). A novel chimpanzee adenovirus vector with low human seroprevalence: improved systems for vector derivation and comparative immunogenicity. *PLoS One*, 7(7), S. e40385. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0040385>
- Diekmann, A., & Preisendörfer, P. (1998). Umweltbewußtsein und Umweltverhalten in Low- und High-Cost-Situationen: Eine empirische Überprüfung der Low-Cost-Hypothese. *Zeitschrift für Soziologie*, 27(6), S. 438-453.

- Dietrich, N. (2018). Escape Classroom: The Leblanc Process—An Educational “Escape Game”. *Journal of Chemical Education*, 95(6), S. 996-999. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00690>
- Dirschauer, C., & Kuhnert, P. (2009). *Die E-Nummern in Lebensmitteln - Kleines Lexikon der Zusatzstoffe*. Bonn: Aid Infodienst.
- DLBMK. Leitsätze für vegane und vegetarische Lebensmittel mit Ähnlichkeit zu Lebensmitteln tierischen Ursprungs. DLBMK (Deutsche Lebensmittelbuch-Kommission), (2018).
- Döhla, M., Boesecke, C., Schulte, B., Diegmann, C., Sib, E., Richter, E., Eschbach-Bludau, M., Aldabbagh, S., Marx, B., Eis-Hübinger, A. M., Schmithausen, R. M., & Streeck, H. (2020). Rapid point-of-care testing for SARS-CoV-2 in a community screening setting shows low sensitivity. *Public Health*, 182, S. 170-172. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.puhe.2020.04.009>
- Domjahn, J. (2013). Integration von Schülerlabormodulen in eine längerfristige Unterrichtsreihe im Themenfeld Radioaktivität. In LernortLabor (Hrsg.), *LeLa magazin* (S. 5-7). Stuttgart: Klett MINT GmbH.
- Drescher, L. S., Thiele, S., & Mensink, G. B. (2007). A new index to measure healthy food diversity better reflects a healthy diet than traditional measures. *The Journal of Nutrition*, 137(3), S. 647-651. <https://doi.org/10.1093/jn/137.3.647>
- Durmaz, A., Dursun, İ., & Kabadayı, E. T. (2022). Are They Actually Sustainable? The Social Desirability Bias in Sustainable Consumption Surveys. In Jishnu Bhattacharyya (Hrsg.), *Dealing with Socially Responsible Consumers: Studies in Marketing* (S. 533-560). Singapore: Springer Nature Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4457-4_28
- EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain. (2010). Statement on possible public health risks for infants and young children from the presence of nitrates in leafy vegetables. *EFSA Journal*, 8(12), S. 1935. <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1935>
- EFSA Panel on Dietetic Products, N., & Allergies. (2012). Scientific Opinion on the Tolerable Upper Intake Level of eicosapentaenoic acid (EPA), docosahexaenoic acid (DHA) and docosapentaenoic acid (DPA). *EFSA Journal*, 10(7), S. 2815. <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2815>
- EFSA Panel on Dietetic Products, N., & Allergies. (2013). Scientific Opinion on Dietary Reference Values for vitamin C. *EFSA Journal*, 11(11), S. 3418. <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2013.3418>
- EFSA Panel on Food Additives, Flavourings, Younes, M., Aquilina, G., Castle, L., Engel, K.-H., Fowler, P., Frutos Fernandez, M. J., Fürst, P., Gürtler, R., Husøy, T., Mennes, W., Moldeus, P., Oskarsson, A., Shah, R., Waalkens-Berendsen, I., Wölflle, D., Aggett, P., Cupisti, A., . . . Gundert-Remy, U. (2019). Re-evaluation of phosphoric acid-phosphates – di-, tri- and polyphosphates (E 338–341, E 343, E 450–452) as food additives and the safety of proposed extension of use. *EFSA Journal*, 17(6), S. e05674. <https://doi.org/https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5674>
- EFSA Panel on Nutrition, N. F., Turck, D., Castenmiller, J., de Henauw, S., Hirsch-Ernst, K. I., Kearney, J., Knutsen, H. K., Maciuk, A., Mangelsdorf, I., McArdle, H. J., Pelaez, C., Pentieva, K., Siani, A., Thies, F., Tsabouri, S., Vinceti, M., Aggett, P., Fairweather-Tait, S., Martin, A., . . . Naska, A. (2019). Dietary reference values for sodium. *EFSA Journal*, 17(9), S. e05778. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5778>
- Eisenack, K. (2012). A Climate Change Board Game for Interdisciplinary Communication and Education. *Simulation & Gaming*, 44(2-3), S. 328-348. <https://doi.org/10.1177/1046878112452639>
- Eitemüller, C., & Walpuski, M. (2018). Wahl- und Abwahlprofile im Fach Chemie: Ergebnisse einer Clusteranalyse zur Charakterisierung von Lernenden am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 24(1), S. 251-263. <https://doi.org/10.1007/s40573-018-0087-6>

- Ekstrom, J. A., Suatoni, L., Cooley, S. R., Pendleton, L. H., Waldbusser, G. G., Cinner, J. E., Ritter, J., Langdon, C., van Hooijdonk, R., Gledhill, D., Wellman, K., Beck, M. W., Brander, L. M., Rittschof, D., Doherty, C., Edwards, P. E. T., & Portela, R. (2015). Vulnerability and adaptation of US shellfisheries to ocean acidification. *Nature Climate Change*, 5(3), S. 207-214. <https://doi.org/10.1038/nclimate2508>
- Elmadfa, I., Aign, W., & Muskat, E. (2017). *Die große GU Nährwert-Kalorien-Tabelle*. 4. Auflage. München: Gräfe und Unzer Verlag GmbH.
- Elmadfa, I., & Leitzmann, C. (2019). *Ernährung des Menschen*. 6. Auflage. Stuttgart: Verlag Eugen Ulmer. <https://doi.org/10.36198/9783838587486>
- Elmadfa, I., & Singer, I. (2009). Vitamin B-12 and homocysteine status among vegetarians: a global perspective. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 89(5), S. 1693S-1698S. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2009.26736Y>
- Elorinne, A. L., Alfthan, G., Erlund, I., Kivimäki, H., Paju, A., Salminen, I., Turpeinen, U., Voutilainen, S., & Laakso, J. (2016). Food and Nutrient Intake and Nutritional Status of Finnish Vegans and Non-Vegetarians. *PLoS One*, 11(2), S. e0148235. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0148235>
- Elster, D. (2007). Interessante und weniger interessante Kontexte für das Lernen von Naturwissenschaften. *MNU Journal*, 60(4), S. 243-249.
- Engeln, K. (2004). *Schülerlabors: authentische, aktivierende Lernumgebungen als Möglichkeit, Interesse an Naturwissenschaften und Technik zu wecken [Dissertation]*. H. Niedderer & H. Fischler (Hrsg.). 36. Auflage. Berlin: Logos Verlag.
- Enyedy, N., Danish, J. A., & DeLiema, D. (2015). Constructing liminal blends in a collaborative augmented-reality learning environment. *International Journal of Computer-Supported Collaborative Learning*, 10(1), S. 7-34. <https://doi.org/10.1007/s11412-015-9207-1>
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. Verordnung (EG) Nr. 1333/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Lebensmittelzusatzstoffe. Europäisches Parlament und Rat, (2008).
- Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union. Verordnung Nr. 1169/2011. Europäisches Parlament und Rat, (2011).
- Fajans, K., & Wolff, H. (1924). Über die Titration von Silber- und Halogenionen mit organischen Farbstoffindikatoren. *Zeitschrift für anorganische und allgemeine Chemie*, 137(1), S. 221-245. <https://doi.org/10.1002/zaac.1924137011>
- FAO. Basic texts of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), (2017). <https://www.fao.org/3/mp046e/mp046e.pdf>
- FAO. (2022). *Daily caloric supply*. Our World in Data based on UN FAO. Abgerufen am 01.03.2023 von <https://ourworldindata.org/grapher/daily-per-capita-caloric-supply?tab=table>
- FAO, IFAD, UNICEF, WFP, & WHO. (2018). *The State of Food Security and Nutrition in the World 2018. Building climate resilience for food security and nutrition*. Rome.
- FAOSTAT. (2020). *Emission intensities*. FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Abgerufen am 09.05.2023 von <https://www.fao.org/faostat/en/#data/EI>
- Farmer, R., & Sundberg, N. D. (1986). Boredom proneness: The development and correlates of a new scale. *Journal of Personality Assessment*, 50, S. 4-17. https://doi.org/10.1207/s15327752jpa5001_2
- Farvid, M. S., Sidahmed, E., Spence, N. D., Mante Angua, K., Rosner, B. A., & Barnett, J. B. (2021). Consumption of red meat and processed meat and cancer incidence: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *European Journal of Epidemiology*, 36(9), S. 937-951. <https://doi.org/10.1007/s10654-021-00741-9>

- FCCC, & UN. (2014). *United Nations Framework Convention on Climate Change*. Warschau.
- FDA. (2021). *FDA Letter to Stakeholders: Do Not Use Ivermectin Intended for Animals as Treatment for COVID-19 in Humans*. Food and Drug Administration (FDA). Abgerufen am 21.07.2023 von <https://www.fda.gov/animal-veterinary/product-safety-information/fda-letter-stakeholders-do-not-use-ivermectin-intended-animals-treatment-covid-19-humans>
- Fickermann, D., & Edelstein, B. (2021). *Schule während der Corona-Pandemie. Neue Ergebnisse und Überblick über ein dynamisches Forschungsfeld*. Münster: Waxmann Verlag. <https://doi.org/10.31244/9783830993315>
- Fischer, E. P., Fischer, M. C., Grass, D., Henrion, I., Warren, W. S., & Westman, E. (2020). Low-cost measurement of face mask efficacy for filtering expelled droplets during speech. *Science Advances*, 6(36), S. eabd3083. <https://doi.org/doi:10.1126/sciadv.abd3083>
- Flachowsky, G., Schafft, H., & Meyer, U. (2012). Animal feeding studies for nutritional and safety assessments of feeds from genetically modified plants: a review. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit*, 7(3), S. 179-194. <https://doi.org/10.1007/s00003-012-0777-9>
- Foley, J. A., Defries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., Gibbs, H. K., Helkowski, J. H., Holloway, T., Howard, E. A., Kucharik, C. J., Monfreda, C., Patz, J. A., Prentice, I. C., Ramankutty, N., & Snyder, P. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), S. 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Foster, M., Chu, A., Petocz, P., & Samman, S. (2013). Effect of vegetarian diets on zinc status: a systematic review and meta-analysis of studies in humans. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(10), S. 2362-2371. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6179>
- Fox, N., & Ward, K. (2008). Health, ethics and environment: a qualitative study of vegetarian motivations. *Appetite*, 50(2-3), S. 422-429. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2007.09.007>
- Franke, N. M. (2017). *Naturschutz – Landschaft – Heimat: Romantik als eine Grundlage des Naturschutzes in Deutschland*. Wiesbaden: Springer VS. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-14835-5>
- Fraser, G. E. (1999). Associations between diet and cancer, ischemic heart disease, and all-cause mortality in non-Hispanic white California Seventh-day Adventists. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(3 Suppl), S. 532S-538S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/70.3.532s>
- Frezal, C., Nenert, C., & Gay, H. (2022). Meat protein alternatives: opportunities and challenges for food systems' transformation. *OECD Food, Agriculture und Fisheries*, 182. <https://doi.org/10.1787/387d30cf-en>
- Frieman, M., & Baric, R. (2008). Mechanisms of severe acute respiratory syndrome pathogenesis and innate immunomodulation. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 72(4), S. 672-685, Table of Contents. <https://doi.org/10.1128/MMBR.00015-08>
- Frome, P. M., & Eccles, J. S. (1998). Parents' influence on children's achievement-related perceptions. *Journal of Personality and Social Psychology*, 74, S. 435-452. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.74.2.435>
- Gallotti, R., Valle, F., Castaldo, N., Sacco, P., & De Domenico, M. (2020). Assessing the risks of 'infodemics' in response to COVID-19 epidemics. *Nature Human Behaviour*, 4(12), S. 1285-1293. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-00994-6>
- Galloway, J. N., Townsend, A. R., Erismann, J. W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J. R., Martinelli, L. A., Seitzinger, S. P., & Sutton, M. A. (2008). Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science*, 320(5878), S. 889-892. <https://doi.org/10.1126/science.1136674>
- Generalversammlung der Vereinten Nationen. (2015). *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. New York: Vereinte Nationen (UN)

- GfK. (2016). *Immer schön flexibel bleiben. Consumer Index*. GfK (Gesellschaft für Konsumforschung).
- GHO. (2023). *Prevalence of overweight among adults, BMI \geq 25 (age-standardized estimate) (%)*. The Global Health Observatory (GHO). Abgerufen am 13.04.2023 von [https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/prevalence-of-overweight-among-adults-bmi-25-\(age-standardized-estimate\)-\(-\)](https://www.who.int/data/gho/data/indicators/indicator-details/GHO/prevalence-of-overweight-among-adults-bmi-25-(age-standardized-estimate)-(-))
- Giljum, S., Lutter, S., Bruckner, M., & Aparcana, S. (2013). *State-of-play of National Consumption Based Indicators*. SERI (Sustainable Europe Research Institute). Wien.
- Gilsing, A. M., Crowe, F. L., Lloyd-Wright, Z., Sanders, T. A., Appleby, P. N., Allen, N. E., & Key, T. J. (2010). Serum concentrations of vitamin B12 and folate in British male omnivores, vegetarians and vegans: results from a cross-sectional analysis of the EPIC-Oxford cohort study. *European Journal of Clinical Nutrition*, 64(9), S. 933-939. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2010.142>
- Gläser-Zikuda, M., Hofmann, F., & Frederking, V. (Eds.). (2022). *Emotionen im Unterricht. Psychologische, pädagogische und fachdidaktische Perspektiven*. 1. Auflage. Verlag W. Kohlhammer. http://www.kohlhammer.de/wms/instances/KOB/appDE/nav_product.php?product=978-3-17-036306-9.
- Glowinski, I. (2007). *Schülerlabore im Themenbereich Mikrobiologie als Interesse fördernde Lernumgebungen [Dissertation]*. Universität Kiel.
- Godos, J., Bella, F., Sciacca, S., Galvano, F., & Grosso, G. (2017). Vegetarianism and breast, colorectal and prostate cancer risk: an overview and meta-analysis of cohort studies. *Journal of Human Nutrition Dietetics*, 30(3), S. 349-359. <https://doi.org/10.1111/jhn.12426>
- Goon, M. (2011). Peacekeeping the Game. *International Studies Perspectives*, 12(3), S. 250-272. <https://doi.org/10.1111/j.1528-3585.2011.00431.x>
- Gorbalenya, A. E., Baker, S. C., Baric, R. S., de Groot, R. J., Drosten, C., Gulyaeva, A. A., Haagmans, B. L., Lauber, C., Leontovich, A. M., Neuman, B. W., Penzar, D., Perlman, S., Poon, L. L. M., Samborskiy, D. V., Sidorov, I. A., Sola, I., Ziebuhr, J., & Coronaviridae Study Group of the International Committee on Taxonomy of, V. (2020). The species Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: classifying 2019-nCoV and naming it SARS-CoV-2. *Nature Microbiology*, 5(4), S. 536-544. <https://doi.org/10.1038/s41564-020-0695-z>
- Government of India. (2014). *Sample registration system baseline survey 2014*. Neu Delhi.
- Gräber, W. (2002). „Scientific Literacy“ - Naturwissenschaftliche Bildung in der Diskussion. In Peter Döbrich (Hrsg.), *Qualitätsentwicklung in naturwissenschaftlichen Unterricht. Fachtagung am 15. Dezember 1999*. Frankfurt am Main: Gesellschaft zur Förderung Pädagogischer Forschung e.V. <https://doi.org/https://doi.org/10.25656/01:3443>
- Grave, H. (2015). *Motivationale Aspekte im Schülerlabor Explain-OS - Eine quantitative Evaluationsstudie [Masterarbeit]*. Universität Osnabrück.
- Greenhouse, S. W., & Geisser, S. (1959). On methods in the analysis of profile data. *Psychometrika*, 24, S. 95-112.
- Grunenberg, H., & Kuckartz, U. (2003). *Umweltbewusstsein im Wandel: Ergebnisse der UBA-Studie Umweltbewusstsein in Deutschland 2002*. Opladen: Leske + Budrich.
- Guderian, P. (2007). *Wirksamkeitsanalyse außerschulischer Lernorte. Der Einfluss mehrmaliger Besuche eines Schülerlabors auf die Entwicklung des Interesses an Physik [Dissertation]* Humboldt-Universität zu Berlin.
- Guenther, P. M., Casavale, K. O., Reedy, J., Kirkpatrick, S. I., Hiza, H. A., Kuczynski, K. J., Kahle, L. L., & Krebs-Smith, S. M. (2013). Update of the Healthy Eating Index: HEI-2010. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 113(4), S. 569-580. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2012.12.016>
- Guglielmi, G. (2020). Fast coronavirus tests: what they can and can't do. *Nature*, 585(7826), S. 496-498. <https://doi.org/https://doi.org/10.1038%2F41586-020-02661-2>

- Gunstone, F. D., Harwood, J. L., & Padley, F. B. (1994). *The Lipid Handbook*. 2. Auflage. London: Chapman & Hall. <https://books.google.de/books?id=m9J9pTDZEGEC>
- Ha, L., Andreu Perez, L., & Ray, R. (2019). Mapping Recent Development in Scholarship on Fake News and Misinformation, 2008 to 2017: Disciplinary Contribution, Topics, and Impact. *American Behavioral Scientist*, 65(2), S. 290-315. <https://doi.org/10.1177/0002764219869402>
- Haddad, E. H., Sabate, J., & Whitten, C. G. (1999). Vegetarian food guide pyramid: a conceptual framework. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 70(3 Suppl), S. 615S-619S. <https://doi.org/10.1093/ajcn/70.3.615s>
- Hahn, A., Ströhle, A., Wolters, M., Behrendt, I., & Heinen, D. (2016). *Ernährung. Physiologische Grundlagen, Prävention, Therapie*. 3. Auflage. Stuttgart: Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft.
- Hamilton, J. A. (1981). Attention, Personality, and the Self-Regulation of Mood: Absorbing Interest and Boredom. *Progress in Experimental Personality Research*, 10, S. 281-315.
- Harlow, H. F. (1958). The nature of love. *American Psychologist*, 13(12), S. 673-685. <https://doi.org/10.1037/h0047884>
- Hartings, M. R., & Fahy, D. (2011). Communicating chemistry for public engagement. *Nature Chemistry*, 3(9), S. 674-677. <https://doi.org/10.1038/nchem.1094>
- Harvey, W. T., Carabelli, A. M., Jackson, B., Gupta, R. K., Thomson, E. C., Harrison, E. M., Ludden, C., Reeve, R., Rambaut, A., Peacock, S. J., Robertson, D. L., & Consortium, C.-G. U. (2021). SARS-CoV-2 variants, spike mutations and immune escape. *Nature Reviews Microbiology*, 19(7), S. 409-424. <https://doi.org/10.1038/s41579-021-00573-0>
- Haug, N., Geyrhofer, L., Londei, A., Dervic, E., Desvars-Larrive, A., Loreto, V., Pinior, B., Thurner, S., & Klimek, P. (2020). Ranking the effectiveness of worldwide COVID-19 government interventions. *Nature Human Behaviour*, 4(12), S. 1303-1312. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-01009-0>
- Haupt, O., Domjahn, J., Martin, U., Skiebe-Corrette, P., Vorst, S., Zehren, W., & Hempelmann, R. (2013). Schülerlabor - Begriffschärfung und Kategorisierung. *MNU Journal*, 66(6), S. 324-330.
- Haupt, O., & Hempelmann, R. (2013). Schülerlabor Kategorien: Das Klassische Schülerlabor. In LernortLabor (Hrsg.), *LeLa magazin* (S. 4). Stuttgart: Klett.
- Häusler, K. (1976). Lern- und bildungstheoretische Grundlagen des Chemieunterrichts. In F. Bukatsch, W. Glöckner, & Kotter L. (Hrsg.), *Fachdidaktisches Studium in der Lehrerbildung - Chemie* (S. 53-67). München: Oldenbourg.
- He, X., Su, J., Ma, Y., Zhang, W., & Tang, S. (2022). A comprehensive analysis of the efficacy and effectiveness of COVID-19 vaccines. *Frontiers in Immunology*, 13, S. 945930. <https://doi.org/10.3389/fimmu.2022.945930>
- Heaton, J. C., & Jones, K. (2008). Microbial contamination of fruit and vegetables and the behaviour of enteropathogens in the phyllosphere: a review. *Journal of Applied Microbiology*, 104(3), S. 613-626. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2007.03587.x>
- Heckhausen, H., & Rheinberg, F. (1980). Lernmotivation im Unterricht, erneut betrachtet. *Unterrichtswissenschaft*, 8(1), S. 7-47. Bibl. http://www.digizeitschriften.de/dms/img/?PPN=PPN513613439_0008&DMDID=dmdlog12
- Heinrich Böll Stiftung, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland, & Le Mond Diplomatie. (2021). *Fleischatlas 2021: Daten und Fakten über Tiere als Nahrungsmittel*. Heinrich Böll Stiftung.
- Heinz, F. X., & Stiasny, K. (2020). Profile of SARS-CoV-2. *Wiener klinische Wochenschrift*, 132(21), S. 635-644. <https://doi.org/10.1007/s00508-020-01763-1>

- Heinz, F. X., & Stiasny, K. (2021). Distinguishing features of current COVID-19 vaccines: knowns and unknowns of antigen presentation and modes of action. *npj Vaccines*, 6(1), S. 104. <https://doi.org/10.1038/s41541-021-00369-6>
- Heinzerling, P. (2021). Lars Otte & Marco Beeken: Corona zwischen Mythos und Wissenschaft: Mit Tonic Water & Co. In 13 Experimenten die Pandemie verstehen. *Chemkon*, 28(3), S. 139-139. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100014>
- Heißenhuber, A., Haber, W., & Krämer, C. (2015). *Umweltprobleme der Landwirtschaft*. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.
- Herpertz, S., de Zwaan, M., & Zipfel, S. (2022). *Handbuch Essstörungen und Adipositas*. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-63544-5>
- Herrmann, W., Schorr, H., Obeid, R., & Geisel, J. (2003). Vitamin B-12 status, particularly holotranscobalamin II and methylmalonic acid concentrations, and hyperhomocysteinemia in vegetarians. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 78(1), S. 131-136. <https://doi.org/10.1093/ajcn/78.1.131>
- Hoekstra, A. Y. (2003). *Virtual Water Trade - Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade* (Value of Water Research Report Series No. 12, A.Y. Hoekstra). UNESCO-IHE Institute for Water Education. Delft.
- Hoekstra, A. Y. (2012). The hidden water resource use behind meat and dairy. *Animal Frontiers*, 2(2), S. 3-8. <https://doi.org/10.2527/af.2012-0038>
- Hoekstra, A. Y. (2016). A critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. *Ecological Indicators*, 66, S. 564-573. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.02.026>
- Hoekstra, A. Y., & Hung, P. Q. (2002). *A Quantification of Virtual Water Flows between Nations in Relation to International Crop Trade* (Value of Water Research Report Series No. 11, A.Y. Hoekstra & P.Q. Hung). UNESCO-IHE Institute for Water Education. Delft.
- Hoffman, S. R., Stallings, S. F., Bessinger, R. C., & Brooks, G. T. (2013). Differences between health and ethical vegetarians. Strength of conviction, nutrition knowledge, dietary restriction, and duration of adherence. *Appetite*, 65, S. 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2013.02.009>
- Holick, M. F. (2006). Resurrection of vitamin D deficiency and rickets. *Journal of Clinical Investigation*, 116(8), S. 2062-2072. <https://doi.org/10.1172/JCI29449>
- Holmberg, K. (2023). Surfactants. In *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (S. 1-56). Hoboken: Wiley. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/14356007.a25_747.pub2
- Holstermann, N., & Bögeholz, S. (2007). Interesse von Jungen und Mädchen an naturwissenschaftlichen Themen am Ende der Sekundarstufe I. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 13, S. 79-86.
- Holzapfel, B., & Wickert, L. (2007). Die quantitative Real-Time-PCR (qRT-PCR). Methoden und Anwendungsgebiete. *Biologie in unserer Zeit*, 37(2), S. 120-126. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/biuz.200610332>
- Hooda, P. S., Edwards, A. C., Anderson, H. A., & Miller, A. (2000). A review of water quality concerns in livestock farming areas. *Science of the Total Environment*, 250(1-3), S. 143-167. [https://doi.org/10.1016/s0048-9697\(00\)00373-9](https://doi.org/10.1016/s0048-9697(00)00373-9)
- Hopp, M., Keller, T., Lange, S., Epp, A., Lohmann, M., & Böhl, G.-F. (2017). *Vegane Ernährung als Lebensstil: Motive und Praktizierung*. BfR Wissenschaft. Berlin.
- Hosonuma, N., Herold, M., De Sy, V., De Fries, R. S., Brockhaus, M., Verchot, L., Angelsen, A., & Romijn, E. (2012). An assessment of deforestation and forest degradation drivers in developing countries. *Environmental Research Letters*, 7(4). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/7/4/044009>

- Houghton, R. A., & Hackler, J. L. (2001). *Carbon flux to the atmosphere from land-use changes: 1850 to 1990*. Carbon Dioxide Information Analysis Center. Oak Ridge.
- Huang, C., Wang, Y., Li, X., Ren, L., Zhao, J., Hu, Y., Zhang, L., Fan, G., Xu, J., Gu, X., Cheng, Z., Yu, T., Xia, J., Wei, Y., Wu, W., Xie, X., Yin, W., Li, H., Liu, M., . . . Cao, B. (2020). Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *The Lancet*, 395(10223), S. 497-506. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)30183-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)30183-5)
- Huber, J., & Keller, M. (2017). *Ernährungsphysiologische Bewertung von konventionell und ökologisch erzeugten vegetarischen und veganen Fleisch- und Wurstalternativen*. Studie im Auftrag der Albert Schweitzer Stiftung. https://files.albert-schweitzer-stiftung.de/1/fleischalternativenstudie_170320.pdf
- Hülsmann, C. (2015). *Kurswahlmotive im Fach Chemie. Eine Studie zum Wahlverhalten und Erfolg von Schülerinnen und Schülern in der gymnasialen Oberstufe*. 195. Auflage. Berlin: Logos Verlag.
- Huwer, J. (2015). *Forschendes Experimentieren im Kontext einer naturwissenschaftlich-technischen Umweltbildung [Dissertation]*. Universität des Saarlandes.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis* (Climate Change 2007, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M. Tignor, H. Miller Jr., & Z. Chen). Cambridge University Press. Cambridge, New York, Melbourne, Madrid, Cape Town, Singapore, São Paulo, Delhi.
- IPCC. (2014). *Klimaänderung 2014: Synthesebericht. Beitrag der Arbeitsgruppen I, II und III zum Fünften Sachstandsbericht des Zwischenstaatlichen Ausschusses für Klimaänderungen (IPCC)*, R.K. Pachauri & L.A. Meyer). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Genf.
- IPCC. (2021). The Physical Science Basis. In V. Delmotte-Masson, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, J.B.R. Matthews, S. Berger, M. Huang, O. Yelekci, R. Yu, B. Zhou, E. Lonnoy, T.K. Maycock, T. Waterfield, K. Leitzell, & N. Caud (Hrsg.), *The Physical Science Basis*. Genf: Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- IPCC, Arias, P. A., Bellouin, N., Coppola, E., Jones, R. G., Krinner, G., Marotzke, J., Naik, V., Palmer, M. D., Plattner, G.-K., Rogelij, J., Rojas, M., Sillmann, J., Storelvmo, T., Thorne, P. W., Trewin, B., Achuta Rao, K., Adhikary, B., Allan, R. P., . . . Zickfeld, K. (2021). 2021: Technical Summary. In V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekci, R. Yu, & B. Zhou (Hrsg.), *Climate Change 2021: The Physical Science Basis* (S. 33-144). Cambridge, New York: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.002>
- Isen, A. M., Niedenthal, P. M., & Cantor, N. (1992). An influence of positive affect on social categorization. *Motivation and Emotion*, 16(1), S. 65-78. <https://doi.org/10.1007/bf00996487>
- Itzek-Greulich, H., Flunger, B., Vollmer, C., Nagengast, B., Rehm, M., & Trautwein, U. (2015). Effects of a science center outreach lab on school students' achievement – Are student lab visits needed when they teach what students can learn at school? *Learning and Instruction*, 38, S. 43-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2015.03.003>
- Jakobs, I., Grimm, F., Keppner, L., & Hilliges, F. (2020). *Nitratbericht 2020*. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) & Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt. Bonn.
- Jansen, C. (2021). *Entwicklung eines Schülerlaborsettings im Rahmen des GreenLab_OS zum Thema „Corona und Covid-19“ unter besonderer Berücksichtigung chemisch-physikalischer Aspekte [Masterarbeit]*. Osnabrück: Universität Osnabrück, Institut für Chemie neuer Materialien.
- Johnson, N., Sparks, G., & Sparks, C. (2022). Anti-scientific beliefs predict health behaviors during the COVID-19 pandemic. *Journal of Science Communication*, 21(03). <https://doi.org/10.22323/2.21030204>
- Kasper, H., & Walter, B. (2020). *Ernährungsmedizin und Diätetik*. 13. Auflage. München: Urban & Fischer.

- Ke, Z., Oton, J., Qu, K., Cortese, M., Zila, V., McKeane, L., Nakane, T., Zivanov, J., Neufeldt, C. J., Cerikan, B., Lu, J. M., Peukes, J., Xiong, X., Kräusslich, H.-G., Scheres, S. H. W., Bartenschlager, R., & Briggs, J. A. G. (2020). Structures and distributions of SARS-CoV-2 spike proteins on intact virions. *Nature*, 588(7838), S. 498-502. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2665-2>
- Killday, K. B., Tempesta, M. S., Bailey, M. E., & Metral, C. J. (2002). Structural characterization of nitrosylhemochromogen of cooked cured meat: implications in the meat-curing reaction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 36(5), S. 909-914. <https://doi.org/10.1021/jf00083a006>
- Kissinger, G., Herold, M., & De Sy, V. (2012). *Drivers of deforestation and forest degradation: a synthesis report for REDD+ policymakers*. Vancouver, British Columbia, Canada: Lexeme Consulting.
- KMK. (2005). *Bildungsstandards der Kultusministerkonferenz - Erläuterungen zur Konzeption und Entwicklung*. Sekretariat der Ständigen Konferenz der Kultusminister der Länder in der Bundesrepublik Deutschland (Hrsg.). München, Neuwied: Luchterhand.
- KMK. (2020). *Bildungsstandards im Fach Chemie für die Allgemeine Hochschulreife*. KMK (Kultusministerkonferenz).
- Kniskern, M. A., & Johnston, C. S. (2011). Protein dietary reference intakes may be inadequate for vegetarians if low amounts of animal protein are consumed. *Nutrition*, 27(6), S. 727-730. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2010.08.024>
- Koballa, T., Kemp, A., & Evans, R. (1997). The Spectrum of Scientific Literacy: An in-depth look at what it means to be scientifically literate. *The Science Teacher*, 64(7), S. 27-31. <http://www.jstor.org/stable/24152316>
- Köller, O., Daniels, Z., Schnabel, K. U., & Baumert, J. (2000). Kurswahlen von Mädchen und Jungen im Fach Mathematik: Zur Rolle von fachspezifischem Selbstkonzept und Interesse. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 14(1), S. 26-37. <https://doi.org/10.1024//1010-0652.14.1.26>
- Kornsteiner, M., Singer, I., & Elmadfa, I. (2008). Very low n-3 long-chain polyunsaturated fatty acid status in Austrian vegetarians and vegans. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 52(1), S. 37-47. <https://doi.org/10.1159/000118629>
- Korte, T., Otte, L., Amel, H., & Beeken, M. (2023). "Burger.i.doo"-An Innovative Education Game for the Assessment of Sustainability from Meat and Substitute Products in Science Education. *Sustainability*, 15(1). <https://doi.org/ARTN 21310.3390/su15010213>
- Krajcovicova-Kudlackova, M., Blazicek, P., Kopcova, J., Bederova, A., & Babinska, K. (2000). Homocysteine levels in vegetarians versus omnivores. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 44(3), S. 135-138. <https://doi.org/10.1159/000012827>
- Krapp, A. (1992). Das Interessenkonstrukt. Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus Sicht einer Person-Gegenstands-Konzeption. In Andreas Krapp & Manfred Prenzel (Hrsg.), *Interesse, Lernen, Leistung. Neuere Ansätze einer pädagogisch-psychologischen Interessenforschung* (S. 297-327). Münster: Aschendorff.
- Krapp, A. (1999a). Interest, motivation and learning: An educational-psychological perspective. *European Journal of Psychology of Education*, 14(1), S. 23-40. <https://doi.org/10.1007/BF03173109>
- Krapp, A. (1999b). Intrinsische Lernmotivation und Interesse. Forschungsansätze und konzeptuelle Überlegungen. *Zeitschrift für Pädagogik*, 45(3), S. 378-406. <https://doi.org/https://doi.org/10.25656/01:5958>
- Krapp, A. (2018). Interesse. In D. Rost, J.R. Sparfeld, & R. Buch (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (5. Auflage, S. 286-297). Weinheim: Beltz PVU.
- Krebs-Smith, S. M., Pannucci, T. E., Subar, A. F., Kirkpatrick, S. I., Lerman, J. L., Tooze, J. A., Wilson, M. M., & Reedy, J. (2018). Update of the Healthy Eating Index: HEI-2015. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(9), S. 1591-1602. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.05.021>

- Kreienhop, N., & Beeken, M. (2022). Nachhaltige Unterrichtsvorschläge zur (Mikro)-Plastikproblematik. *Chemie in unserer Zeit*, 57(1), S. 56-62. <https://doi.org/10.1002/ciuz.202100031>
- Kristensen, N. B., Madsen, M. L., Hansen, T. H., Allin, K. H., Hoppe, C., Fagt, S., Lausten, M. S., Gobel, R. J., Vestergaard, H., Hansen, T., & Pedersen, O. (2015). Intake of macro- and micronutrients in Danish vegans. *Nutrition Journal*, 14, S. 115. <https://doi.org/10.1186/s12937-015-0103-3>
- Krumpal, I. (2011). Determinants of social desirability bias in sensitive surveys: a literature review. *Quality & Quantity*, 47(4), S. 2025-2047. <https://doi.org/10.1007/s11135-011-9640-9>
- Kumar, S., Nyodu, R., Maurya, V. K., & Saxena, S. K. (2020). Morphology, Genome Organization, Replication, and Pathogenesis of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2). In Shailendra K. Saxena (Hrsg.), *Coronavirus Disease 2019 (COVID-19)* (S. 23-31). Singapur: Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4814-7_3
- Kurzgesagt - In a Nutshell. (2023). *Kurzgesagt - In a Nutshell - YouTube Kanal*. Abgerufen am 24.07.2023 von <https://www.youtube.com/@kurzgesagt>
- Lamers, M. M., Beumer, J., van der Vaart, J., Knoops, K., Puschhof, J., Breugem, T. I., Ravelli, R. B. G., Paul van Schayck, J., Mykytyn, A. Z., Duimel, H. Q., van Donselaar, E., Riesebosch, S., Kuijpers, H. J. H., Schipper, D., van de Wetering, W. J., de Graaf, M., Koopmans, M., Cuppen, E., Peters, P. J., . . . Clevers, H. (2020). SARS-CoV-2 productively infects human gut enterocytes. *Science*, 369(6499), S. 50-54. <https://doi.org/doi:10.1126/science.abc1669>
- Larson, R. W., & Richards, M. H. (1991). Boredom in the Middle School Years: Blaming Schools versus Blaming Students. *American Journal of Education*, 99(4), S. 418-443. <https://doi.org/10.1086/443992>
- Larsson, C. L., & Johansson, G. K. (2002). Dietary intake and nutritional status of young vegans and omnivores in Sweden. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), S. 100-106. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.100>
- Lashof, D. A., & Ahuja, D. R. (1990). Relative contributions of greenhouse gas emissions to global warming. *Nature*, 344(6266), S. 529-531. <https://doi.org/10.1038/344529a0>
- Lauren, H., Lutz, C., Wallon, R. C., & Hug, B. (2016). Integrating the Dimensions of NGSS within a Collaborative Board Game about Honey Bees. *The American Biology Teacher*, 78(9), S. 755-763. <https://doi.org/10.1525/abt.2016.78.9.755>
- Law, V., & Chen, C.-H. (2016). Promoting science learning in game-based learning with question prompts and feedback. *Computers & Education*, 103, S. 134-143. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.10.005>
- Lee, C. S., Bishop, E. S., Zhang, R., Yu, X., Farina, E. M., Yan, S., Zhao, C., Zheng, Z., Shu, Y., Wu, X., Lei, J., Li, Y., Zhang, W., Yang, C., Wu, K., Wu, Y., Ho, S., Athiviraham, A., Lee, M. J., . . . He, T. C. (2017). Adenovirus-Mediated Gene Delivery: Potential Applications for Gene and Cell-Based Therapies in the New Era of Personalized Medicine. *Genes & Diseases*, 4(2), S. 43-63. <https://doi.org/10.1016/j.gendis.2017.04.001>
- Lee, S., Kim, T., Lee, E., Lee, C., Kim, H., Rhee, H., Park, S. Y., Son, H.-J., Yu, S., Park, J. W., Choo, E. J., Park, S., Loeb, M., & Kim, T. H. (2020). Clinical Course and Molecular Viral Shedding Among Asymptomatic and Symptomatic Patients With SARS-CoV-2 Infection in a Community Treatment Center in the Republic of Korea. *JAMA Internal Medicine*, 180(11), S. 1447-1452. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2020.3862>
- Leitzmann, C. (2014). Vegetarian nutrition: past, present, future. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100(1), S. 496-502. <https://doi.org/10.3945/ajcn.113.071365>
- Leitzmann, C., & Keller, M. (2020). *Vegetarische und vegane Ernährung*. Ulmer. <https://elibrary.utb.de/doi/abs/10.36198/9783838550237>

- LernortLabor. (2023). *Schülerlabor-Atlas*. LernortLabor - Bundesverband der Schülerlabore e.V. <https://www.schuelerlabor-atlas.de/home>
- Li, D., Ball, M., Bartlett, M., & Sinclair, A. (1999). Lipoprotein(a), essential fatty acid status and lipoprotein lipids in female Australian vegetarians. *Clinical Science*, 97(2), S. 175-181.
- Lima, M. M. S., Cavalcante, F. M. L., Macêdo, T. S., Galindo Neto, N. M., Caetano, J., & Barros, L. M. (2020). Cloth face masks to prevent Covid-19 and other respiratory infections. *Revista Latino-Americana de Enfermagem*, 28, S. e3353. <https://doi.org/10.1590/1518-8345.4537.3353>
- Linnemann, M. (2017). *Entwicklung eines Projekttages für Schülerinnen und Schüler der Klassenstufen 10-11 zum Thema „Aluminium in Deos - Fluch oder Segen?“* [Bachelorarbeit]. Osnabrück: Universität Osnabrück, Institut für Chemie neuer Materialien.
- Liu, Y., Li, T., Deng, Y., Liu, S., Zhang, D., Li, H., Wang, X., Jia, L., Han, J., Bei, Z., Li, L., & Li, J. (2021). Stability of SARS-CoV-2 on environmental surfaces and in human excreta. *Journal of Hospital Infection*, 107, S. 105-107. <https://doi.org/10.1016/j.jhin.2020.10.021>
- Liu, Y., & Rocklov, J. (2022). The effective reproductive number of the Omicron variant of SARS-CoV-2 is several times relative to Delta. *Journal of Travel Medicine*, 29(3). <https://doi.org/10.1093/jtm/taac037>
- Lüsse, M., Brockhage, F., Pietzner, V., & Beeken, M. (2020). Nachhaltige Unterrichtsvorschläge zur Stickstoffproblematik. *Chemie in unserer Zeit*, 55(3), S. 186-191. <https://doi.org/10.1002/ciuz.202000005>
- MacIntyre, C. R., & Chughtai, A. A. (2020). A rapid systematic review of the efficacy of face masks and respirators against coronaviruses and other respiratory transmissible viruses for the community, healthcare workers and sick patients. *International Journal of Nursing Studies*, 108, S. 103629. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2020.103629>
- Maillard, J.-Y., Sattar, S. A., & Pinto, F. (2013). Virucidal Activity of Microbicides. In A.P. Fraiese, Jean-Yves Maillard, & Syed A. Sattar (Hrsg.), *Russell, Hugo & Ayliffe's: Principles and Practice of Disinfection, Preservation and Sterilization* (S. 178-207). Oxford, UK: Wiley-Blackwell. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/9781118425831.ch9>
- Majchrzak, D., Singer, I., Manner, M., Rust, P., Genser, D., Wagner, K. H., & Elmadfa, I. (2006). B-vitamin status and concentrations of homocysteine in Austrian omnivores, vegetarians and vegans. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 50(6), S. 485-491. <https://doi.org/10.1159/000095828>
- Mann, N., Pirotta, Y., O'Connell, S., Li, D., Kelly, F., & Sinclair, A. (2006). Fatty acid composition of habitual omnivore and vegetarian diets. *Lipids*, 41(7), S. 637-646. <https://doi.org/10.1007/s11745-006-5014-9>
- Marco-Franco, J. E., Pita-Barros, P., Vivas-Orts, D., González-de-Julián, S., & Vivas-Consuelo, D. (2021). COVID-19, Fake News, and Vaccines: Should Regulation Be Implemented? *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(2), S. 744. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/ijerph18020744>
- Markus, H., & Kunda, Z. (1986). Stability and malleability of the self-concept. *Journal of Personality and Social Psychology*, 51, S. 858-866. <https://doi.org/10.1037/0022-3514.51.4.858>
- Marsh, H. W., & Hattie, J. (1996). Theoretical perspectives on the structure of self-concept. In *Handbook of self-concept: Developmental, social, and clinical considerations*. (S. 38-90). Oxford, England: John Wiley & Sons.
- Marsh, H. W., Trautwein, U., Ludtke, O., Koller, O., & Baumert, J. (2005). Academic self-concept, interest, grades, and standardized test scores: reciprocal effects models of causal ordering. *Child Development*, 76(2), S. 397-416. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8624.2005.00853.x>
- Martin, D. W. (1986). Fettlösliche Vitamine. In *Medizinische Biochemie* (19. Auflage, S. 134-143). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-07733-7>

- Matissek, R. (2019). *Lebensmittelchemie*. 9. Auflage. Berlin: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-59669-2>
- Matissek, R., Fischer, M., & Steiner, G. (2018). *Lebensmittelanalytik*. 6. Auflage. Berlin: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55722-8>
- Matuschek, I. (1999). *Zeit und Devianz: Zeitorientierung, Langeweile und abweichendes Verhalten bei Jugendlichen [Dissertation]*. Humboldt Universität Berlin.
- McCullough, M. L., Feskanich, D., Stampfer, M. J., Giovannucci, E. L., Rimm, E. B., Hu, F. B., Spiegelman, D., Hunter, D. J., Colditz, G. A., & Willett, W. C. (2002). Diet quality and major chronic disease risk in men and women: moving toward improved dietary guidance. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(6), S. 1261-1271. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.6.1261>
- McMahon, N. F., Brooker, P. G., Pavey, T. G., & Leveritt, M. D. (2022). Nitrate, nitrite and nitrosamines in the global food supply. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, S. 1-22. <https://doi.org/10.1080/10408398.2022.2124949>
- Meese, J., Frith, J., & Wilken, R. (2020). COVID-19, 5G conspiracies and infrastructural futures. *Media International Australia*, 177(1), S. 30-46. <https://doi.org/10.1177/1329878x20952165>
- Meister, E. (2012). *Grundpraktikum Physikalische Chemie*. 2. Auflage. Zürich: vdf Hochschulverlage an der ETH Zürich.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2010). *The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products* (Value of Water Research Report Series No. 48. UNESCO-IHE Institute for Water Education. Delft.
- Menold, N., & Bogner, K. (2015). *Gestaltung und Ratingskalen in Fragebögen*. GESIS - Leibniz-Institut für Sozialwissenschaften. Mannheim.
- Mensink, G., Barbosa, C. L., & Brettschneider, A.-K. (2016). Verbreitung der vegetarischen Ernährungsweise in Deutschland. In (Vol. 1): Robert Koch-Institut, Epidemiologie und Gesundheitsberichterstattung.
- Merck Supelco. (2021). MQuant® Phosphate Test - Bedienungsanleitung. In. Darmstadt: Merck KGaA.
- Merzyn, G. (2008). *Naturwissenschaften, Mathematik, Technik - immer unbeliebter? Die Konkurrenz von Schulfächern um das Interesse der Jugend im Spiegel vielfältiger Untersuchungen*. Baltmannsweiler: Schneider Hohengehren.
- Millar, S. J., Moss, B. W., & Stevenson, M. H. (1996). Some observations on the absorption spectra of various myoglobin derivatives found in meat. *Meat Science*, 42(3), S. 277-288. [https://doi.org/10.1016/0309-1740\(94\)00045-x](https://doi.org/10.1016/0309-1740(94)00045-x)
- MINT-Nachhaltigkeitsbildung. (2023). *MINT-nb*. <http://www.mint-nachhaltigkeitsbildung.de>
- Mitchell, M. (1993). Situational Interest - Its Multifaceted Structure in the Secondary-School Mathematics Classroom. *Journal of Educational Psychology*, 85(3), S. 424-436. <https://doi.org/10.1037/0022-0663.85.3.424>
- Möller, J., Pohlmann, B., Köller, O., & Marsh, H. W. (2009). A Meta-Analytic Path Analysis of the Internal/External Frame of Reference Model of Academic Achievement and Academic Self-Concept. *Review of Educational Research*, 79(3), S. 1129-1167. <https://doi.org/10.3102/0034654309337522>
- Möller, J., & Trautwein, U. (2009). Selbstkonzept. In E. Wild & J. Möller (Hrsg.), *Pädagogische Psychologie* (S. 179-203). Berlin, Heidelberg: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-88573-3_8
- Montzka, S. A., Dlugokencky, E. J., & Butler, J. H. (2011). Non-CO2 greenhouse gases and climate change. *Nature*, 476(7358), S. 43-50. <https://doi.org/10.1038/nature10322>

- Morawska, L., & Cao, J. (2020). Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. *Environment International*, 139, S. 105730. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105730>
- Morawska, L., Johnson, G. R., Ristovski, Z. D., Hargreaves, M., Mengersen, K., Corbett, S., Chao, C. Y. H., Li, Y., & Katoshevski, D. (2009). Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science*, 40(3), S. 256-269. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2008.11.002>
- Moritz, O. S. (2021). Scheme of a lateral flow immunoassay with antibody-antigen-antibody sandwich configuration. In: www.commonswikimedia.org. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Lateral_flow_immunoassay_-_general_layout.svg. [Abbildung]
- Mortimer, C. E., & Müller, U. (2019). *Chemie: Das Basiswissen der Chemie*. 13. Auflage. Stuttgart: Thieme.
- Mortimer, J. T., Finch, M. D., & Kumka, D. (1982). Persistence and change in development: The multidimensional self-concept. In P.B. Baltes & O.G. Brim (Hrsg.), *Life-span development and behavior* (Vol. 4, S. 263-313). New York: Academic Press.
- Moschner, B. (2001). Selbstkonzept. In D. Rost (Hrsg.), *Handwörterbuch Pädagogische Psychologie* (S. 629-634). Weinheim: Beltz.
- MRI. (2008). *Nationale Verzehrsstudie II (Ergebnisbericht Teil 2)*. MRI (Max Rubner-Institut) & Bundesforschungsinstitut für Ernährung und Lebensmittel. Karlsruhe.
- Mukherjee, S., Mishra, A., & Trenberth, K. E. (2018). Climate Change and Drought: a Perspective on Drought Indices. *Current Climate Change Reports*, 4(2), S. 145-163. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0098-x>
- Müller, F. (o.J.). Vorrangmodell der Nachhaltigkeit. www.zukunft-selbermachen.de. [Abbildung]
- Mundipharma. (2023). *Betaisodona Lösung*. Abgerufen am 02.06. von <https://betaisodona.de/wundversorgung/produkte/betaisodona-loesung>
- Myers, D. G. (2014). *Psychologie*. Berlin, Heidelberg: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-40782-6>
- Myhre, G., Shindell, D., Bréon, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., Doch, D., Lamarque, J.-F., Lee, D., Mendoza, B., Najakima, T., Robock, A., Stephens, G., Takemura, T., & Zhang, H. (2014). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Doschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, & P.M. Midgley (Hrsg.), *Climate Change 2013 – The Physical Science Basis* (S. 659-740). Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107415324.018>
- NDR Info. (2023). In *Das Coronavirus-Update von NDR Info*. <https://www.ndr.de/nachrichten/info/podcast4684.html>
- Nelson, D. L., & Cox, M. M. (2021). *Lehninger Principles of Biochemistry (International Edition)*. 8. Auflage. New York: W. H. Freeman & Company. <http://ebookcentral.proquest.com/lib/osna/detail.action?docID=6631217>
- Niedersächsisches Kultusministerium. (2022). *Kerncurriculum im Fach Chemie für das Gymnasium - gymnasiale Oberstufe, die Gesamtschule - gymnasiale Oberstufe, das Berufliche Gymnasium, das Abendgymnasium, das Kolleg*. Niedersächsisches Kultusministerium. Hannover.
- Niedersächsisches Ministerium für Ernährung, L. u. V. (2021). *Bericht zur niedersächsischen Nutztierhaltung 2021*. Hannover.
- NOAA. (2022). *Monthly Global Climate Report for December 2021*. NOAA National Centers for Environmental Information. <https://www.ncei.noaa.gov/access/monitoring/monthly-report/global/202200>.

- O'Farrell, B. (2009). Evolution in Lateral Flow–Based Immunoassay Systems. In Raphael Wong & Harley Tse (Hrsg.), *Lateral Flow Immunoassay* (S. 1-33). Totowa, NJ: Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-59745-240-3_1
- OECD. (2007). *Pisa 2006: Science Competencies for Tomorrow's World: Volume 1: Analysis*. Paris. <https://doi.org/10.1787/9789264040014-en>
- OECD. (2017). PISA 2015 Science Framework. In *PISA 2015 Assessment and Analytical Framework: Science, Reading, Mathematic, Financial Literacy and Collaborative Problem Solving*. Paris: OECD Publishing. <https://doi.org/https://doi.org/10.1787/9789264281820-3-en>
- OECD/FAO. (2020). *OECD-FAO Agricultural Outlook 2020-2029*. FAO/OECD. Rome, Paris.
- Okan, Z. (2012). Edutainment and Learning. In Norbert M. Seel (Hrsg.), *Encyclopedia of the Sciences of Learning* (S. 1080-1082). Boston, MA: Springer US. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-1428-6_1938
- Ökotest. (2016). Test Grillwürste. *Ökotest*, 7, S. 80-93.
- Orlich, M. J., Singh, P. N., Sabate, J., Jaceldo-Siegl, K., Fan, J., Knutsen, S., Beeson, W. L., & Fraser, G. E. (2013). Vegetarian dietary patterns and mortality in Adventist Health Study 2. *JAMA Internal Medicine*, 173(13), S. 1230-1238. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2013.6473>
- Ostendorf, T., Zillinger, T., Andryka, K., Schlee-Guimaraes, T. M., Schmitz, S., Marx, S., Bayrak, K., Linke, R., Salgert, S., Wegner, J., Grasser, T., Bauersachs, S., Soltész, L., Hubner, M. P., Nastaly, M., Coch, C., Kettwig, M., Roehl, I., Henneke, M., . . . Bartok, E. (2020). Immune Sensing of Synthetic, Bacterial, and Protozoan RNA by Toll-like Receptor 8 Requires Coordinated Processing by RNase T2 and RNase 2. *Immunity*, 52(4), S. 591-605 e596. <https://doi.org/10.1016/j.immuni.2020.03.009>
- Otte, L., Amel, H., Korte, T., & Beeken, M. (2023). Die Wurst hat's in sich: Innovative Experimente zu Inhaltsstoffen fleischhaltiger, vegetarischer und veganer Wurst. *Naturwissenschaften im Unterricht - Chemie*, 1/23(193), S. 16-20.
- Otte, L., & Beeken, M. (2021). *Corona zwischen Mythos und Wissenschaft: Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen*. Bonn: Bombini Verlag.
- Otte, L., & Beeken, M. (2022a). „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ - Innovative Experimente und Formate zur Bewertung von Fake News für den Chemieunterricht. *Chemkon*. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100075>
- Otte, L., & Beeken, M. (2022b). „COVID-19 between Myth and Science“ - Innovative Experiments for Analyzing Fake News Inside and Outside the Chemistry Classroom. *Journal of Chemical Education*, 99(5), S. 1890-1899. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01262>
- Pasternack, P., & Beer, A. (2022). *Die externe Kommunikation der Wissenschaft in der bisherigen Corona-Krise (2020/2021)*. Halle-Wittenberg: Institut für Hochschulforschung an der Martin-Luther-Universität.
- Paul, S., & Paul, R. (2019). *Grundlagen der Elektrotechnik und Elektronik 2 - Elektromagnetische Felder und ihre Anwendungen*. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg.
- Paul-Ehrlich-Institut. (2023). *COVID-19-Impfstoffe*. Paul-Ehrlich-Institut. Abgerufen am 20.07.2023 von <https://www.pei.de/DE/arzneimittel/impfstoffe/covid-19/covid-19-node.html>
- Pawek, C. (2009). *Schülerlabore als interessefördernde außerschulische Lernumgebungen für Schülerinnen und Schüler der Mittel- und Oberstufe [Dissertation]*. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- Persson, L., Carney Almroth, B. M., Collins, C. D., Cornell, S., de Wit, C. A., Diamond, M. L., Fantke, P., Hasselov, M., MacLeod, M., Ryberg, M. W., Sogaard Jorgensen, P., Villarrubia-Gomez, P., Wang, Z., & Hauschild, M. Z. (2022). Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. *Environmental Science & Technology*, 56(3), S. 1510-1521. <https://doi.org/10.1021/acs.est.1c04158>

- Pietsch, S., & Barke, H.-D. (2014). Wie Jugendliche die Chemie sehen. *Chemie in unserer Zeit*, 48(4), S. 312-316. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ciuz.201400675>
- Pimm, S. L., & Raven, P. (2000). Biodiversity. Extinction by numbers. *Nature*, 403(6772), S. 843-845. <https://doi.org/10.1038/35002708>
- Plasa, T. (2013). *Die Wahrnehmung von Schülerlaboren und Schülerforschungszentren [Dissertation]*. Berlin: Logos Verlag.
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), S. 987-992. <https://doi.org/10.1126/science.aaq0216>
- Preisendörfer, P. (1998). Themenfelder von Befragungsstudien zu Umwelteinstellungen und zum Umweltverhalten in der Bevölkerung. In Jürgen Schupp & Gert Wagner (Hrsg.), *Umwelt und empirische Sozial- und Wirtschaftsforschung* (S. 27-44). Berlin: Duncker und Humblot.
- Preisendörfer, P. (1999). *Umwelteinstellungen und Umweltverhalten in Deutschland*. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften. <https://doi.org/10.1007/978-3-663-11676-9>
- Preisendörfer, P., & Franzen, A. (1996). Der schöne Schein des Umweltbewusstseins. Zu den Ursachen und Konsequenzen von Umwelteinstellungen in der Bevölkerung. *KZfSS Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, Sonderheft 36*, S. 219-244.
- Prenzel, M. (Ed.). (2005). *PISA 2003. Der zweite Vergleich der Länder in Deutschland - was wissen und können Jugendliche?* Waxmann.
- Prenzel, M., Seidel, T., Lehrke, M., Rimmel, R., Duit, R., Euler, M., Geiser, H., Hoffmann, L., Müller, C., & Widodo, A. (2002). Lehr-Lernprozesse im Physikunterricht - eine Videostudie. In Manfred Prenzel & Jörg Doll (Hrsg.), *Bildungsqualität von Schule: Schulische und außerschulische Bedingungen mathematischer, naturwissenschaftlicher und überfachlicher Kompetenzen*. Weinheim: Beltz. <https://doi.org/https://doi.org/10.25656/01:3944>
- Radnitz, C., Beezhold, B., & DiMatteo, J. (2015). Investigation of lifestyle choices of individuals following a vegan diet for health and ethical reasons. *Appetite*, 90, S. 31-36. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2015.02.026>
- Radon, K., Schulze, A., Strien, R., Ehrenstein, V., Praml, G., & Nowak, D. (2005). Atemwegsgesundheit und Allergiestatus bei jungen Erwachsenen in ländlichen Regionen Niedersachsens. *Pneumologie*, 59(12), S. 897-900. <https://doi.org/10.1055/s-2005-915572> (Atemwegsgesundheit und Allergiestatus bei jungen Erwachsenen in landlichen Regionen Niedersachsens.)
- Rapoza, K. (2017). *Can 'Fake News' Impact The Stock Market?* Forbes Magazin. Abgerufen am 21.07.2023 von <https://www.forbes.com/sites/kenrapoza/2017/02/26/can-fake-news-impact-the-stock-market/?sh=43c983262fac>
- Raveendran, A. V., Jayadevan, R., & Sashidharan, S. (2021). Long COVID: An overview. *Diabetes & Metabolic Syndrome - Clinical Research & Reviews*, 15(3), S. 869-875. <https://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.04.007>
- Reedy, J., Lerman, J. L., Krebs-Smith, S. M., Kirkpatrick, S. I., Pannucci, T. E., Wilson, M. M., Subar, A. F., Kahle, L. L., & Tooze, J. A. (2018). Evaluation of the Healthy Eating Index-2015. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 118(9), S. 1622-1633. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2018.05.019>
- Reinders Folmer, C. P., Brownlee, M. A., Fine, A. D., Kooistra, E. B., Kuiper, M. E., Olthuis, E. H., de Bruijn, A. L., & van Rooij, B. (2021). Social distancing in America: Understanding long-term adherence to COVID-19 mitigation recommendations. *PLoS One*, 16(9), S. e0257945. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257945>
- Reinhardt, G., Gärtner, S., & Wagner, T. (2020). *Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland*. IFEU (Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg). Heidelberg.
- Reinhardt, U. (2007). *Edutainment - Bildung macht Spaß*. 2. Auflage. Hamburg: Lit Verlag Dr. W. Hopf.

- Reiss, K., Sälzer, C., Schiepe-Tiska, A., Klieme, E., & Köller, O. (2016). *PISA 2015. Eine Studie zwischen Kontinuität und Innovation*. Münster; New York: Waxmann 2016. <https://doi.org/https://doi.org/10.25656/01:14020>
- Rheinberg, F. (1996). Von der Lernmotivation zur Lernleistung : Was liegt dazwischen. In J. Möller & O. Köller (Hrsg.), *Kognition, Emotion und Schulleistung* (S. 23-51). Weinheim: Beltz, Psychologie Verlags Union. <https://publishup.uni-potsdam.de/frontdoor/index/index/docId/25333>
- Rheinberg, F. (2002). *Motivation*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Rheinberg, F., & Vollmeyer, R. (2019). *Motivation. 9., erweiterte und überarbeitete Auflage*. Stuttgart: Verlag W. Kohlhammer.
- Ritchie, H., & Roser, M. (2019). Global land use for food production. In: Our World in Data. <https://ourworldindata.org/agricultural-land-by-global-diets>. [Abbildung]
- Rizzo, N. S., Jaceldo-Siegl, K., Sabate, J., & Fraser, G. E. (2013). Nutrient profiles of vegetarian and nonvegetarian dietary patterns. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 113(12), S. 1610-1619. <https://doi.org/10.1016/j.jand.2013.06.349>
- RKI. (2015). *Gesundheit in Deutschland*. Berlin.
- RKI. (2017). *Krebs in Deutschland für 2013/14*. Berlin.
- RKI. (2021). *Nowcasting und R-Schätzung: Schätzung der aktuellen Entwicklung der SARS-CoV-2-Epidemie in Deutschland*. Robert Koch-Institut (RKI). Abgerufen am 20.07.2023 von https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Projekte_RKI/Nowcasting.html
- RKI. (2023a). *Epidemiologisches Bulletin*. Robert Koch-Institut (RKI). Berlin. https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/epid_bull_node.html
- RKI. (2023b). *Epidemiologisches Bulletin 15. Juni 2023*. Robert Koch-Institut (RKI). Berlin.
- RND. (2021). *Ein Jahr nach Corona*. RedaktionsNetzwerkDeutschland (RND). Abgerufen am 18.07.2023 von <https://www.rnd.de/gesundheits/ein-jahr-corona-in-deutschland-erster-fall-am-27-januar-2020-bei-webasto-in-bayern-gemeldet-LH7QYMIXZNQBM5I4AYK56KVYCU.html>
- Robinson, W. P. (1975). Boredom at school. *British Journal of Educational Psychology*, 45, S. 141-152. <https://doi.org/10.1111/j.2044-8279.1975.tb03239.x>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin, F. S., Lambin, E. F., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sorlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., . . . Foley, J. A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461(7263), S. 472-475. <https://doi.org/10.1038/461472a>
- Rodenhauser, A. (2016). *Bilinguale biologische Schülerlaborkurse - Konzeption und Durchführung sowie Evaluation der kognitiven und affektiven Wirksamkeit [Dissertation]*. Bergische Universität Wuppertal.
- Röös, E., Sundberg, C., & Hansson, P.-A. (2014). Carbon Footprint of Food Products. In S. Muthu (Hrsg.), *Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Volume 1* (S. 85-112). Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-4560-41-2_4
- Rosenbaum, L. (2022). *Entwicklung eines Settings für das Schülerlabor GreenLab_OS zum Thema Phosphat unter besonderer Berücksichtigung von Nachhaltigkeitsaspekten [Masterarbeit]*. Osnabrück: Universität Osnabrück, Fachbereich 5 Biologie/Chemie.
- Rost, D. H. (2013). *Interpretation und Bewertung pädagogisch-psychologischer Studien*. 3. Auflage. Bad Heilbrunn: Verlag Julius Klinkhardt. <https://doi.org/10.36198/9783838585185>

- Rubach, C., & Lazarides, R. (Eds.). (2021). *Emotionen in Schule und Unterricht. Bedingungen und Auswirkungen von Emotionen bei Lehrkräften und Lernenden*. Verlag Barbara Budrich. <https://doi.org/Doi:10.3224/84742427>.
- Runge, K., Stiefs, D., & Schecker, H. (2013). Wirkungen schulischer Vorbereitung auf den Besuch des DLR_School_Lab. In LernortLabor (Hrsg.), *LeLa magazin* (S. 3-5). Stuttgart: Klett.
- Ruppert, W. (2004). Welches Interesse haben Schüler an biologischen Themen. In U. Spörhase-Eichmann & W. Ruppert (Hrsg.), *Biologie Didaktik* (S. 107-124). Berlin: Cornelsen Verlag.
- Sachverständigenrat für Umweltfragen. (1978). *Umweltgutachten 1978*. Deutscher Bundestag und Deutsche Bundesregierung. Bonn.
- Sampson, C., Linard, E., & Garcia-Chance, L. (2018). Life's a Beach: Using Role-Playing Scenarios to Facilitate Water Quality Studies. *The American Biology Teacher*, 80(5), S. 353-358. <https://doi.org/10.1525/abt.2018.80.5.353>
- Samraj, A. N., Laubli, H., Varki, N., & Varki, A. (2014). Involvement of a non-human sialic Acid in human cancer. *Frontiers in Oncology*, 4, S. 33. <https://doi.org/10.3389/fonc.2014.00033>
- Sanders, T. A. (2009). DHA status of vegetarians. *Prostaglandins, Leukotriens and Essentials Fatty Acids*, 81(2-3), S. 137-141. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2009.05.013>
- Sans, P., & Combris, P. (2015). World meat consumption patterns: An overview of the last fifty years (1961-2011). *Meat Science*, 109, S. 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.012>
- Sanvido, O., Romeis, J., & Bigler, F. (2007). Ecological Impacts of Genetically Modified Crops: Ten Years of Field Research and Commercial Cultivation. In Armin Fiechter & Christof Sautter (Hrsg.), *Green Gene Technology* (Vol. 107, S. 235-278). Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. https://doi.org/10.1007/10_2007_048
- Sarmah, A. K., Meyer, M. T., & Boxall, A. B. (2006). A global perspective on the use, sales, exposure pathways, occurrence, fate and effects of veterinary antibiotics (VAs) in the environment. *Chemosphere*, 65(5), S. 725-759. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2006.03.026>
- Schäfer, T. (2016). *Methodenlehre und Statistik*. Wiesbaden: Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-11936-2>
- Scharfenberg, F.-J. (2005). *Experimenteller Biologieunterricht zu Aspekten der Gentechnik im Lernort Labor: empirische Untersuchung zu Akzeptanz, Wissenserwerb und Interesse [Dissertation]*. Universität Bayreuth.
- Scharfenberg, F.-J., & Bogner, F.-X. (2015). Empirische Analyse - Leistung zählt! In Olaf Haupt (Hrsg.), *Schülerlabor-Atlas 2015: Schülerlabore im deutschsprachigen Raum* (S. 24-31). Stuttgart: Klett MINT.
- Schmidkunz, H., & Lindemann, H. (2003). *Das Forschend-entwickelnde Unterrichtsverfahren. Problemlösen im naturwissenschaftlichen Unterricht*. 6. Auflage. Hohenwarsleben: Westarp Wissenschaften.
- Schmidt, I., Di Fuccia, D.-S., & Ralle, B. (2011). Außerschulische Lernstandorte. Erwartungen, Erfahrungen und Wirkungen aus der Sicht von Lehrkräften und Schulleitungen. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht*, 64(6), S. 362-369.
- Scholl, G., Gossen, M., Holzhauer, B., & Schipperges, M. (2016). *Mit welchen Kenngrößen kann Umweltbewusstsein heute erfasst werden? Eine Machbarkeitsstudie*. Umweltbundesamt (UBA). Dessau-Roßlau.
- Schulze, J. (2018). *Entwicklung eines GreenLab_OS-Settings zum Themenkomplex „Stickoxide im Straßenverkehr“ [Masterarbeit]*. Osnabrück: Universität Osnabrück, Institut für Chemie neuer Materialien.
- Schüpbach, R., Wegmüller, R., Berguerand, C., Bui, M., & Herter-Aeberli, I. (2017). Micronutrient status and intake in omnivores, vegetarians and vegans in Switzerland. *European Journal of Nutrition*, 56(1), S. 283-293. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-1079-7>

- Schwarz, N. (2002). Situated cognition and the wisdom in feelings: Cognitive tuning. In *The wisdom in feeling: Psychological processes in emotional intelligence*. (S. 144-166). New York: The Guilford Press.
- Seel, M., Huwer, J., Fey, S., Munnia, A., Hempelmann, R., Garner, N., Siol, A., & Eilks, I. (2014). Nachhaltige Chemie in den Schülerlaboren NanoBioLab und FreiEx. In Ulrich Witte (Hrsg.), *Nachhaltigkeit gestalten* (S. 340-342). München: Oekom.
- Semba, R. D. (2016). The Rise and Fall of Protein Malnutrition in Global Health. *Annals of Nutrition and Metabolism*, 69(2), S. 79-88. <https://doi.org/10.1159/000449175>
- Setti, L., Passarini, F., De Gennaro, G., Barbieri, P., Perrone, M. G., Borelli, M., Palmisani, J., Di Gilio, A., Piscitelli, P., & Miani, A. (2020). Airborne Transmission Route of COVID-19: Why 2 Meters/6 Feet of Inter-Personal Distance Could Not Be Enough. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(8). <https://doi.org/10.3390/ijerph17082932>
- Shafiq, M., Elharake, J. A., Malik, A. A., McFadden, S. M., Aguolu, O. G., & Omer, S. B. (2021). COVID-19 Sources of Information, Knowledge, and Preventive Behaviors Among the US Adult Population. *Journal of Public Health Management and Practice*, 27(3), S. 278-284. <https://doi.org/10.1097/phh.0000000000001348>
- Sharma, M., Mindermann, S., Rogers-Smith, C., Leech, G., Snodin, B., Ahuja, J., Sandbrink, J. B., Monrad, J. T., Altman, G., Dhaliwal, G., Finnveden, L., Norman, A. J., Oehm, S. B., Sandkuhler, J. F., Aitchison, L., Gavenciak, T., Mellan, T., Kulveit, J., Chindelevitch, L., . . . Brauner, J. M. (2021). Understanding the effectiveness of government interventions against the resurgence of COVID-19 in Europe. *Nature Communications*, 12(1), S. 5820. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26013-4>
- Shavelson, R. J., Hubner, J. J., & Stanton, G. C. (1976). Self-Concept: Validation of Construct Interpretations. *Review of Educational Research*, 46(3). <https://doi.org/10.3102/00346543046003407>
- Shepon, A., Eshel, G., Noor, E., & Milo, R. (2016). Energy and protein feed-to-food conversion efficiencies in the US and potential food security gains from dietary changes. *Environmental Research Letters*, 11(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/105002>
- Shiklomanov, I. A., & Rodda, J. C. (2003). *World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- Smil, V. (2000). PHOSPHORUS IN THE ENVIRONMENT: Natural Flows and Human Interferences. *Annual Review of Energy and the Environment*, 25(1), S. 53-88. <https://doi.org/10.1146/annurev.energy.25.1.53>
- Smith, A. M. (2006). Veganism and osteoporosis: a review of the current literature. *International Journal of Nursing Practice*, 12(5), S. 302-306. <https://doi.org/10.1111/j.1440-172X.2006.00580.x>
- Smith, R. P. (1981). Boredom: A review. *Human Factors Society*, 23, S. 239-340.
- Sobiecki, J. G., Appleby, P. N., Bradbury, K. E., & Key, T. J. (2016). High compliance with dietary recommendations in a cohort of meat eaters, fish eaters, vegetarians, and vegans: results from the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition-Oxford study. *Nutrition Research*, 36(5), S. 464-477. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2015.12.016>
- Solodovnikov, A., & Arkhipova, V. (2021). Scientifically accurate atomic model of the external structure of the Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 (SARS-CoV-2). [Abbildung]
- Sommer, K., & Pfeifer, P. (2018). Experiment und Erkenntnis. In Peter Pfeifer (Hrsg.), *Konkrete Fachdidaktik Chemie* (S. 70-88). Seelze: Aulis Verlag.
- Sommer, K., Toschka, C., Schröder, L., Schröder, T. P., Steff, H., & Fischer, R. A. (2017). Modellexperimente im Chemieunterricht. *Chemkon*, 24(1), S. 13-19. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ckon.201710288>

- Sommer, K., Wambach-Laicher, J., & Pfeifer, P. (Eds.). (2018). *Konkrete Fachdidaktik Chemie. Grundlagen für das Lernen und Lehren in Chemieunterricht. 1. Auflage.* Aulis.
- Spada, H. (1990). Umweltbewusstsein: Einstellung und Verhalten. In L. Kruse-Graumann (Hrsg.), *Ökologische Psychologie: Ein Handbuch in Schlüsselbegriffen* (S. 623-631). München: Psychologie-Verlags-Union.
- Spitzer, P., & Pechtl, M. (2015). Risikoverhalten und maskuline Performanz von Jungen im Chemieunterricht. In Juliette Wedl & Annette Bartsch (Hrsg.), *Teaching Gender?* (S. 137-164). Bielefeld: Transcript-Verlag. <https://doi.org/10.14361/9783839428221-008>
- Stäcker, K.-H. (1977). *Frustration.* Stuttgart: Kohlhammer.
- Stadnytskyi, V., Bax, C. E., Bax, A., & Anfinrud, P. (2020). The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(22), S. 11875-11877. <https://doi.org/doi:10.1073/pnas.2006874117>
- Steffen, W., Broadgate, W., Deutsch, L., Gaffney, O., & Ludwig, C. (2015). The trajectory of the Anthropocene: The Great Acceleration. *The Anthropocene Review*, 2(1), S. 81-98. <https://doi.org/10.1177/2053019614564785>
- Steffen, W., Richardson, K., Rockstrom, J., Cornell, S. E., Fetzer, I., Bennett, E. M., Biggs, R., Carpenter, S. R., de Vries, W., de Wit, C. A., Folke, C., Gerten, D., Heinke, J., Mace, G. M., Persson, L. M., Ramanathan, V., Reyers, B., & Sorlin, S. (2015). Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science*, 347(6223). <https://doi.org/ARTN1259855>
10.1126/science.1259855
- Stokes, L. C., & Selin, N. E. (2014). The mercury game: evaluating a negotiation simulation that teaches students about science-policy interactions. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 6(3), S. 597-605. <https://doi.org/10.1007/s13412-014-0183-y>
- Strähle, J., & Schweda, E. (1995). *Jander/Blasius Einführung in das anorganisch-chemische Praktikum.* 14. Auflage. Stuttgart: S. Hirzel Verlag.
- Streller, M. (2015). *The educational effects of pre and post-work in out-of-school laboratories [Dissertation].* Technische Universität Dresden.
- Sungnak, W., Huang, N., Bécavin, C., Berg, M., Queen, R., Litvinukova, M., Talavera-López, C., Maatz, H., Reichart, D., Sampaziotis, F., Worlock, K. B., Yoshida, M., Barnes, J. L., Banovich, N. E., Barbry, P., Brazma, A., Collin, J., Desai, T. J., Duong, T. E., . . . Network, H. C. A. L. B. (2020). SARS-CoV-2 entry factors are highly expressed in nasal epithelial cells together with innate immune genes. *Nature Medicine*, 26(5), S. 681-687. <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0868-6>
- Sweller, J. (2005). Implications of cognitive load theory for multimedia learning. In R.E. Mayer (Hrsg.), *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (S. 19-30). New York: Cambridge University Press.
- Tabatabaeizadeh, S. A. (2021). Airborne transmission of COVID-19 and the role of face mask to prevent it: a systematic review and meta-analysis. *European Journal of Medical Research*, 26(1), S. 1. <https://doi.org/10.1186/s40001-020-00475-6>
- Täger, M., Peltner, J., & Thiele, S. (2015). Evaluation of diet quality by means of the Healthy Eating Index and its modified variants. *Ernährungs Umschau international*, 5, S. 110-118. <https://doi.org/10.4455/eu.2016.023>
- Talic, S., Shah, S., Wild, H., Gasevic, D., Maharaj, A., Ademi, Z., Li, X., Xu, W., Mesa-Eguiaagaray, I., Rostron, J., Theodoratou, E., Zhang, X., Motee, A., Liew, D., & Ilic, D. (2021). Effectiveness of public health measures in reducing the incidence of covid-19, SARS-CoV-2 transmission, and covid-19 mortality: systematic review and meta-analysis. *BMJ*, 375, S. e068302. <https://doi.org/10.1136/bmj-2021-068302>

- Teas, J., Pino, S., Critchley, A., & Braverman, L. E. (2004). Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. *Thyroid*, 14(10), S. 836-841. <https://doi.org/10.1089/thy.2004.14.836>
- TERMDAT. (2022). *Coronavirus-Krankheit-2019*. TERMDAT - Die Technologiedatenbank der Bundesverwaltung. Abgerufen am 17.07.2023 von <https://www.termdata.admin.ch/search/entry/477401>
- The Lancet Infectious Diseases. (2020). The COVID-19 infodemic. *The Lancet Infectious Diseases*, 20(8), S. 875. [https://doi.org/10.1016/S1473-3099\(20\)30565-X](https://doi.org/10.1016/S1473-3099(20)30565-X)
- Trautwein, U., & Baeriswyl, F. (2007). Wenn leistungsstarke Klassenkameraden ein Nachteil sind. *Zeitschrift für Pädagogische Psychologie*, 21(2), S. 119-133. <https://doi.org/10.1024/1010-0652.21.2.119>
- Trougakos, I. P., Terpos, E., Alexopoulos, H., Politou, M., Paraskevis, D., Scorilas, A., Kastiris, E., Andreakos, E., & Dimopoulos, M. A. (2022). Adverse effects of COVID-19 mRNA vaccines: the spike hypothesis. *Trends in Molecular Medicine*, 28(7), S. 542-554. <https://doi.org/10.1016/j.molmed.2022.04.007>
- Tsai, J.-C., Cheng, P.-H., Liu, S.-Y., & Chang, C.-Y. (2019). Using Board Games to Teach Socioscientific Issues on Biological Conservation and Economic Development in Taiwan. *Journal of Baltic Science Education*, 18(4), S. 634-645. <https://doi.org/10.33225/jbse/19.18.634>
- Tsai, J.-C., Liu, S.-Y., Chang, C.-Y., & Chen, S.-Y. (2021). Using a Board Game to Teach about Sustainable Development. *Sustainability*, 13(9). <https://doi.org/10.3390/su13094942>
- Umweltbundesamt. (2019). *Umweltbewusstsein in Deutschland 2018 - Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) Bundesministerium für Umwelt & Umweltbundesamt (UBA). Berlin, Dessau-Roßlau.
- UN Economic and Social Council. (1997). *Comprehensive assessment of the freshwater resources of the world*. UN (United Nations).
- UNESCO. (2021). *Bildung für nachhaltige Entwicklung - eine Roadmap*. Wissenschaft und Kultur) UNESCO (Organisation der Vereinten Nationen für Bildung. Paris, Bonn.
- Universität Bremen. (2023). *Nachhaltigkeit und Chemie im Schülerlabor*. Abgerufen am 31.07.2023 von <https://chemiedidaktik.uni-bremen.de/projekte/nachhaltigkeit-und-chemie-im-schuelerlabor/>
- Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Reece, J. B. (2019). *Campbell Biologie*. 11. Auflage. London: Pearson Studium.
- V'kovski, P., Kratzel, A., Steiner, S., Stalder, H., & Thiel, V. (2021). Coronavirus biology and replication: implications for SARS-CoV-2. *Nature Reviews Microbiology*, 19(3), S. 155-170. <https://doi.org/10.1038/s41579-020-00468-6>
- van der Linden, S., Roozenbeek, J., & Compton, J. (2020). Inoculating Against Fake News About COVID-19. *Frontiers in Psychology*, 11, S. 566790. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.566790>
- van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., Thornburg, N. J., Gerber, S. I., Lloyd-Smith, J. O., de Wit, E., & Munster, V. J. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382(16), S. 1564-1567. <https://doi.org/10.1056/NEJMc2004973>
- van Dorp, L., Acman, M., Richard, D., Shaw, L. P., Ford, C. E., Ormond, L., Owen, C. J., Pang, J., Tan, C. C. S., Boshier, F. A. T., Ortiz, A. T., & Balloux, F. (2020). Emergence of genomic diversity and recurrent mutations in SARS-CoV-2. *Infection, Genetics and Evolution*, 83, S. 104351. <https://doi.org/10.1016/j.meegid.2020.104351>

- Vereinte Nationen. (2022). *World Population Prospects 2022 - Summary of Results*. Vereinte Nationen (UN) & Department of Economic and Social Affairs. New York.
- Vesely, S., & Klockner, C. A. (2020). Social Desirability in Environmental Psychology Research: Three Meta-Analyses. *Frontiers of Psychology, 11*, S. 1395. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.01395>
- Vilgis, T. A. (2022). *Biophysik der Ernährung*. Heidelberg: Springer Spektrum. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-65108-7>
- Voet, D., Voet, J. G., & Pratt, C. W. (2019). *Lehrbuch der Biochemie*. 3. Auflage. Weinheim: Wiley-VCH.
- Völker, M., & Trefzger, T. (2010). Lehr-Lern-Labore zur Stärkung der universitären Lehramtsausbildung. *PhyDid B - Didaktik der Physik - Beiträge zur DPG-Frühjahrstagung*. <https://ojs.dpg-physik.de/index.php/phydid-b/article/view/173>
- von Koerber, K. (2014). Fünf Dimensionen der Nachhaltigen Ernährung und weiterentwickelte Grundsätze - ein Update. *Ernährung im Fokus, 14*(9-10), S. 260-266.
- von Koerber, K., Männle, T., & Leitzmann, C. (2012). *Vollwert-Ernährung. Konzeption einer zeitgemäßen und nachhaltigen Ernährung*. 11. Auflage. Heidelberg: Haug-Verlag.
- Vortmann, S., Remy, D., Klasmeier, J., & Beeken, M. (2019). Student Experiments on the Topic of Microplastics in the Environment for Secondary Education Level II: The Coffee Pad Machine Experiment and Sediment Analysis. *World Journal of Chemical Education, 7*(2), S. 96-101. <https://doi.org/10.12691/wjce-7-2-9>
- Vsauce. (2023). *Vsauce - YouTube Kanal*. Abgerufen am 27.07.2023 von <https://www.youtube.com/@Vsauce>
- Waldmann, A., Koschizke, J. W., Leitzmann, C., & Hahn, A. (2003). Dietary intakes and lifestyle factors of a vegan population in Germany: results from the German Vegan Study. *European Journal of Clinical Nutrition, 57*(8), S. 947-955. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1601629>
- Walf, S. (2016). „Es geht um die Wurst“ - Entwicklung eines Schülerlabor-Settings zum Vergleich von konventionellen und vegetarischen Wurstprodukten [Masterarbeit]. Osnabrück: Universität Osnabrück, Institut für Chemie neuer Materialien.
- Walsh, E. E., Frenck, R. W., Jr., Falsey, A. R., Kitchin, N., Absalon, J., Gurtman, A., Lockhart, S., Neuzil, K., Mulligan, M. J., Bailey, R., Swanson, K. A., Li, P., Koury, K., Kalina, W., Cooper, D., Fontes-Garfias, C., Shi, P. Y., Tureci, O., Tompkins, K. R., . . . Gruber, W. C. (2020). Safety and Immunogenicity of Two RNA-Based Covid-19 Vaccine Candidates. *New England Journal of Medicine, 383*(25), S. 2439-2450. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2027906>
- Wang-Erlandsson, L., Tobian, A., van der Ent, R. J., Fetzer, I., te Wierik, S., Porkka, M., Staal, A., Jaramillo, F., Dahlmann, H., Singh, C., Greve, P., Gerten, D., Keys, P. W., Gleeson, T., Cornell, S. E., Steffen, W., Bai, X. M., & Rockstrom, J. (2022). A planetary boundary for green water. *Nature Reviews Earth & Environment, 3*(6), S. 380-392. <https://doi.org/10.1038/s43017-022-00287-8>
- Wardle, C., & Derakshan, H. (2017). *Information Disorder: Toward an interdisciplinary framework for research and policy making*. Council of Europe. Straßburg.
- Wasserman, T., & Wasserman, L. (2020). Motivation: State, Trait, or Both. In *Motivation, Effort, and the Neural Network Model* (S. 93-101). Cham: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-58724-6_8
- WCRF, & AICR. (2018). *Meat, fish and dairy products and the risk of cancer*. WCRF (World Cancer Research Fund) & AICR (American Institute for Cancer Research).
- Wegener, H. C. (2003). Antibiotics in animal feed and their role in resistance development. *Current Opinion in Microbiology, 6*(5), S. 439-445. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2003.09.009>

- Wegner, C. (2008). *Entwicklung und Evaluation des Projektes „Kolumbus-Kids“ zur Förderung begabter SchülerInnen in den Naturwissenschaften [Dissertation]*. Universität Bielefeld.
- Weikert, C., Trefflich, I., Menzel, J., Obeid, R., Longree, A., Dierkes, J., Meyer, K., Herter-Aeberli, I., Mai, K., Stangl, G. I., Müller, S. M., Schwerdtle, T., Lampen, A., & Abraham, K. (2020). Vitamin and Mineral Status in a Vegan Diet. *Deutsches Ärzteblatt International*, 117(35-36), S. 575-582. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2020.0575>
- Welch, A. A., Shakya-Shrestha, S., Lentjes, M. A., Wareham, N. J., & Khaw, K. T. (2010). Dietary intake and status of n-3 polyunsaturated fatty acids in a population of fish-eating and non-fish-eating meat-eaters, vegetarians, and vegans and the product-precursor ratio [corrected] of alpha-linolenic acid to long-chain n-3 polyunsaturated fatty acids: results from the EPIC-Norfolk cohort. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 92(5), S. 1040-1051. <https://doi.org/10.3945/ajcn.2010.29457>
- Weßnigk, S. (2013). *Kooperatives Arbeiten an industrienahen außerschulischen Lernorten [Dissertation]*. Christian-Albrechts-Universität zu Kiel.
- White, R. W. (1959). Motivation reconsidered: the concept of competence. *Psychol Rev*, 66, S. 297-333. <https://doi.org/10.1037/h0040934>
- Whitton, N., & Langan, M. (2018). Fun and games in higher education: an analysis of UK student perspectives. *Teaching in Higher Education*, 24(8), S. 1000-1013. <https://doi.org/10.1080/13562517.2018.1541885>
- WHO. (2000). *Obesity : preventing and managing the global pandemic : report of a WHO consultation*. WHO (World Health Organization). Genf.
- WHO. (2010). *Guide to Local Production: WHO-recommended Handrub Formulations*. <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/332005/WHO-IER-PSP-2010.5-eng.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- WHO. (2013). *Urinary iodine concentrations for determining iodine status in populations*. Vitamin and Mineral Nutrition Information System & WHO (Weltgesundheitsorganisation). Genf.
- WHO. (2020). *Pneumonia of unknown cause - China*. Weltgesundheitsorganisation (WHO). Abgerufen am 18.07.2023 von <https://www.who.int/emergencies/disease-outbreak-news/item/2020-DON229>
- WHO. (2021a). *Coronavirus disease (COVID-19) advice for the public: mythbusters*. Abgerufen am 21.07.2023 von <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public/myth-busters>
- WHO. (2021b). *COVID-19 Weekly Epidemiological Update*. WHO (Weltgesundheitsorganisation). New York City.
- WHO. (2021c). *Obesity and overweight*. WHO (World Health Organization). Abgerufen am 13.04. von <http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- WHO. (2023a). *Tracking SARS-CoV-2 variants*. Weltgesundheitsorganisation (WHO). <https://web.archive.org/web/20211126180710/https://www.who.int/en/activities/tracking-SARS-CoV-2-variants/>
- WHO. (2023b). *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard - Situation by Region, Country, Territory & Area*. Weltgesundheitsorganisation (WHO). Abgerufen am 18.07.2023 von <https://covid19.who.int/table>
- WHO. (2023c). *WHO Director-General's opening remarks at the media briefing - 5 May 2023*. Weltgesundheitsorganisation (WHO). Abgerufen am 18.07.2023 von <https://www.who.int/news-room/speeches/item/who-director-general-s-opening-remarks-at-the-media-briefing---5-may-2023>

- Wilde, M., & Bätz, K. (2006). Einfluss unterrichtlicher Vorbereitung auf das Lernen im Naturkundemuseum. *Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*, 12, S. 77-89.
- Willett, W., Rockstrom, J., Loken, B., Springmann, M., Lang, T., Vermeulen, S., Garnett, T., Tilman, D., DeClerck, F., Wood, A., Jonell, M., Clark, M., Gordon, L. J., Fanzo, J., Hawkes, C., Zurayk, R., Rivera, J. A., De Vries, W., Majele Sibanda, L., . . . Murray, C. J. L. (2019). Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. *Lancet*, 393(10170), S. 447-492. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)31788-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)31788-4)
- Wilson, P. W., D'Agostino, R. B., Levy, D., Belanger, A. M., Silbershatz, H., & Kannel, W. B. (1998). Prediction of coronary heart disease using risk factor categories. *Circulation*, 97(18), S. 1837-1847. <https://doi.org/10.1161/01.cir.97.18.1837>
- Wissenschaft im Dialog. (2020). *Wissenschaftsbarometer 2020*. Berlin. https://www.wissenschaft-im-dialog.de/fileadmin/user_upload/Projekte/Wissenschaftsbarometer/Dokumente_20/WiD-Wissenschaftsbarometer_2020_Broschuere_final.pdf
- Wriedt, G., de Vries, D., Eden, T., & Federolf, C. (2019). Regionalisierte Darstellung der Nitratbelastung im Grundwasser Niedersachsens. *Grundwasser*, 24(1), S. 27-41. <https://doi.org/10.1007/s00767-019-00415-0>
- Wright, W. F., & Bower, G. H. (1992). Mood effects on subjective probability assessment. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 52(2), S. 276-291. [https://doi.org/10.1016/0749-5978\(92\)90039-a](https://doi.org/10.1016/0749-5978(92)90039-a)
- Wu, F., Zhao, S., Yu, B., Chen, Y. M., Wang, W., Song, Z. G., Hu, Y., Tao, Z. W., Tian, J. H., Pei, Y. Y., Yuan, M. L., Zhang, Y. L., Dai, F. H., Liu, Y., Wang, Q. M., Zheng, J. J., Xu, L., Holmes, E. C., & Zhang, Y. Z. (2020). A new coronavirus associated with human respiratory disease in China. *Nature*, 579(7798), S. 265-269. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2008-3>
- WWF. (2012). *Sojaboom in deutschen Ställen*. WWF (World Wide Fund For Nature). https://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/WWF-Studie_Sojaboom_in_deutschen_Staellen.pdf
- Wyatt, H. M. G., & Eccles, J. S. (2008). *Gender and occupational outcomes: Longitudinal assessments of individual, social, and cultural influences*. Washington, DC, US: American Psychological Association. <https://doi.org/10.1037/11706-000>
- Yang, S., Lee, G. W., Chen, C. M., Wu, C. C., & Yu, K. P. (2007). The size and concentration of droplets generated by coughing in human subjects. *Journal of Aerosol Medicine*, 20(4), S. 484-494. <https://doi.org/10.1089/jam.2007.0610>
- Zbikowski, F. (2021). Rezension zu Corona zwischen Mythos und Wissenschaft. Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen. Buch von Lars Otte, Marco Beeken. *Nachrichten aus der Chemie*, 69(4), S. 90-90. <https://doi.org/10.1002/nadc.20214109394>
- Zehren, W. (2009). *Forschendes Experimentieren im Schülerlabor [Dissertation]*. Universität des Saarlandes.
- Zellmer, S., Schlüter, B., Blau, J., Lewalter, D., & Sommer, K. (2022). Vom Labor ins Wohnzimmer – KEMIE® in Zeiten von Corona – Eine vergleichende Untersuchung der Basic Needs in einem außerschulischen Lernarrangement im Präsenz- bzw. Distanzformat. *Chemkon*, 29, S. 331-338. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/ckon.202200019>
- Zhu, N., Zhang, D., Wang, W., Li, X., Yang, B., Song, J., Zhao, X., Huang, B., Shi, W., Lu, R., Niu, P., Zhan, F., Ma, X., Wang, D., Xu, W., Wu, G., Gao, G. F., Tan, W., China Novel Coronavirus, I., & Research, T. (2020). A Novel Coronavirus from Patients with Pneumonia in China, 2019. *The New England Journal of Medicine*, 382(8), S. 727-733. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa2001017>
- Zimmermann, M. B., & Andersson, M. (2012). Update on iodine status worldwide. *Current Opinion in Endocrinology, Diabetes and Obesity*, 19(5), S. 382-387. <https://doi.org/10.1097/MED.0b013e328357271a>

Zuckerman, M. (1979). *Sensation seeking: beyond the optimal level of arousal*. N.J. Hillsdale (Hrsg.). New York: L. Erlbaum Associates.

9 Anhang

Der Anhang dieser Arbeit besteht aus einem gedruckten und einem digitalen Teil. Der digitale Teil des Anhangs ist in Form eines Datenträgers der Arbeit beigelegt.

Inhalt des gedruckten Anhangs

Der gedruckte Anhang enthält

- Arbeitsmaterialien des Schülerlaborsettings „Es geht um die Wurst“
- Präsentation zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“
- Darstellung des Pre-, Post- und Follow-Up-Fragebogens der Begleitstudie zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“
- Das Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen“
- Arbeitsmaterialien der Formate „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ *und*
- Eigenständigkeitserklärung der angefertigten Dissertation.

Inhalt des digitalen Anhangs

Der digitale Anhang enthält

- Datensätze der Begleitstudie zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“
- Publikationen, die im Rahmen der Promotion als Erst- oder Koautor erschienen sind (nur Open Access Publikationen) *und*
- PDF-Datei der Dissertation.

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Bestimmung des Kochsalzgehaltes

Infobox:
Kochsalz spielt für den menschlichen Organismus eine wesentliche Rolle. So regelt es beispielsweise den Wasserhaushalt sowie den Zelldruck, sorgt für eine Stabilisierung des Nervensystems und ist ein wichtiger Faktor für die Verdauung von Lebensmitteln. Sowohl in der konventionellen Wurst enthält 2,2 g Kochsalz auf 100 g, die vegetarische 2,4 g, die vegane 2,7 g. Mithilfe der Konduktometrie (Leitfähigkeitsstratation) können diese geringen Unterschiede sehr genau ermittelt werden. Chemiker*innen bezeichnen Kochsalz als Natriumchlorid (NaCl). In Wasser gelöst liegt es in Form seiner Ionen vor, also als Natrium-Kation (Na⁺) und Chlorid-Anion (Cl⁻). Mithilfe einer Silbernitrat-Lösung (AgNO₃) können die Chlorid-Ionen als unlösliches Silberchlorid gefällt werden. Misst man dabei regelmäßig die Leitfähigkeit der Lösung, so kann ein eindeutiger Rückschluss auf die Menge an Kochsalz gezogen werden.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine **Schutzbrille**.



0,1 molare Silbernitrat-Lösung ist ätzend und hinterlässt auf der Haut schwarze Flecken. Trage daher **Schutzhandschuhe**.

Silbernitrat-Lösung und Silberchlorid sind umweltschädlich und müssen in den schwermetallhaltigen Abfall entsorgt werden.




Materialien:

- Wurstextrakte A, B und C
- 1 Messzylinder (100 ml)
- Bürette (25 ml)
- 4 Bechergläser (3x 250, 1x 50 ml)
- Schwermetallhaltiger Abfall
- Konduktometer
- Magnetrührer und Rührfisch
- Trichter
- Zellstoff/Papier

Chemikalien:

- Silbernitrat-Maßlösung (0,1 M)
- Destilliertes Wasser

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Versuchsdurchführung:

- Suche dir eine Wurstsorte aus, die du untersuchen möchtest (A, B oder C). Gib den **gesamten** Inhalt des Schnappdeckelgläschens „Wurstextrakt“ A, B oder C in ein 250 ml Becherglas.
- Fülle den Messzylinder mit 40 ml destilliertem Wasser und spüle mit dem destillierten Wasser das Schnappdeckelgläschens aus. Überführe deine Spülvorgänge ebenfalls in das 250 ml Becherglas
- Fülle die Bürette mithilfe des 50 ml Becherglases und dem kleinen Trichter mit 0,1 M Silbernitrat-Lösung bis zur 0 ml Marke auf.
- Schalte das Konduktometer für die Leitfähigkeitsmessung ein und titriere das Filtrat zunächst in 1 ml Schritten. Sobald du 12 ml hinzugegeben hast, titriere in 0,5 ml Schritten. Trage die entsprechenden Werte in die dafür vorgesehene Tabelle ein.
- Beende die Titration nach einer Zugabe von 25 ml Silbernitrat-Lösung.

Hinweis: Das Wurstextrakt wurde aus 5,0 g der jeweiligen Wurst gewonnen und enthält die gesamte Menge des in diesen 5,0 g Wurst enthaltenen Kochsalzes.


Entsorgung:
Entsorge die wässrige Suspension mit Silberchlorid in den Behälter für schwermetallhaltigen Abfall.

Chemischer Hintergrund:
Bei einer Leitfähigkeitsstratation (Konduktometrie) macht man sich die unterschiedliche Leitfähigkeit verschiedener Ionen zunutze (da Ionen eine Ladung besitzen, leiten sie den elektrischen Strom). Verschiedene Ionen zeigen in Wasser eine unterschiedliche Leitfähigkeit. So sorgen besser bewegliche Ionen für eine höhere, schlechter bewegliche Ionen für eine geringere Leitfähigkeit. Die Leitfähigkeit ist der Kehrwert des elektrischen Widerstandes und wird in Siemens (S) angegeben. In der untenstehenden Tabelle sind die spezifischen elektrischen Leitfähigkeiten der beteiligten Ionen abgebildet.

Tabelle 1: Molare Leitfähigkeit ausgewählter Ionen in Wasser.

Kation	Molare Leitfähigkeit [S*cm ² /mol]	Anion	Molare Leitfähigkeit [S*cm ² /mol]
Natrium (Na ⁺)	50,1	Chlorid (Cl ⁻)	76,4
Silber (Ag ⁺)	61,9	Nitrat (NO ₃ ⁻)	71,5


Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

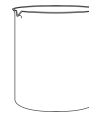
Stelle die Gleichung für die Reaktion auf, die während der Titration abläuft (Fällungsreaktion).

Urten siehst du vier leere Bechergläser. Zeichne zu vier verschiedenen Zeitpunkten der Titration die Ionen ein, die sich in der Lösung befinden. Wie verändert sich dabei die Gesamtzahl der Ionen in Lösung? Ordne den Bechergläsern folgende Aussagen zu: *Höchste Leitfähigkeit, geringste Leitfähigkeit, Leitfähigkeit nimmt zu, Leitfähigkeit nimmt ab.*


Hinweis: Am Äquivalenzpunkt sind die Stoffmengen der vorliegenden Chlorid-Ionen und der zugegebenen Silber-Ionen gleich.




Vor der Titration



Vor dem Äquivalenzpunkt




Äquivalenzpunkt



Nach dem Äquivalenzpunkt

Beschreibe, wie sich die Leitfähigkeit im Laufe der Titration ändert. Erkläre diesen Sachverhalt mithilfe von Tabelle 1 und der Abbildung der Bechergläser.

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Beobachtungen:

Wurstprobe A: Leitfähigkeitsminimum: _____ µS bei Zugabe von _____ ml AgNO₃

Wurstprobe B: Leitfähigkeitsminimum: _____ µS bei Zugabe von _____ ml AgNO₃

Wurstprobe C: Leitfähigkeitsminimum: _____ µS bei Zugabe von _____ ml AgNO₃

Ergebnis und Auswertung:

Berechne die Menge an Kochsalz, die in der von dir gewählten Wurstsorte enthalten ist.
Hinweis: Die molare Masse von Natriumchlorid beträgt M_{NaCl} = 58,44 g/mol.

Salzgehalt:

Wurst A: _____ g pro 100 g. A ist die _____ Wurst

Wurst B: _____ g pro 100 g. B ist die _____ Wurst

Wurst C: _____ g pro 100 g. C ist die _____ Wurst

Übertrage den berechneten Wert für die anderen Gruppen auf die Tafel neben dem Versuch. Übernimm dabei die Werte der anderen Gruppen.

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Bestimmung des Gehalts an ungesättigten Fettsäuren

Infobox:
Viele Lebensmittel enthalten Fette, die aus chemischer Sicht auch als Lipide bezeichnet werden. Fette sind unpolare, also in Wasser unlösliche Stoffe, die zu den Makronährstoffen zählen. Sie übernehmen im Körper zahlreiche Funktionen: Sie dienen als Reserverstoff für die Energiegewinnung, sind Isolatoren gegen Kälte, transportieren fettlösliche Substanzen wie zum Beispiel die Vitamine A, D und E, schützen die inneren Organe und sind Bestandteile der Zellmembranen. Fette sind daher für den menschlichen Körper unverzichtbar. Fette können dahingehend unterschieden werden, dass sie fest (Fett) oder flüssig (Öl) sind. Das in der konventionellen Wurst enthaltene Schweinefett ist bei Raumtemperatur ein weicher Feststoff, die vegetarische und vegane Wurst basieren hingegen auf flüssigem, gelbem Rapsöl. Ob ein Fett fest oder flüssig ist, liegt vor allem an der Zahl seiner Doppelbindungen: Je mehr Doppelbindungen im Fett vorkommen, desto geringer ist sein Schmelzpunkt. Enthält ein Fett keine Doppelbindungen bezeichnet man es als „gesättigt“. Ungesättigte Fette enthalten hingegen mindestens eine Doppelbindung.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine **Schutzbrille**.


Wijs-Reagens enthält konzentrierte Essigsäure und Iodchlorid und ist daher **ätzend** und **leicht entzündlich**. Trage beim Experimentieren **Schutzhandschuhe** und halte es von **offenen Zündquellen** fern. Das Arbeiten unter dem **Abzug** oder unter einer Absaugung ist verpflichtend!

Kaliumiodid-Lösung ist **gesundheitsschädlich** und kann die **Organe schädigen**. Trage beim Experimentieren **Schutzhandschuhe**.

Cyclohexan ist **leicht entzündlich**, reizt die Augen und die Haut, wirkt **narotisierend**, ist **stark umweltgefährdend** und kann beim **Verschlucken tödlich** sein! Trage beim Experimentieren **Schutzhandschuhe** und halte es von **offenen Zündquellen** fern. Das Arbeiten unter dem **Abzug** oder unter einer Absaugung ist verpflichtend!



Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst


GreenLab_OS 

<p>Materialien:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 1 Waage (zwei Nachkommastellen) - 3 Erlenmeyerkolben (300 mL) mit Glasstopfen und Klammern - Pasteurpipetten - 2 Spritzen (2x 5 mL, 10 mL) mit Kanülen - 2 kleine Spatel - 1 Bürette (25 mL) - 1 Heizmagnetrührer - 2 Bechergläser (50 mL, 250 mL) - Messzylinder (25 mL) - Permanentmarker - „Dunkelkammer“ für Erlenmeyerkolben 	<p>Chemikalien:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Rapsöl aus vegetarischer/vegane Wurst - Schweinefett aus konventioneller Wurst - Cyclohexan (in Injektionsfläschchen) - Wijs-Reagenz (0,1 M, in Injektionsfläschchen) - Kaliumiodid-Lösung (100 g/L, in Injektionsfläschchen) - Stärke-Lösung (0,5 g/L) - Natriumthiosulfat-Lösung (0,1 M) - Destilliertes Wasser
--	---

Versuchsdurchführung:

1. Wiege mithilfe der Waage in je einen Erlenmeyerkolben **0,1 g Rapsöl** bzw. **0,2 g Schweinefett** ein und notiere die exakte Einwaage auf dem Arbeitsblatt. Beschrifte die beiden Erlenmeyerkolben, sodass du sie voneinander unterscheiden kannst.
2. Beschrifte den dritten Erlenmeyerkolben mit dem Wort „Blindprobe“. Fülle mithilfe einer 5 mL-Spritze mit Kanüle **unter dem Abzug** in alle 3 Erlenmeyerkolben jeweils **3 mL Cyclohexan** und verschließe die Kolben mithilfe der Glasstopfen und der Klammern.
3. Sollte sich das Schweinefett nicht im Cyclohexan lösen, kannst du es unter Schwenken auf dem Heizmagnetrührer **vorsichtig!** erhitzen. Der Heizmagnetrührer darf dabei maximal auf **60 °C** eingestellt werden. Der Kolben muss anschließend wieder auf Raumtemperatur abkühlen.
4. Fülle mithilfe der 10 mL-Spritze **unter dem Abzug** in den Kolben „Blindprobe“ **10 mL Wijs-Reagenz** und verschließe den Kolben anschließend sofort mit Stopfen und Klammer. Schüttle diesen ca. 10 Sekunden lang kräftig durch und stelle ihn für **10 Minuten** in die Dunkelkammer.
5. Wiederhole während der Wartezeit Schritt 4 für die anderen beiden Erlenmeyerkolben.
6. Fülle ebenfalls während der Wartezeit die Bürette mithilfe des 50 mL Becherglases mit **0,1 M Natriumthiosulfat** auf die 0 mL-Marke auf.
7. Fülle den Messzylinder mit 25 mL destilliertem Wasser. Nimm nun den Kolben „Blindprobe“ aus der Dunkelkammer, öffne ihn vorsichtig und spüle mithilfe einer Pasteurpipette verbliebene Tropfen mit den 25 mL Wasser vom Stopfen und der Glaswand in den Kolben.

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

8. Gib mithilfe der anderen 5 mL-Spritze **2 mL Kaliumiodid-Lösung** zu dem Kolben und schwenke gut durch.
9. Titriere den Inhalt des Kolbens mit der Natriumthiosulfat-Lösung, bis dieser **nur noch schwach gelb** ist. Gib anschließend mithilfe einer Pasteurpipette ca. **10 Tropfen Stärke-Lösung** hinzu, sodass die Lösung dunkelblau wird. Titriere nun **tropfenweise!** bis der Inhalt des Kolbens **farblos** ist und notiere das Volumen der hinzugegebenen Natriumthiosulfat-Lösung.
10. Fülle die Bürette wieder mit Natriumthiosulfat-Lösung auf und wiederhole die Schritte 7-9 für die anderen beiden Erlenmeyerkolben.

Entsorgung:
Der Inhalt der Erlenmeyerkolben kann in den Ausguss entsorgt werden. Die Erlenmeyerkolben müssen für die nächste Gruppe von innen trocken sein.

Chemischer Hintergrund:
Aus chemischer Sicht werden Fette auch als Lipide bezeichnet. Die in den Lebensmitteln enthaltenen Fette gehören zu den Triglyceriden. Das heißt, dass es sich um dreifache Ester einer Fettsäure mit dem Alkohol Glycerin (Propan-1,2,3-triol) handelt (Abbildung 1). Sowohl tierische als auch pflanzenbasierte Lebensmittel können Fette enthalten. Tierische und pflanzliche Fette unterscheiden sich vor allem hinsichtlich ihres Schmelzpunktes, der bei den pflanzlichen Fetten zumeist deutlich niedriger liegt, sodass diese bei Raumtemperatur flüssig sind. Daher bezeichnet man sie auch als (fette) Öle. Der niedrigere Schmelzpunkt ist darauf zurückzuführen, dass pflanzliche Fettsäuren zumeist mehr Doppelbindungen als tierische enthalten. Für unseren Körper sind diese als ungesättigt bezeichneten Fettsäuren von großer Bedeutung. Gesättigte Fette, wie sie verstärkt in tierischen Produkten vorkommen, benötigt unser Körper nur in geringen Mengen – in zu großer Menge können sie Herzkrankheiten und andere Erkrankungen hervorrufen. Die Anzahl der Doppelbindungen eines Fettes ist daher dafür eine wichtige Kennzahl, wie gesund es bewertet wird. Es gilt plakativ: Je mehr Doppelbindungen, desto gesünder!

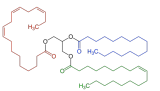



Abbildung 1: Beispielhaftes Triglycerid. Schwarz: Glycerinrest, blau: gesättigte Fettsäure, grün: einfach ungesättigte Fettsäure, rot: mehrfach ungesättigte Fettsäure

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Doppelbindungen lassen sich mithilfe der **elektrophilen Addition** nachweisen. Bei elektrophilen Additionen wird an die Kohlenstoffatome einer Doppelbindung jeweils ein Atom addiert, sodass die Doppelbindung aufklappt und zu einer Einfachbindung wird (Abbildung 2). Da Iod zu reaktionsträge für eine elektrophile Addition ist, wird im Wijs-Reagenz Iodchlorid (ICl) eingesetzt. Da die Bindung zwischen dem Iod- und dem Chlor-Atom polarisiert ist, ist die elektrophile Addition leichter möglich.

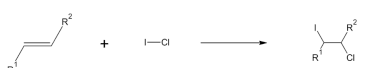


Abbildung 2: Elektrophile Addition mit Wijs-Reagenz an Doppelbindungen

Das Wijs-Reagenz wird im Überschuss zu den in Cyclohexan gelösten Fetten gegeben. Je mehr Doppelbindungen das zu untersuchende Fett enthält, desto weniger Iodchlorid bleibt nach einer Viertelstunde noch unverändert übrig. Durch Zugabe von Kaliumiodid-Lösung wird das überschüssige Iodchlorid in Iod umgewandelt (Abbildung 3).




Abbildung 3: Zugabe von Kaliumiodid zur Reaktionsmischung

Das so entstandene Iod zeigt sich durch eine braun-violette Farbe und kann mithilfe von Thiosulfationen zu Iodid-Ionen reduziert werden (Abbildung 4). Da Iodid-Ionen farblos sind, wird die Lösung im Laufe der Titration heller. Die kurz vor Ende der Titration zugegebene Stärke-Lösung dient als Indikator, mithilfe dessen der Umschlagpunkt gut zu erkennen ist. Stärke bildet mit Iod und Iodid-Ionen einen dunkelblauen Komplex (Iod-Stärke-Komplex). Sobald kein Iod mehr vorhanden ist, wird das Gemisch schlagartig farblos. Der Verbrauch an Thiosulfat gibt also letztlich an, wie viel Iodchlorid übrig geblieben ist.





Abbildung 4: Titration mit Natriumthiosulfat

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Beobachtungen:
Notiere hier die exakte Einwaage (e) an pflanzlichem Öl beziehungsweise tierischem Fett:

Pflanzliches Öl (e_{öl}): 0, _____ g Tierisches Fett (e_{fett}): 0, _____ g

Notiere hier den exakten Verbrauch an Natriumthiosulfat-Lösung, den du von der Bürette abliest:

Blindprobe (B): _____ mL

Pflanzliches Öl (H_{öl}): _____ mL

Tierisches Fett (H_{fett}): _____ mL

Ergebnis und Auswertung:
Die Iodzahl gibt an, wie viel Iod theoretisch an 100 g eines bestimmten Fettes addiert werden können. Um die Iodzahl zu bestimmen, muss zunächst bestimmt werden, wie viel mL Wijs-Lösung im Vergleich zur Blindprobe an das pflanzliche Öl beziehungsweise das tierische Fett addiert wurden. Dazu musst du den Verbrauch an Natriumthiosulfat-Lösung des jeweiligen Öles/Fettes (H) vom Verbrauch der Blindprobe abziehen (B):

$$V_{\text{öl}} = B - H_{\text{öl}} = \text{_____ mL}$$

$$V_{\text{fett}} = B - H_{\text{fett}} = \text{_____ mL}$$


Die Iodzahl berechnet sich nun aus einem bestimmten Faktor, der unter anderem die molare Masse von Iod mit einbezieht, sowie dem berechneten Volumen in mL und der Einwaage in g.

$$IZ_{\text{öl}} = 1,27 \cdot \frac{V_{\text{öl}}}{e_{\text{öl}}} = 1,27 \cdot \frac{\text{mL}}{\text{g}} = \text{_____}$$

$$IZ_{\text{fett}} = 1,27 \cdot \frac{V_{\text{fett}}}{e_{\text{fett}}} = 1,27 \cdot \frac{\text{mL}}{\text{g}} = \text{_____}$$

Erkläre, welches Fett das für den menschlichen Körper gesündere ist:



Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Nachweis von Anthocyanfarbstoffen

Infobox:
Als Anthocyane bezeichnet man pflanzliche (also natürliche) Farbstoffe, die beispielsweise für die Färbung von Rotkohl oder Radieschen verantwortlich sind. Da Anthocyane gut wasserlöslich sind, eignen sie sich besonders für die Färbung wasserreicher Lebensmittel, zu denen auch die Mortadella gehört. Im Gegensatz zur konventionellen Mortadella, die ihre charakteristische Farbe durch den Einsatz von Pökelsalz erhält, wäre die vegane Wurst grünlich bis gelblich, wenn man ihr keine Farbstoffe zufügen würde. Um ein auch optisch ähnliches Fleischimitat erzeugen zu können, muss die vegane Wurst daher eingefärbt werden. Die vegane Wurst wird daher unter anderem mit dem Anthocyan Cyanidin versetzt. Da alle Anthocyane zusätzlich pH-Indikatoren sind, kann man ihre Anwesenheit durch Veränderung des pH-Wertes einfach nachweisen. Die vegetarische Wurst hingegen erhält ihre fleischähnliche Farbe von Gewürzen, die im Produkt enthalten sind.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine **Schutzbrille**.

Salzsäure (1 M) und Natronlauge (1 M) reizen die Haut und können die Augen schädigen.

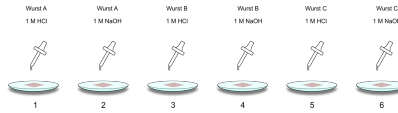
Materialien:

- 6 Uhrgläser
- Schneidebrett
- 3 Schneidmesser und Pinzetten
- Wurstproben A, B und C

Chemikalien:

- Tropfflasche mit 1 M Salzsäure
- Tropfflasche mit 1 M Natronlauge

Versuchsdurchführung:
Schneide die Wurstproben A, B und C zu kleinen Quadraten (ca. 2x2 cm), lege diese auf die Uhrgläser und füge, wie in der Abbildung beschrieben, jeweils einen Tropfen Salzsäure bzw. Natronlauge hinzu.




Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Entsorgung:
Die Wurstproben werden in den Hausmüll entsorgt. Alle Uhrgläser können anschließend am Waschbecken mit Wasser gereinigt und getrocknet werden.

Chemischer Hintergrund:
Während die konventionelle Mortadella ihre charakteristische Farbe durch den Zusatz von Pökelsalz erhält (Umröten), wäre die vegane Wurst eigentlich grünlich bis gelblich. Diese Farbe kommt vor allem durch den Hauptbestandteil Soja, aber auch durch das pflanzliche Öl zustande. Dass die vegane Mortadella farblich kaum von der konventionellen Variante zu unterscheiden ist, liegt am Einsatz pflanzlicher Farbstoffe. Dies ist vor allem der sogenannte Anthocyanfarbstoff Cyanidin. Anthocyane kommen in zahlreichen Pflanzen vor, einer der bekanntesten Vertreter davon ist der Rotkohl. Wie alle Anthocyane ist auch Cyanidin ein pH-Indikator, der also durch seine Farbe anzeigt, ob das umgebende Milieu sauer, neutral oder basisch ist. Das Zutropfen von Salzsäure oder Natronlauge verändert folgerichtig die Farbe des in der Wurst enthaltenen Anthocyanfarbstoffes. Die Wirkung eines Indikators liegt in der Änderung der Struktur durch Protonierung oder Deprotonierung begründet (Abbildung 1). Indikatoren selbst sind meist schwache Säuren. Im Gegensatz zur veganen Wurst enthält die vegetarische Wurst keine Anthocyane, da ihre Farbe durch den Einsatz verschiedener Gewürze erreicht wird.

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

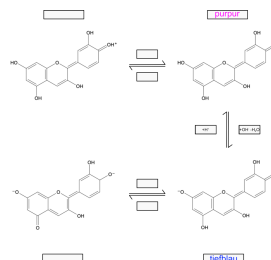



Abbildung 1: Cyanidin in sauren, neutralem und basischem Milieu.

Beobachtungen:

Uhrglas 1:	
Uhrglas 2:	
Uhrglas 3:	
Uhrglas 4:	
Uhrglas 5:	
Uhrglas 6:	

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst



Ergebnis:
Gib an, ob es sich bei Wurst A, B und C um das konventionelle, vegetarische oder vegane Wurstprodukt handelt. Gib ebenfalls an, ob du diese Aussage nicht eindeutig treffen kannst, und begründe dein Ergebnis anhand der Beobachtungen.


Wurst A: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst B: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst C: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

4


Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst



Nachweis von Phosphaten und Diphosphaten

Info:
Konventionellen Wurstprodukten wie der Mortadella auf Fleischbasis werden Stabilisatoren beigefügt, die Wasser in den Muskelfasern halten können. Durch den Zusatz von Stabilisatoren bleibt das Fleisch saftig. In der konventionellen Mortadella werden Diphosphate als Stabilisatoren eingesetzt. Als Diphosphate werden die Anionen mit der Summenformel $P_2O_7^{4-}$ bezeichnet. Sie sind daher das Kondensationsprodukt von zwei Phosphat-Anionen (PO_4^{3-}). Sowohl Phosphate als auch Diphosphate lassen sich auf verschiedene Arten nachweisen. Ein recht einfacher Nachweis erfolgt durch Testreagenzien, die auf der Bildung von „Molybdänblau“ basieren. Phosphat- und Diphosphat-Ionen lassen sich über die entstehende blaue Farbe auf dem Teststreifen nachweisen.
Während in der konventionellen Wurst ungefähr 250 mg Phosphat auf 100 g enthalten sind, sind in der vegetarischen Wurst nur ca. 30 mg enthalten. Auch die vegane Wurst enthält ein wenig Phosphat. Dies ist auf die in Eiern bzw. Soja natürlich vorkommenden Phosphate zurückzuführen.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine **Schutzbrille**.



Das **Phosphat-Test-Reagenz ist ätzend** und verursacht Haut- und schwere Augenreizungen.


Materialien:

- Phosphat-Test-Kit
- 3x Becherglas (600 mL)
- 3x Becherglas (50 mL)
- 1x Becherglas (1000 mL)
- Pürierstab
- Messer
- Schneidebrett
- Permanentmarker
- Waage
- Zellstoff/Papier
- Wurstproben A, B und C

Chemikalien:

- Spritzflasche mit destilliertem Wasser

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst




Versuchsdurchführung:

1. Fülle das 1000 mL Becherglas ungefähr zur Hälfte mit Leitungswasser.
2. Wiege in ein 600 mL Becherglas 5 g von Wurstprobe A ein.
3. Gib zu dem 600 mL Becherglas 50 mL destilliertes Wasser und püriere mit dem Pürierstab gut durch.
4. Spüle den Pürierstab in dem 1000 mL Becherglas mit Leitungswasser.
5. Fülle den Inhalt des 600 mL Becherglases in ein 50 mL Becherglas.
6. Halte ein Teststäbchen für eine Sekunde in das Becherglas und tupfe es vorsichtig mit einem Papiertuch ab.
7. Gib einen Tropfen der Testlösung auf das Reaktionsfeld des Teststäbchens, warte 15 Sekunden und tupfe das Teststäbchen erneut vorsichtig mit einem Papiertuch ab.
8. Lies nach einer Minute den Phosphatgehalt mithilfe der Skala auf der Verpackung der Teststäbchen ab.
9. Wiederhole die Schritte 1-8 für die Wurstproben B und C.

Entsorgung:
Die Suspension mit der pürierten Wurst kann in den Abfluss gespült werden. Achte darauf, ein wenig Wasser nachlaufen zu lassen.

Chemischer Hintergrund:
Phosphate und Diphosphate lassen sich auf zahlreiche Arten und Weisen nachweisen. Ein recht simpler Nachweis stellt die Reaktion mit Ammoniummolybdat dar, welches sich in den Teststäbchen befindet. Enthält eine Lösung Phosphat-Ionen, so bildet sich der gelbe Stoff Ammoniummolybdodphosphat. In der Tropfflasche ist Ascorbinsäure enthalten. Wird das entstandene Ammoniummolybdodphosphat mit Ascorbinsäure versetzt, bildet sich der Farbstoff „Molybdänblau“. Je mehr Phosphat eine Lösung enthält, desto intensiver färbt sich das Teststäbchen blau.
Die konventionelle Wurst enthält ungefähr 250 mg Phosphat auf 100g. Da auch in Eiklar und Soja Phosphate vorkommen, enthalten auch die vegetarische und vegane Wurst Phosphat. Der Gehalt liegt hier aber lediglich bei ca. 30 mg.

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst



Beobachtungen:

Phosphatgehalt Wurstprobe A: ca. _____ mg/L

Phosphatgehalt Wurstprobe B: ca. _____ mg/L

Phosphatgehalt Wurstprobe C: ca. _____ mg/L

Ergebnis:
Gib an, ob es sich bei Wurst A, B und C um das konventionelle, vegetarische oder vegane Wurstprodukt handelt. Gib ebenfalls an, ob du diese Aussage nicht eindeutig treffen kannst, und begründe dein Ergebnis anhand der Beobachtungen.


Wurst A: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst B: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst C: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Auswertung:
Die mithilfe der Teststäbchen ermittelten Werte entsprechen dem Phosphatgehalt auf 100 g Wurst. Ein ermittelter Wert von z.B. 100 mg/L entspricht also auch 100 mg Phosphat auf 100 g Wurst. Erkläre kurz, wieso dies so ist.



Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Nachweis von Vitamin C

Infobox:
Als Vitamin C wird für den menschlichen Körper essentielle Stoff Ascorbinsäure bezeichnet. Dieser übernimmt beim Menschen vielfältige Aufgaben. Dazu zählen zum Beispiel der Aufbau von Kollagen und Tyrosin sowie die Wirkung als Radikalfänger und Antioxidans, welches die Zellen vor oxidativem Stress schützt. Das Fehlen von Vitamin C kann zur schweren Krankheit Skorbut führen. Die aus chemischer Sicht reduzierende Wirkung der Ascorbinsäure wird in fetthaltigen Lebensmitteln eingesetzt, um diese länger haltbar zu machen, da die Fette ansonsten ranzig werden würden. Um die tierischen Fette der konventionellen Mortadella vor Oxidation zu schützen, wird dem Wurstprodukt Ascorbinsäure beifügt. Die vegetarische und vegane Mortadella enthalten hingegen keine Ascorbinsäure, da diese nicht so schnell ranzig werden.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine **Schutzbrille**.

Taubers Reagenz I enthält ortho-Phosphorsäure und ist daher **ätzend**. Trage beim Experimentieren **Schutzhandschuhe**.

Materialien:


<ul style="list-style-type: none"> - 5 Uhrgläser - Pasteurpipetten - 3 Schneidmesser und Pinzetten - Wurstproben A, B und C 	<p>Chemikalien:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tropfflasche mit 0,1 M Ascorbinsäure-Lösung - Spritzflasche mit dest. Wasser - Taubers Reagenz I und II
---	--

Versuchsdurchführung:

1. Gib auf das erste Uhrglas einen Tropfen destilliertes Wasser.
2. Gib auf das zweite Uhrglas einen Tropfen Ascorbinsäure-Lösung.
3. Gib auf die Uhrgläser drei, vier und fünf nun die Wurstproben A, B bzw. C.
4. Gib nun zu allen Uhrgläsern jeweils einen Tropfen Taubers Reagenz I und einen Tropfen Taubers Reagenz II hinzu.


Entsorgung:
Die Wurstproben werden in den Haushaltsmüll entsorgt. Alle Uhrgläser können anschließend am Waschbecken mit Wasser gereinigt und getrocknet werden.

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst


GreenLab_OS 

Chemischer Hintergrund:
Taubers Reagenz II enthält neben der ortho-Phosphorsäure (konz. Phosphorsäure) Eisen(III)-Ionen. In Taubers Reagenz II wird Kaliumhexacyanoferrat(III) (rotes Blutlaugensalz) in Wasser gelöst. Werden beide Lösungen zusammen auf ein ascorbinsäurehaltiges Lebensmittel gegeben, so kann zunächst das Kaliumhexacyanoferrat(III) zu Kaliumhexacyanoferrat(II) reduziert werden, wobei die Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure (DHA) oxidiert wird. Die Eisen(III)-Ionen aus Reagenz I können nun mit dem Hexacyanoferrat(II)-Anion den Farbstoff Berliner Blau bilden, dessen blaue Farbe als eindeutiger Nachweis für ascorbinsäurehaltige Lebensmittel dient. Die konzentrierte Phosphorsäure in Reagenz I sorgt für ein saures Milieu. Durch dieses wird verhindert, dass auch andere reduzierende Inhaltsstoffe im Lebensmittel für einen positiven Nachweis sorgen.


Hinweis: Das Pigment „Berliner Blau“ ist aus chemischer Sicht relativ komplex. Wichtig ist hier lediglich, dass ein Teil der Eisenhexacyanoferrat(III)-Ionen zu Eisenhexacyanoferrat(II)-Ionen reduziert werden.




Ascorbinsäure



Dehydroascorbinsäure



Cyanoferrat(III)-Anion




Cyanoferrat(II)-Anion

Beobachtungen:

Uhrglas 1:	
Uhrglas 2:	
Uhrglas 3:	
Uhrglas 4:	
Uhrglas 5:	

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Ergebnis:
Gib an, ob es sich bei Wurst A, B und C um das konventionelle, vegetarische oder vegane Wurstprodukt handelt. Gib ebenfalls an, ob du diese Aussage nicht eindeutig treffen kannst, und begründe dein Ergebnis anhand der Beobachtungen. Beziehe dabei auch die Bedeutung der Uhrgläser 1 und 2 für den Versuch mit ein.

Wurst A: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst B: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst C: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher


Auswertung:
Bei der Nachweisreaktion von Ascorbinsäure mit Taubers Reagenz handelt es sich um eine Redoxgleichung, bei der Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure oxidiert und ein Cyanoferrat(III)-Anion zu einem Cyanoferrat(II)-Anion reduziert wird. Stelle die Teilgleichungen und die Gesamtgleichung der Redoxreaktion auf.

Oxidation:

Reduktion:

Gesamtgleichung:


Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Nachweis von Nitriten

Infobox:
Natriumnitrit findet als Konservierungsmittel in verschiedenen Speisen Einzug und gehört somit zu den Zusatzstoffen. Konservierungsmittel tragen dazu bei, dass Lebensmittel länger haltbar sind und langsamer verderben. Der Prozess, Lebensmittel mit Natriumnitrit haltbar zu machen, wird auch als Pökeln bezeichnet. Beim Pökeln wird ein Gemisch verschiedener Salze (Natriumchlorid, Natriumnitrit, Natriumnitrat) verwendet, das auch als Pökelsalz bezeichnet wird. Die konventionelle Wurst enthält Natriumnitrit, um sie vor Bakterien zu schützen, die das Fleisch verderben könnten. Für die vegetarische und vegane Wurst werden kein Natriumnitrit benötigt. Da Natriumnitrit auch für den Menschen giftig ist, dürfen nur geringe Mengen verwendet werden. Darüber hinaus sollen gepökelte Speisen nicht angebraten werden, da die im Fleisch enthaltenen Proteine unter Hitze einwirkung mit Natriumnitrit zu krebserregenden Nitrosaminen reagieren können.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine **Schutzbrille**.



Materialien:

<ul style="list-style-type: none"> - 3 Uhrgläser - Schneidebrett - 3 Schneidmesser und Pinzetten - Wurstproben A, B und C 	<ul style="list-style-type: none"> - Nitrit-Teststäbchen (0,1-10 mg/L) - Permanentmarker - Feststoffabfall - Stoppuhr/Smartphone
---	--

Versuchsdurchführung:

1. Schneide aus Wurstprobe A ein ungefähr 2x2 cm großes Stück heraus und lege es auf ein Uhrglas.
2. Drücke ein Nitrit-Teststäbchen mit dem Testfeld direkt auf die Wurstprobe (eine Minute lang; Stoppuhr). Achte darauf, nicht zu stark zu drücken.
3. Wiederhole die Schritte 1 und 2 für die Wurstproben B und C.

Entsorgung:
Die Wurstproben werden in den Haushaltsmüll entsorgt. Die Teststäbchen können nach der Auswertung in den Feststoffabfall entsorgt werden. Messer, Schneidebrett und Uhrgläser können anschließend am Waschbecken mit Wasser gereinigt und getrocknet werden.

Schülerlabor GreenLab_OS

Es geht um die Wurst

**Chemischer Hintergrund:**

Pökelsalz ist eine Mischung aus Kochsalz (NaCl), Nitraten (NO_3^-) und Nitriten (NO_2^-). Zumeist werden dabei Natriumnitrat (NaNO_3) und Natriumnitrit (NaNO_2) verwendet. Pökelsalze sollen Fleischspeisen wie zum Beispiel Wurst vor dem Verderb schützen und zählen daher zu den Konservierungsmitteln. Dies gelingt, da vor allem das im Pökelsalz enthaltene Natriumnitrit giftig auf Bakterien wirkt, sodass diese sich auf dem Fleisch schlechter vermehren können. Neben der konservierenden Wirkung sorgt Pökelsalz auch für die klassische rötliche Farbe des Fleisches, indem das Natriumnitrit mit dem im Muskelgewebe enthaltenen Myoglobin reagiert und dieses oxidiert. Außerdem trägt Pökelsalz zum typischen „Fleischaroma“ bei.

Natriumnitrit wirkt allerdings nicht nur auf Mikroorganismen, sondern auch auf den Menschen giftig, weshalb strenge Richtlinien für den Einsatz von Pökelsalz gelten. So dürfen pro Kilogramm Fleisch in der EU maximal 100 mg Natriumnitrit zum Pökeln eingesetzt werden. Die Giftwirkung beruht vor allem darauf, dass Nitrite in der Lage sind, den Blutfarbstoff Hämoglobin zu Methämoglobin zu oxidieren. Konkret wird das zentrale Eisen(II)-Ionen im Hämoglobin zum Eisen(III)-Ionen oxidiert. Dadurch kann kein Sauerstoff mehr gebunden werden und die Versorgung des Körpers mit Sauerstoff wird eingeschränkt. Bei zu großen Mengen an Nitriten besteht die Gefahr einer tödlichen inneren Erstickung.

Außerdem können Nitrite unter Hitzeeinwirkung mit Eiweißen zu Nitrosaminen reagieren, die als krebserregend gelten. Gepökelte Speisen sollten daher nicht angebraten oder stark erhitzt werden. Der Nachweis von Nitrit beruht auf der Bildung eines sogenannten Azofarbstoffes im Teststäbchen. In den Teststäbchen sind die farblose Substanzen Sulfanilsäure und α -Naphthylamin enthalten. Darüber hinaus enthält der Teststreifen eine Säure. Bei Kontakt mit Nitriten wird die Sulfanilsäure in saurem Milieu zu einem sogenannten Diazoniumsalz (Diazonium-Ion) oxidiert, dabei entsteht außerdem Wasser. Das Diazoniumsalz bildet dann mit α -Naphthylamin einen roten Farbstoff. Je mehr Natriumnitrit auf das Teststäbchen gelangt, desto intensiver verfärbt sich das Testfeld.

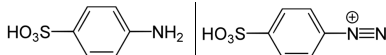


Abbildung 1: Strukturen von Sulfanilsäure (links) und dem Diazonium-Ion (rechts)

Schülerlabor GreenLab_OS

Es geht um die Wurst

**Beobachtungen:**

Probe A:	
Probe B:	
Probe C:	

Ergebnis:

Gib an, ob es sich bei Wurst A oder B um das konventionelle oder vegetarische Wurstprodukt handelt und begründe dein Ergebnis anhand der Beobachtungen.


Wurst A: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst B: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst C: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Auswertung:

Stelle anhand des „chemischen Hintergrundes“ und mithilfe von Elektronenübertragungspfeilen und Oxidationszahlen die Redoxreaktion zum Nachweis von Nitrit auf. Markiere dabei die verschiedenen Stickstoff-Atome mit unterschiedlichen Farben, um ihren Ursprung verdeutlichen zu können.

GreenLab_OS 

Schülerlabor GreenLab_OS


Es geht um die Wurst

Stelle die Gleichung für die Reaktion auf, die während der Titration abläuft (Fällungsreaktion).

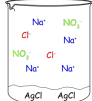
$$Na^+_{(aq)} + Cl^-_{(aq)} + Ag^+_{(aq)} + NO_3^-_{(aq)} \rightarrow Na^+_{(aq)} + NO_3^-_{(aq)} + AgCl_{(s)}$$

Unten siehst du vier leere Bechergläser. Zeichne zu vier verschiedenen Zeitpunkten der Titration die Ionen ein, die sich in der Lösung befinden. Wie verändert sich dabei die Gesamtzahl der Ionen in Lösung? Ordne den Bechergläsern folgende Aussagen zu: Höchste Leitfähigkeit, geringste Leitfähigkeit, Leitfähigkeit nimmt zu, Leitfähigkeit nimmt ab.

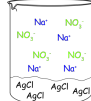
Hinweis: Am Äquivalenzpunkt sind die Stoffmengen der vorliegenden Chlorid-Ionen und der zugegebenen Silber-Ionen gleich.



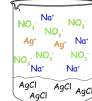
Vor der Titration
Höchste Leitfähigkeit



Vor dem Äquivalenzpunkt
Leitfähigkeit nimmt ab



Äquivalenzpunkt
Geringste Leitfähigkeit




Nach dem Äquivalenzpunkt
Leitfähigkeit nimmt zu

Beschreibe, wie sich die Leitfähigkeit im Laufe der Titration ändert. Erkläre diesen Sachverhalt mithilfe von Tabelle 1 und der Abbildung der Bechergläser.

Vor Beginn der Titration besitzt die Lösung ihre höchste elektrische Leitfähigkeit. Mit Beginn der Titration werden Chlorid-Ionen durch Silber-Ionen gefällt, während Nitrat-Ionen zur Lösung hinzugefügt werden. Die Anzahl der gefällten Chlorid-Ionen entspricht dabei der Anzahl der hinzugefügten Nitrat-Ionen. Da Nitrat-Ionen eine geringere Leitfähigkeit als Chlorid-Ionen besitzen, sinkt die Leitfähigkeit. Am Äquivalenzpunkt sind alle Chlorid-Ionen gefällt, sodass die Lösung hier die geringste Leitfähigkeit besitzt. Nach dem Äquivalenzpunkt steigt die Leitfähigkeit stark an, da nun überschüssig Silber-Ionen und Nitrat-Ionen hinzugefügt werden. Bis zum Äquivalenzpunkt ändert sich die Anzahl der Ionen in Lösung nicht.

4

GreenLab_OS 

Schülerlabor GreenLab_OS

Es geht um die Wurst

Beobachtungen:

Vor der Titration ist die Lösung farblos und klar. Auch die Silbernitrat-Lösung ist eine farblose Lösung. Bei Zutropfen der Silbernitrat-Lösung bildet sich ein weißer Niederschlag, der die Lösung trübt. Dieser setzt sich nach einiger Zeit am Boden ab. Bei Probe A bleibt der Niederschlag weiß, bei Probe B verfärbt er sich nach einiger Zeit grünlich, Probe C verbleibt weiß.

Wurstprobe A: Leitfähigkeitsminimum: _____ µS bei Zugabe von 20,6 ml AgNO₃

Wurstprobe B: Leitfähigkeitsminimum: _____ µS bei Zugabe von 22 ml AgNO₃

Wurstprobe C: Leitfähigkeitsminimum: _____ µS bei Zugabe von 25,3 ml AgNO₃

Ergebnis und Auswertung:

Berechne die Menge an Kochsalz, die in der von dir gewählten Wurstsorte enthalten ist.

Hinweis: Die molare Masse von Natriumchlorid beträgt $M_{NaCl} = 58,44 \text{ g/mol}$.

Probe A:	Probe B:
$n_{AgNO_3} = c \cdot V = 0,1 \text{ M} \cdot 0,0206 \text{ L} = 2,06 \text{ mmol}$	$n_{AgNO_3} = c \cdot V = 0,1 \text{ M} \cdot 0,0189 \text{ L} = 1,89 \text{ mmol}$
$n_{NaCl} = n_{AgNO_3} = 2,06 \text{ mmol} = 0,00206 \text{ mol}$	$n_{NaCl} = n_{AgNO_3} = 1,89 \text{ mmol} = 0,00189 \text{ mol}$
$m_{NaCl} = n \cdot M = 0,00206 \text{ mol} \cdot 58,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0,1203 \text{ g}$	$m_{NaCl} = n \cdot M = 0,00189 \text{ mol} \cdot 58,4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1} = 0,1104 \text{ g}$
$m_{NaCl, \text{lang}} = m + 20 = 0,1203 \text{ g} + 20 = 2,41 \text{ g}$	$m_{NaCl, \text{lang}} = m + 20 = 0,1104 \text{ g} + 20 = 2,21 \text{ g}$

Salzgehalt:

Wurst A: 2,41 g pro 100 g. A ist die vegetarische Wurst

Wurst B: 2,21 g pro 100 g. B ist die konventionelle Wurst

Wurst C: 2,71 g pro 100 g. B ist die vegane Wurst

Übertrage den berechneten Wert für die anderen Gruppen auf die Tafel neben dem Versuch. Übernimm dabei die Werte der anderen Gruppen.

4

GreenLab_OS 

Schülerlabor GreenLab_OS

Es geht um die Wurst

Bestimmung des Gehalts an ungesättigten Fettsäuren – Lösungsarbeitsblatt

Infobox:
Viele Lebensmittel enthalten Fette, die aus chemischer Sicht auch als Lipide bezeichnet werden. Fette sind unpolare, also in Wasser unlösliche Stoffe, die zu den Makronährstoffen zählen. Sie übernehmen im Körper zahlreiche Funktionen: Sie dienen als Reservestoff für die Energiegewinnung, sind Isolatoren gegen Kälte, transportieren fettlösliche Substanzen wie zum Beispiel die Vitamine A, D und E, schützen die inneren Organe und sind Bestandteile der Zellmembranen. Fette sind daher für den menschlichen Körper unverzichtbar. Fette können dahingehend unterschieden werden, dass sie fest (Fett) oder flüssig (Öl) sind. Das in der konventionellen Wurst enthaltene Schweinefett ist bei Raumtemperatur ein weißer Feststoff, die vegetarische und vegane Wurst basieren hingegen auf flüssigem, gelbem Rapsöl. Ob ein Fett fest oder flüssig ist, liegt vor allem an der Zahl seiner Doppelbindungen: Je mehr Doppelbindungen im Fett vorkommen, desto geringer ist sein Schmelzpunkt. Enthält ein Fett keine Doppelbindungen bezeichnet man es als „gesättigt“. Ungesättigte Fette enthalten hingegen mindestens eine Doppelbindung.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine Schutzbrille.


Wijs-Reagenz enthält konzentrierte Essigsäure und Iodchlorid und ist daher ätzend und leicht entzündlich. Trage beim Experimentieren Schutzhandschuhe und halte es von offenen Zündquellen fern. Das Arbeiten unter dem Abzug oder unter einer Absaugung ist verpflichtend!

Kaliumiodid-Lösung ist gesundheitsschädlich und kann die Organe schädigen. Trage beim Experimentieren Schutzhandschuhe.

Cyclohexan ist leicht entzündlich, reizt die Augen und die Haut, wirkt narotisierend, ist stark umweltgefährdend und kann beim verschlucken tödlich sein! Trage beim Experimentieren Schutzhandschuhe und halte es von offenen Zündquellen fern. Das Arbeiten unter dem Abzug oder unter einer Absaugung ist verpflichtend!



4

GreenLab_OS 

Schülerlabor GreenLab_OS

Es geht um die Wurst

Materialien:

- 1 Waage (zwei Nachkommastellen)
- 3 Erlenmeyerkolben (300 mL) mit Glasstopfen und Klammern
- Pasteurpipetten
- 2 Spritzen (z. B. 5 mL, 10 mL) mit Kanülen
- 2 kleine Spatel
- 1 Bürette (25 mL)
- 1 Heizmagnetrührer
- 2 Bechergläser (50 mL, 250 mL)
- 1 Messzylinder (25 mL)
- Permanentmarker
- „Dunkelkammer“ für Erlenmeyerkolben

Chemikalien:


- Rapsöl aus vegetarischer/vegane Wurst
- Schweinefett aus konventioneller Wurst
- Cyclohexan (in Injektionsfläschchen)
- Wijs-Reagenz (0,1 M, in Injektionsfläschchen)
- Kaliumiodid-Lösung (100 g/L, in Injektionsfläschchen)
- Stärke-Lösung (100 g/L)
- Natriumthiosulfat-Lösung (0,1 M)
- Destilliertes Wasser

Versuchsdurchführung:

1. Wiege mithilfe der Waage in je einen Erlenmeyerkolben **0,1 g Rapsöl** bzw. **0,2 g Schweinefett** ein und notiere die exakte Einwaage auf dem Arbeitsblatt. Beschrifte die beiden Erlenmeyerkolben, sodass du sie voneinander unterscheiden kannst.
2. Beschrifte den dritten Erlenmeyerkolben mit dem Wort „Blindprobe“. Fülle mithilfe einer 5 mL-Spritze mit Kanüle unter dem Abzug in alle 3 Erlenmeyerkolben jeweils **3 mL Cyclohexan** und verschließe die Kolben mithilfe der Glasstopfen und der Klammern.
3. Solte sich das Schweinefett nicht im Cyclohexan lösen, kannst du es unter Schwenken auf dem Heizmagnetrührer vorsichtig! erhitzen. Der Heizmagnetrührer darf dabei maximal auf **60 °C** eingestellt werden. Der Kolben muss anschließend wieder auf Raumtemperatur abkühlen.
4. Fülle mithilfe der 10 mL-Spritze unter dem Abzug in den Kolben „Blindprobe“ **10 mL Wijs-Reagenz** und verschließe den Kolben anschließend sofort mit Stopfen und Klammer. Schüttle diesen ca. 10 Sekunden lang kräftig durch und stelle ihn für **10 Minuten** in die Dunkelkammer.
5. Wiederhole während der Wartezeit Schritt 4 für die anderen beiden Erlenmeyerkolben.
6. Fülle ebenfalls während der Wartezeit die Bürette mithilfe des 50 mL Becherglases mit **0,1 M Natriumthiosulfat** auf die 0 mL-Marke auf.
7. Fülle den Messzylinder mit 25 mL destilliertem Wasser. Nimm nun den Kolben „Blindprobe“ aus der Dunkelkammer, öffne ihn vorsichtig und spüle mithilfe einer Pasteurpipette verbliebene Tropfen mit den 25 mL Wasser vom Stopfen und der Glaswand in den Kolben.

4

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

- Gib mithilfe der anderen 5 ml-Spritze 2 ml Kaliumiodid-Lösung zu dem Kolben und schwenke gut durch.
- Titriere den Inhalt des Kolbens mit der Natriumthiosulfat-Lösung, bis dieser nur noch schwach gelb ist. Gib anschließend mithilfe einer Pasteurpipette ca. 10 Tropfen Stärke-Lösung hinzu, sodass die Lösung dunkelblau wird. Titriere nun tropfenweise bis der Inhalt des Kolbens farblos ist und notiere das Volumen der hinzugegebenen Natriumthiosulfat-Lösung.
- Fülle die Bürette wieder mit Natriumthiosulfat-Lösung auf und wiederhole die Schritte 7-9 für die anderen beiden Erlenmeyerkolben.

Entsorgung:
Der Inhalt der Erlenmeyerkolben kann in den Ausguss entsorgt werden. Die Erlenmeyerkolben müssen für die nächste Gruppe von innen trocken sein.

Chemischer Hintergrund:
Aus chemischer Sicht werden Fette auch als Lipide bezeichnet. Die in den Lebensmitteln enthaltenen Fette gehören zu den Triglyceriden. Das heißt, dass es sich um dreifache Ester einer Fettsäure mit dem Alkohol Glycerin (Propan-1,2,3-triol) handelt (Abbildung 1). Sowohl tierische als auch pflanzenbasierte Lebensmittel können Fette enthalten. Tierische und pflanzliche Fette unterscheiden sich vor allem hinsichtlich ihres Schmelzpunktes, der bei den pflanzlichen Fetten zumeist deutlich niedriger liegt, sodass diese bei Raumtemperatur flüssig sind. Daher bezeichnet man sie auch als (fette) Öle. Der niedrigere Schmelzpunkt ist darauf zurückzuführen, dass pflanzliche Fettsäuren zumeist mehr Doppelbindungen als tierische enthalten. Für unseren Körper sind diese als ungesättigt bezeichneten Fettsäuren von großer Bedeutung. Gesättigte Fette, wie sie verstärkt in tierischen Produkten vorkommen, benötigt unser Körper nur in geringen Mengen – in zu großer Menge können sie Herzkrankheiten und andere Erkrankungen hervorrufen. Die Anzahl der Doppelbindungen eines Fettes ist daher dafür eine wichtige Kennzahl, wie gesund es bewertet wird. Es gilt plakativ: Je mehr Doppelbindungen, desto gesünder!

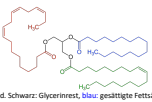



Abbildung 1: Beispielhaftes Triglycerid. Schwarze: Glycerinrest, blau: gesättigte Fettsäure, grün: einfach ungesättigte Fettsäure, rot: mehrfach ungesättigte Fettsäure

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Doppelbindungen lassen sich mithilfe der elektrophilen Addition nachweisen. Bei elektrophilen Additionen wird an die Kohlenstoffatome einer Doppelbindung jeweils ein Atom addiert, sodass die Doppelbindung aufklappt und zu einer Einfachbindung wird (Abbildung 2). Da Iod zu reaktionsträge für eine elektrophile Addition ist, wird im Wijs-Reagenz Iodchlorid (ICl) eingesetzt. Da die Bindung zwischen dem Iod- und dem Chlor-Atom polarisiert ist, ist die elektrophile Addition leichter möglich.

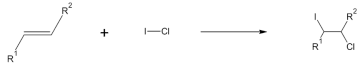


Abbildung 2: Elektrophile Addition mit Wijs-Reagenz an Doppelbindungen

Das Wijs-Reagenz wird im Überschuss zu den in Cyclohexan gelösten Fetten gegeben. Je mehr Doppelbindungen das zu untersuchende Fett enthält, desto weniger Iodchlorid bleibt nach einer Viertelstunde noch unverändert übrig. Durch Zugabe von Kaliumiodid-Lösung wird das überschüssige Iodchlorid in Iod umgewandelt (Abbildung 3).




Abbildung 3: Zugabe von Kaliumiodid zur Reaktionsmischung

Das so entstandene Iod zeigt sich durch eine braun-violette Farbe und kann mithilfe von Thiosulfat-Ionen zu Iodid-Ionen reduziert werden (Abbildung 4). Da Iodid-Ionen farblos sind, wird die Lösung im Laufe der Titration heller. Die kurz vor Ende der Titration zugegebene Stärke-Lösung dient als Indikator, mithilfe dessen der Umschlagspunkt gut zu erkennen ist. Stärke bildet mit Iod und Iodid-Ionen einen dunkelblauen Komplex (Iod-Stärke-Komplex). Sobald kein Iod mehr vorhanden ist, wird das Gemisch schlagartig farblos. Der Verbrauch an Thiosulfat gibt also letztlich an, wie viel Iodchlorid übrig geblieben ist.





Abbildung 4: Titration mit Natriumthiosulfat

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Beobachtungen:
Notiere hier die exakte Einwaage (e) an pflanzlichem Öl beziehungsweise tierischem Fett:

Pflanzliches Öl (e_{pl}): 0, 100 g **Tierisches Fett (e_{ti}):** 0, 200 g

Notiere hier den exakten Verbrauch an Natriumthiosulfat-Lösung, den du von der Bürette abliest:

Blindprobe (B): 19,55 mL
Pflanzliches Öl (H_{pl}): 11,00 mL
Tierisches Fett (H_{ti}): 10,00 mL

Ergebnis und Auswertung:
Die Iodzahl gibt an, wie viel Iod theoretisch an 100 g eines bestimmten Fettes addiert werden können. Um die Iodzahl zu bestimmen, muss zunächst bestimmt werden, wie viel mL Wijs-Lösung im Vergleich zur Blindprobe an das pflanzliche Öl beziehungsweise das tierische Fett addiert wurden. Dazu musst du den Verbrauch an Natriumthiosulfat-Lösung des jeweiligen Öles/Fettes (H) vom Verbrauch der Blindprobe abziehen (B):

$$V_{OI} = B - H_{OI} = 8,55 \text{ mL}$$

$$V_{Fett} = B - H_{Fett} = 9,55 \text{ mL}$$

Die Iodzahl berechnet sich nun aus einem bestimmten Faktor, der unter anderem die molare Masse von Iod mit einbezieht, sowie dem berechneten Volumen in mL und der Einwaage in g.


$$IZ_{OI} = 1,27 \cdot \frac{V_{OI}}{e_{pl}} = 1,27 \cdot \frac{8,55 \text{ mL}}{0,100 \text{ g}} = 108,1 \text{ (Abweichung } \pm 10)$$

$$IZ_{Fett} = 1,27 \cdot \frac{V_{Fett}}{e_{ti}} = 1,27 \cdot \frac{9,55 \text{ mL}}{0,200 \text{ g}} = 60,6 \text{ (Abweichung } \pm 10)$$

Erkläre, welches Fett das für den menschlichen Körper gesünder ist:

Das Fett, welches in der pflanzlichen Wurst enthalten ist, weist eine deutliche höhere Iodzahl als das tierische auf und enthält daher mehr Doppelbindungen. Da Fette mit höherem Doppelbindungsanteil gesünder sind, ist das pflanzliche Fett zu bevorzugen.

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Nachweis von Anthocyanfarbstoffen – Lösungsarbeitsblatt

Infobox:
Als Anthocyane bezeichnet man pflanzliche (also natürliche) Farbstoffe, die beispielsweise für die Färbung von Rotebete oder Radieschen verantwortlich sind. Da Anthocyane gut wasserlöslich sind, eignen sie sich besonders für die Färbung wasserreicher Lebensmittel, zu denen auch die Mortadella gehört. Im Gegensatz zur konventionellen Mortadella, die ihre charakteristische Farbe durch den Einsatz von Pökelsalz erhält, wäre die vegane Wurst grünlisch bis gelblich, wenn man ihr keine Farbstoffe zufügen würde. Um ein auch optisch ähnliches Fleischimitat erzeugen zu können, muss die vegane Wurst daher eingefärbt werden. Die vegane Wurst wird daher unter anderem mit dem Anthocyan Cyanidin versetzt. Da alle Anthocyane zusätzlich pH-Indikatoren sind, kann man ihre Anwesenheit durch Veränderung des pH-Wertes einfach nachweisen. Die vegetarische Wurst hingegen erhält ihre fleischähnliche Farbe von Gewürzen, die im Produkt enthalten sind.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine **Schutzbrille**.

Salzsäure (1 M) und **Natronlauge (1 M)** reizen die Haut und können die Augen schädigen.

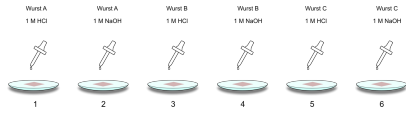
Materialien:

- 6 Uhrgläser
- Schneidebrett
- 3 Schneidmesser und Pinzetten
- Wurstproben A, B und C

Chemikalien:


- Tropfflasche mit 1 M Salzsäure
- Tropfflasche mit 1 M Natronlauge

Versuchsdurchführung:
Schneide die Wurstproben A und B zu kleinen Quadraten (ca. 2x2 cm), lege diese auf die Uhrgläser und füge, wie in der Abbildung beschrieben, jeweils einen Tropfen Salzsäure bzw. Natronlauge hinzu.



1

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst


GreenLab_OS 

Entsorgung:
Die Wurstproben werden in den Haushaltsmüll entsorgt. Alle Uhrgläser können anschließend am Waschbecken mit Wasser gereinigt und getrocknet werden.

Chemischer Hintergrund:
Während die konventionelle Mortadella ihre charakteristische Farbe durch den Zusatz von Pokesalz erhält (Umröten), wäre die vegane Wurst eigentlich grüulich bis gelblich. Diese Farbe kommt vor allem durch den Hauptbestandteil Soja, aber auch durch das pflanzliche Öl zustande. Dass die vegane Mortadella farblich kaum von der konventionellen Variante zu unterscheiden ist, liegt am Einsatz pflanzlicher Farbstoffe. Dies ist vor allem der sogenannte Anthocyanfarbstoff Cyanidin. Anthocyane kommen in zahlreichen Pflanzen vor, einer der bekanntesten Vertreter davon ist der Rotkohl. Wie alle Anthocyane ist auch Cyanidin ein pH-Indikator, der also durch seine Farbe anzeigt, ob das umgebende Milieu sauer, neutral oder basisch ist. Das Zutropfen von Salzsäure oder Natronlauge verändert folgerichtig die Farbe des in der Wurst enthaltenen Anthocyanfarbstoffes. Die Wirkung eines Indikators liegt in der Änderung der Struktur durch Protonierung oder Deprotonierung begründet (Abbildung 1). Indikatoren selbst sind meist schwache Säuren. Im Gegensatz zur veganen Wurst enthält die vegetarische Wurst keine Anthocyane, da ihre Farbe durch den Einsatz verschiedener Gewürze erreicht wird.

2

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

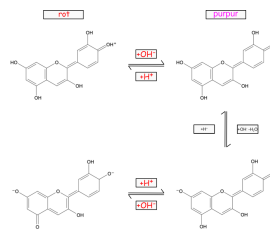



Abbildung 1: Cyanidin in saurem, neutralem und basischem Milieu.

Beobachtungen:

Uhrglas 1:	Wurstprobe verfärbt sich nicht
Uhrglas 2:	Wurstprobe verfärbt sich nicht
Uhrglas 3:	Wurstprobe verfärbt sich nicht
Uhrglas 4:	Wurstprobe verfärbt sich nicht
Uhrglas 5:	Wurstprobe verfärbt sich rot
Uhrglas 6:	Wurstprobe verfärbt sich grün/blau

3

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Ergebnis:
Gib an, ob es sich bei Wurst A, B und C um das konventionelle, vegetarische oder vegane Wurstprodukt handelt. Gib ebenfalls an, ob du diese Aussage nicht eindeutig treffen kannst, und begründe dein Ergebnis anhand der Beobachtungen.

Wurst A: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher


Wurst B: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst C: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Die vegane Wurst enthält pflanzliche Farbstoffe, damit diese eine ähnliche Farbe wie das Fleischprodukt erhält. Eine dieser Farbstoffe ist Cyanidin, ein Anthocyan, welches pH-abhängig seine Farbe ändert (pH-Indikator). Die konventionelle Wurst enthält kein Cyanidin. Cyanidin verfärbt sich im sauren rot, im basischen grün/blau. Da sich Wurstprobe C verfärbt, muss es sich dabei um die vegane Wurst handeln. Die Wurstproben A und B verfärbten sich nicht. Sie können daher nicht vegan sein, es ist aber nicht klar, welche von beiden die Fleischwurst und welche die vegane Wurst ist.

4


Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Nachweis von Phosphaten und Diphosphaten

Infobox:
Konventionellen Wurstprodukten wie der Mortadella auf Fleischbasis werden Stabilisatoren beigefügt, die Wasser in den Muskelfasern halten können. Durch den Zusatz von Stabilisatoren bleibt das Fleisch saftig. In der konventionellen Mortadella werden Diphosphate als Stabilisatoren eingesetzt. Als Diphosphate werden die Anionen mit der Summenformel PO_4^{3-} bezeichnet. Sie sind daher das Kondensationsprodukt von zwei Phosphat-Anionen (PO_4^{3-}). Sowohl Phosphate als auch Diphosphate lassen sich auf verschiedene Arten nachweisen. Ein recht einfacher Nachweis erfolgt durch Testreagenzien, die auf der Bildung von „Molybdänblau“ basieren. Phosphat- und Diphosphat-Ionen lassen sich über die entstehende blaue Farbe auf dem Teststreifen nachweisen.
Während in der konventionellen Wurst ungefähr 250 mg Phosphat auf 100 g enthalten sind, sind in der vegetarischen Wurst nur ca. 30 mg enthalten. Auch die vegane Wurst enthält ein wenig Phosphat. Dies ist auf die in Eiern bzw. Soja natürlich vorkommenden Phosphate zurückzuführen.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine Schutzbrille.



Das Phosphat-Test-Reagenz ist ätzend und verursacht Haut- und schwere Augenreizungen.

Materialien:


- Phosphat-Test-Kit
- 3x Becherglas (600 mL)
- 3x Becherglas (50 mL)
- 1x Becherglas (1000 mL)
- Pürierstab
- Messer
- Schneidebrett
- Permanentmarker
- Waage
- Zellstoff/Papier
- Wurstproben A, B und C

Chemikalien:

- Spritzflasche mit destilliertem Wasser

1

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Versuchsdurchführung:


1. Fülle das 1000 ml. Becherglas ungefähr zur Hälfte mit Leitungswasser.
2. Wiege in ein 600 ml. Becherglas 5 g von Wurstprobe A ein.
3. Gib zu dem 600 ml. Becherglas 50 ml. destilliertes Wasser und püriere mit dem Pürierstab gut durch.
4. Spüle den Pürierstab in dem 1000 ml. Becherglas mit Leitungswasser.
5. Fülle den Inhalt des 600 ml. Becherglases in ein 50 ml. Becherglas.
6. Halte ein Teststäbchen für eine Sekunde in das Becherglas und tupfe es vorsichtig mit einem Papiertuch ab.
7. Gib einen Tropfen der Testlösung auf das Reaktionsfeld des Teststäbchens, warte 15 Sekunden und tupfe das Teststäbchen erneut vorsichtig mit einem Papiertuch ab.
8. Lies nach einer Minute den Phosphatgehalt mithilfe der Skala auf der Verpackung der Teststäbchen ab.
9. Wiederhole die Schritte 1-8 für die Wurstproben B und C.

Entsorgung:
Die Suspension mit der pürierten Wurst kann in den Abfluss gespült werden. Achte darauf, ein wenig Wasser nachlaufen zu lassen.

Chemischer Hintergrund:
Phosphate und Diphosphate lassen sich auf zahlreiche Arten und Weisen nachweisen. Ein recht simpler Nachweis stellt die Reaktion mit Ammoniummolybdat dar, welches sich in den Teststäbchen befindet. Enthält eine Lösung Phosphat-Ionen, so bildet sich der gelbe Stoff Ammoniummolybdodiphosphat. In der Tropfflasche ist Ascorbinsäure enthalten. Wird das entstandene Ammoniummolybdodiphosphat mit Ascorbinsäure versetzt, bildet sich der Farbstoff „Molybdänblau“. Je mehr Phosphat eine Lösung enthält, desto intensiver färbt sich das Teststäbchen blau.
Die konventionelle Wurst enthält ungefähr 250 mg Phosphat auf 100g. Da auch in Eiklar und Soja Phosphate vorkommen, enthalten auch die vegetarische und vegane Wurst Phosphat. Der Gehalt liegt hier aber lediglich bei ca. 30 mg.

2

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Beobachtungen:

Phosphatgehalt Wurstprobe A: ca. 30 mg/L
Phosphatgehalt Wurstprobe B: ca. 250 mg/L
Phosphatgehalt Wurstprobe C: ca. 30 mg/L

Ergebnis:
Gib an, ob es sich bei Wurst A, B und C um das konventionelle, vegetarische oder vegane Wurstprodukt handelt. Gib ebenfalls an, ob du diese Aussage nicht eindeutig treffen kannst, und begründe dein Ergebnis anhand der Beobachtungen.

Wurst A: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher
Wurst B: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher
Wurst C: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher


Mithilfe der Teststäbchen kann der Phosphatgehalt halbquantitativ gemessen werden. Dabei zeigt Wurstprobe B mit ca. 250 mg/L einen deutlich höheren Phosphatgehalt als die Wurstproben A und C. Da nur in der Fleischwurst Phosphate und Diphosphate als Stabilisatoren eingesetzt werden, muss es sich hierbei um die Fleischwurst handeln.

Auswertung:
Die mithilfe der Teststäbchen ermittelten Werte entsprechen dem Phosphatgehalt auf 100 g Wurst. Ein ermittelter Wert von z.B. 100 mg/L entspricht also auch 100 mg Phosphat auf 100 g Wurst. Erkläre kurz, wieso dies so ist.

Für den Versuch werden 5 g Wurst in 50 ml dest. Wasser eingewogen. Hochgerechnet entspricht dies 100 g Wurst auf 1 l Wasser. Die Konzentration an Phosphaten, die aus 5 g Wurst in 50 ml Wasser herausgelöst werden, erzeugen somit die gleiche Massenkonzentration an Phosphaten wie 100 g Wurst in 1 l Wasser. Da die Menge an Phosphat, die in Wurstprodukten enthalten ist, auf 100 g Wurst bezogen wird, ergeben die hier eingesetzten Mengen ein entsprechendes Ergebnis.

3


Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Nachweis von Vitamin C – Lösungsarbeitsblatt

Infobox:
Als Vitamin C wird der für den menschlichen Körper essentielle Stoff Ascorbinsäure bezeichnet. Dieser übernimmt beim Menschen vielfältige Aufgaben. Dazu zählen zum Beispiel der Aufbau von Kollagen und Tyrosin sowie die Wirkung als Radikalfänger und Antioxidans, welches die Zellen vor oxidativem Stress schützt. Das Fehlen von Vitamin C kann zu schweren Krankheiten Scurvy führen. Die aus chemischer Sicht reduzierende Wirkung der Ascorbinsäure wird in fetthaltigen Lebensmitteln eingesetzt, um diese länger haltbar zu machen, da die Fette ansonsten ranzig werden würden. Um die tierischen Fette der konventionellen Mortadella vor Oxidation zu schützen, wird dem Wurstprodukt Ascorbinsäure beifügt. Die vegetarische und vegane Mortadella enthalten hingegen keine Ascorbinsäure, da diese nicht so schnell ranzig werden.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine **Schutzbrille**.



Taubers Reagenz I enthält ortho-Phosphorsäure und ist daher **ätzend**. Trage beim Experimentieren **Schutzhandschuhe**.

Materialien:
– 5 Uhrgläser
– Pasteurpipetten
– 3 Schneidmesser und Pinzetten
– Wurstproben A, B und C


Chemikalien:
– Tropfflasche 0,1 M Ascorbinsäure-Lösung
– Spritzflasche mit dest. Wasser
– 2 Tropfflaschen Taubers Reagenz I & II

Versuchsdurchführung:

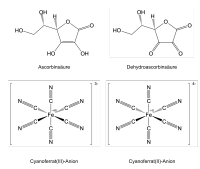
1. Gib auf das erste Uhrglas einen Tropfen destilliertes Wasser.
2. Gib auf das zweite Uhrglas einen Tropfen Ascorbinsäure-Lösung.
3. Gib auf die Uhrgläser drei, vier und fünf nun die Wurstproben A, B bzw. C.
4. Gib nun zu allen Uhrgläsern jeweils einen Tropfen Taubers Reagenz I und einen Tropfen Taubers Reagenz II hinzu.

Entsorgung:
Die Wurstproben werden in den Hausmüll entsorgt. Alle Uhrgläser können anschließend am Waschbecken mit Wasser gereinigt und getrocknet werden.

Schülerlabor GreenLab_OS
Es geht um die Wurst

GreenLab_OS 

Chemischer Hintergrund:
Taubers Reagenz I enthält neben der ortho-Phosphorsäure (Konz. Phosphorsäure) Eisen(III)-Ionen. In Taubers Reagenz II wird Kaliumhexacyanoferrat(III) (rotes Blutlaugensalz) in Wasser gelöst. Werden beide Lösungen zusammen auf ein ascorbinsäurehaltiges Lebensmittel gegeben, so kann zunächst das Kaliumhexacyanoferrat(III) zu Kaliumhexacyanoferrat(II) reduziert werden, wobei die Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure (DHA) oxidiert wird. Die Eisen(III)-Ionen aus Reagenz I können nun mit dem Hexacyanoferrat(II)-Anion den Farbstoff Berliner Blau bilden, dessen blaue Farbe als eindeutiger Nachweis für ascorbinsäurehaltige Lebensmittel dient. Die konzentrierte Phosphorsäure in Reagenz I sorgt für ein saures Milieu. Durch dieses wird verhindert, dass auch andere reduzierende Inhaltsstoffe im Lebensmittel für einen positiven Nachweis sorgen.
Hinweis: Das Pigment „Berliner Blau“ ist aus chemischer Sicht relativ komplex. Wichtig ist hier lediglich, dass ein Teil der Eisenhexacyanoferrat(III)-Ionen zu Eisenhexacyanoferrat(II)-Ionen reduziert werden.




Ascorbinsäure Dehydroascorbinsäure

Cyanhexa[Fe]-Anion Cyanhexa[Fe]-Kation

Beobachtungen:

Uhrglas 1:	Keine Verfärbung, leicht gelbliche Farbe durch Taubers Reagenz II bleibt erhalten
Uhrglas 2:	Kurz nach Zugabe der Reagenzien färbt sich die Lösung tiefblau
Uhrglas 3:	Keine Verfärbung der Wurstprobe erkennbar (leicht rötlich)
Uhrglas 4:	Wurstprobe verfärbt sich dunkelblau
Uhrglas 5:	Keine Verfärbung der Wurstprobe erkennbar

Schülerlabor GreenLab_OS 


Es geht um die Wurst

Ergebnis:
Gib an, ob es sich bei Wurst A oder B um das konventionelle oder vegetarische Wurstprodukt handelt und begründe dein Ergebnis anhand der Beobachtungen. Beziehe dabei auch die Bedeutung der Uhrgläser 1 und 2 für den Versuch mit ein.

Wurst A: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher
 Wurst B: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher
 Wurst C: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Uhrgläser 1 und 2 dienen als Blind- bzw. Kontrollprobe. Die Blindprobe mit destilliertem Wasser verfärbt sich nicht, die Kontrollprobe mit Ascorbinsäure wird tiefblau. Folglich muss auch das ascorbinsäurehaltige Lebensmittel blau gefärbt sein. Dies ist bei Wurst B der Fall, diese ist daher das konventionelle Produkt. Da sich A und C nicht verfärbten, kann hier nicht eindeutig gesagt werden, bei welcher Probe es sich um das vegetarische bzw. das vegane Produkt handelt.

Auswertung:
Bei der Nachweisreaktion von Ascorbinsäure mit Taubers Reagenz handelt es sich um eine Redoxgleichung, bei der Ascorbinsäure zu Dehydroascorbinsäure oxidiert und ein Cyanoferrat(III)-Anion zu einem Cyanoferrat(II)-Anion reduziert wird. Stelle die Teilgleichungen und die Gesamtgleichung der Redoxreaktion auf.

Schülerlabor GreenLab_OS 

Es geht um die Wurst

Oxidation:

$$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$$

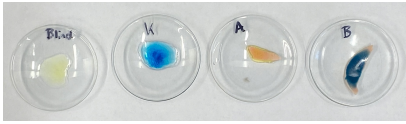
Reduktion:

$$\text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} + \text{e}^- \rightarrow \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$$


Gesamtgleichung:

$$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 + \text{Fe}(\text{CN})_6^{3-} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + \text{Fe}(\text{CN})_6^{4-} + 2\text{H}^+$$

Beobachtungen – Anhang:



Uhrglas 1: Blindprobe (dest. Wasser); Uhrglas 2: Kontrolle (0,1 M Ascorbinsäure-Lösung); Uhrglas 3: Wurstprobe A; Uhrglas 4: Wurstprobe B

Schülerlabor GreenLab_OS 

Es geht um die Wurst

Nachweis von Nitriten – Lösungsarbeitsblatt

Infobox:
Natriumnitrit findet als Konservierungsmittel in verschiedenen Speisen Einsatz und gehört somit zu den Zusatzstoffen. Konservierungsmittel tragen dazu bei, dass Lebensmittel länger haltbar sind und langsamer verderben. Der Prozess, Lebensmittel mit Natriumnitrit haltbar zu machen, wird auch als Pökeln bezeichnet. Beim Pökeln wird ein Gemisch verschiedener Salze (Natriumchlorid, Natriumnitrat, Natriumnitrit) verwendet, das auch als Pökelsalz bezeichnet wird. Die konventionelle Wurst enthält Natriumnitrit, um sie vor Bakterien zu schützen, die das Fleisch verderben könnten. Für die vegetarische und vegane Wurst werden kein Natriumnitrit benötigt. Da Natriumnitrit auch für den Menschen giftig ist, dürfen nur geringe Mengen verwendet werden. Darüber hinaus sollen gepökelte Speisen nicht angebraten werden, da die im Fleisch enthaltenen Proteine unter Hitzeeinwirkung mit Natriumnitrit zu krebserregenden Nitrosaminen reagieren können.

Sicherheitshinweise:
Trage zum Experimentieren immer eine **Schutzbrille**.


Materialien:

- 3 Uhrgläser
- Schneidebrett
- 3 Schneidmesser und Pinzetten
- Wurstproben A, B und C
- Nitrit-Teststäbchen (0,1-10 mg/L)
- Permanentmarker
- Feststoffabfall
- Stoppuhr/Smartphone

Versuchsdurchführung:

1. Schneide aus Wurstprobe A ein ungefähr 2x2 cm großes Stück heraus und lege es auf ein Uhrglas.
2. Drücke ein Nitrit-Teststäbchen mit dem Testfeld direkt auf die Wurstprobe (eine Minute lang; Stoppuhr). Achte darauf, nicht zu stark zu drücken.
3. Wiederhole die Schritte 1 und 2 für die Wurstproben B und C.

Entsorgung:
Die Wurstproben werden in den Haushaltsmüll entsorgt. Die Teststäbchen können nach der Auswertung in den Feststoffabfall entsorgt werden. Messer, Schneidebrett und Uhrgläser können anschließend am Waschbecken mit Wasser gereinigt und getrocknet werden.

Schülerlabor GreenLab_OS 

Es geht um die Wurst

Chemischer Hintergrund:
Pökelsalz ist eine Mischung aus Kochsalz (NaCl), Nitraten (NO₃⁻) und Nitriten (NO₂⁻). Zumeist werden dabei Natriumnitrat (NaNO₃) und Natriumnitrit (NaNO₂) verwendet. Pökelsalze sollen Fleischspeisen wie zum Beispiel Wurst vor dem Verderb schützen und zählen daher zu den Konservierungsmitteln. Dies gelingt, da vor allem das im Pökelsalz enthaltene Natriumnitrit giftig auf Bakterien wirkt, sodass diese sich auf dem Fleisch schlechter vermehren können. Neben der konservierenden Wirkung sorgt Pökelsalz auch für die klassische rötliche Farbe des Fleisches, indem das Natriumnitrit mit dem im Muskelgewebe enthaltenen Myoglobin reagiert und dieses oxidiert. Außerdem trägt Pökelsalz zum typischen „Fleischaroma“ bei. Natriumnitrit wirkt allerdings nicht nur auf Mikroorganismen, sondern auch auf den Menschen giftig, weshalb strenge Richtlinien für den Einsatz von Pökelsalz gelten. So dürfen pro Kilogramm Fleisch in der EU maximal 100 mg Natriumnitrit zum Pökeln eingesetzt werden. Die Giftwirkung beruht vor allem darauf, dass Nitrite in der Lage sind, den Blutfarbstoff Hämoglobin zu Methämoglobin zu oxidieren. Konkret wird das zentrale Eisen(II)-ion im Hämoglobin zum Eisen(III)-ion oxidiert. Dadurch kann kein Sauerstoff mehr gebunden werden und die Versorgung des Körpers mit Sauerstoff wird eingeschränkt. Bei zu großen Mengen an Nitriten besteht die Gefahr einer tödlichen inneren Erstickung. Außerdem können Nitrite unter Hitzeeinwirkung mit Eiweißen zu Nitrosaminen reagieren, die als krebserregend gelten. Gepökelte Speisen sollten daher nicht angebraten oder stark erhitzt werden. Der Nachweis von Nitrit beruht auf der Bildung eines sogenannten Azofarbstoffes im Teststäbchen. In den Teststäbchen sind die farblosen Substanzen Sulfanilsäure und α-Naphthylamin enthalten. Darüber hinaus enthält der Teststreifen eine Säure. Bei Kontakt mit Nitriten wird die Sulfanilsäure in saurem Milieu zu einem sogenannten Diazoniumsalz (Diazonium-Ion) oxidiert, dabei entsteht außerdem Wasser. Das Diazoniumsalz bildet dann mit α-Naphthylamin einen roten Farbstoff. Je mehr Natriumnitrit auf das Teststäbchen gelangt, desto intensiver verfärbt sich das Testfeld.

$$\text{HO}_3\text{S}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{NH}_2 \quad | \quad \text{HO}_3\text{S}-\text{C}_6\text{H}_4-\text{N}^+\equiv\text{N}$$

Abbildung 1: Strukturen von Sulfanilsäure (links) und dem Diazonium-Ion (rechts)

Schülerlabor GreenLab_OS

Es geht um die Wurst



Beobachtungen:

Probe A:	Das Teststäbchen verfärbt sich nach dem Aufdrücken auf die Wurstprobe A nur leicht pink/rosa (ca. 0,5 mg/L)
Probe B:	Das Teststäbchen verfärbt sich nach dem Aufdrücken auf die Wurstprobe B deutlich pink (ca. 5 mg/L)
Probe C:	Das Teststäbchen verfärbt sich nach dem Aufdrücken auf die Wurstprobe C nur leicht pink/rosa (ca. 0,5 mg/L)

Ergebnis:

Gib an, ob es sich bei Wurst A oder B um das konventionelle oder vegetarische Wurstprodukt handelt und begründe dein Ergebnis anhand der Beobachtungen.

Wurst A: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

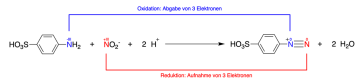
Wurst B: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Wurst C: Konventionell Vegetarisch Vegan unsicher

Da Fleischwurst gepökelt werden muss um sie länger haltbar zu machen, enthält sie Natriumnitrit. Wurstprobe B weist einen höheren Nitritgehalt auf und muss demnach die konventionelle Wurst sein. Zwischen A und C kann nicht unterschieden werden, da beide einen sehr geringen Nitritgehalt aufweisen.

Auswertung:

Stelle anhand des „chemischen Hintergrundes“ und mithilfe von Elektronenübertragungspfeilen und Oxidationszahlen die Redoxreaktion zum Nachweis von Nitrit auf. Markiere dabei die verschiedenen Stickstoff-Atome mit unterschiedlichen Farben, um ihren Ursprung verdeutlichen zu können.



Präsentation zum Schülerlaborsetting „Es geht um die Wurst“

UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

GreenLab_OS
Entdecken! Staunen! Experimentieren!



„Es geht um die Wurst“

UNIVERSITÄT OSNABRÜCK



GreenLab_OS
Entdecken! Staunen! Experimentieren!

Fragebogen zum Schülerlabor GreenLab_OS (Vortest)




- Scan den QR-Code und starte den Fragebogen
- Die Bearbeitung nimmt ca. 10 Minuten in Anspruch!

Vielen Dank für Deine Unterstützung!




Blindverkostung


Entwickelt Kriterien, anhand derer ihr die drei Wurstsorten „Fleisch“, „vegetarisch“ und „vegan“ voneinander unterscheiden könnt...




Geschmack




Geruch




Aussehen



Konsistenz/Gefühl






Blindverkostung – Abstimmung

Was glaubst du? Welche Wurstsorte ist welche?





Scanne den QR-Code mit dem Handy und stimme ab!





UNIVERSITÄT OSNABRÜCK



GreenLab_OS
Entdecken! Staunen! Experimentieren!

Die drei verschiedenen Produkte

Anhand welcher Bestandteile lassen sich die Lebensmittel unterscheiden?

*Schinken Spicker
Mortadella*

100 g enthalten durchschnittlich:

Brennwert	961 kJ
Fett	20 g
davon	
Gesättigte Fettsäuren	7,7 g
Einfach ungesättigte Fettsäuren	9,7 g
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	2,6 g
Kohlenhydrate	1,0 g
davon	
Zucker	1,0 g
Eiweiß	12 g
Salz	2,2 g

Zutaten:

74 % Schweinefleisch, Trinkwasser, Kochsalz, Traubenzucker, Glucosesirup, Gewürze, Gewürzextrakte, Stabilisator: Diphosphat; Antioxidationsmittel: Ascorbinsäure (Vitamin C), Konservierungsstoff: Natriumnitrit.

*Vegetarische Schinken Spicker
Mortadella*

100 g enthalten durchschnittlich:

Brennwert	643 kJ
Fett	15 g
davon	
Gesättigte Fettsäuren	1,2 g
Einfach ungesättigte Fettsäuren	9,5 g
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	4,3 g
Kohlenhydrate	2,1 g
davon	
Zucker	1,7 g
Stärke	<0,5 g
Eiweiß	7,8 g
Salz	2,4 g

Zutaten:

Trinkwasser, 14 % Rapsöl, 9 % Eiklar, Ballaststoffe aus Zichorie und Mais, Kochsalz, Verdickungsmittel: Xanthan, Johannisbrotkernmehl, Tarakernmehl; natürliches Aroma, Zucker, Gewürze, Farbstoffe: Paprikaextrakt.

*Veganer Aufschnitt
Lyoner*

100 g enthalten durchschnittlich:


Brennwert	487 kJ
Fett	11,7 g
davon	
Gesättigte Fettsäuren	0,9 g
Einfach/mehrfach unges. Fettsäuren	10,8 g
Kohlenhydrate	3,8 g
davon	
Zucker	2,9 g
Eiweiß	8,1 g
Salz	2,7 g

Zutaten:


Wasser, Rapsöl, Sojaproteinisolat, Verdickungsmittel: Carrageen, Konjak, Guarkernmehl; fermentierte Zwiebel, Dextrose, Gewürze, Erbsenproteinisolat, jodiertes Speisesalz, Gewürzextrakte, Zucker, Aromen, Farbstoff: Anthocyanine, Carotine.







UNIVERSITÄT OSNABRÜCK



GreenLab_OS
Entdecken! Staunen! Experimentieren!

Die drei verschiedenen Produkte

Anhand welcher Bestandteile lassen sich die Lebensmittel unterscheiden?

*Schinken Spicker
Mortadella*

100 g enthalten durchschnittlich:

Brennwert	961 kJ
Fett	20 g
davon	
Gesättigte Fettsäuren	7,7 g
Einfach ungesättigte Fettsäuren	9,7 g
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	2,6 g
Kohlenhydrate	1,0 g
davon	
Zucker	1,0 g
Eiweiß	12 g
Salz	2,2 g

Zutaten:

74 % Schweinefleisch, Trinkwasser, Kochsalz, Traubenzucker, Glucosesirup, Gewürze, Gewürzextrakte, Stabilisator: Diphosphat; Antioxidationsmittel: Ascorbinsäure (Vitamin C), Konservierungsstoff: Natriumnitrit.

*Vegetarische Schinken Spicker
Mortadella*

100 g enthalten durchschnittlich:

Brennwert	643 kJ
Fett	15 g
davon	
Gesättigte Fettsäuren	1,2 g
Einfach ungesättigte Fettsäuren	9,5 g
Mehrfach ungesättigte Fettsäuren	4,3 g
Kohlenhydrate	2,1 g
davon	
Zucker	1,7 g
Stärke	<0,5 g
Eiweiß	7,8 g
Salz	2,4 g

Zutaten:

Trinkwasser, 14 % Rapsöl, 9 % Eiklar, Ballaststoffe aus Zichorie und Mais, Kochsalz, Verdickungsmittel: Xanthan, Johannisbrotkernmehl, Tarakernmehl; natürliches Aroma, Zucker, Gewürze, Farbstoffe: Paprikaextrakt.




*Veganer Aufschnitt
Lyoner*

100 g enthalten durchschnittlich:

Brennwert	487 kJ
Fett	11,7 g
davon	
Gesättigte Fettsäuren	0,9 g
Einfach/mehrfach unges. Fettsäuren	10,8 g
Kohlenhydrate	3,8 g
davon	
Zucker	2,9 g
Eiweiß	8,1 g
Salz	2,7 g

Zutaten:

Wasser, Rapsöl, Sojaproteinisolat, Verdickungsmittel: Carrageen, Konjak, Guarkernmehl; fermentierte Zwiebel, Dextrose, Gewürze, Erbsenproteinisolat, jodiertes Speisesalz, Gewürzextrakte, Zucker, Aromen, Farbstoff: Anthocyanine, Carotine.

Experimentalphase

Sicherheitsaspekte / Sicherheitseinweisung



Im Labor/Chemieraum nicht essen und trinken!



Im Labor/Chemieraum jederzeit Schutzbrille tragen!



Bei Experimenten mit Gefahrstoffen lange Haare zusammenbinden!



Entsprechenden Umgang mit Gefahrstoffen beachten
(die Betreuer*innen weisen an den Stationen noch einmal darauf hin)

Experimentalphase

Experimente

1. Bestimmung des Brennwertes (Kalorimetrie)
2. Bestimmung des Salzgehaltes (Konduktometrie)
3. Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren (Iodzahlbestimmung)
4. Farbstoffe und Antioxidationsmittel
5. Konservierungsmittel und Stabilisatoren
6. Bewertungsstation – Nachhaltiger Fleischkonsum?



Viel Spaß beim Experimentieren!



Ergebnisse des Experimentierens

Stimme erneut ab: Welche Wurstprobe ist welche?




**Scanne den QR-Code mit dem Handy und stimme ab!**



Vorstellung der Ergebnisse

Experimente

1. Bestimmung des Brennwertes (Kalorimetrie)
2. Bestimmung des Salzgehaltes (Konduktometrie)
3. Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren (Iodzahlbestimmung)
4. Farbstoffe und Antioxidationsmittel
5. Konservierungsmittel und Stabilisatoren
6. Bewertungsstation – Nachhaltiger Fleischkonsum?



Vorstellung der Ergebnisse

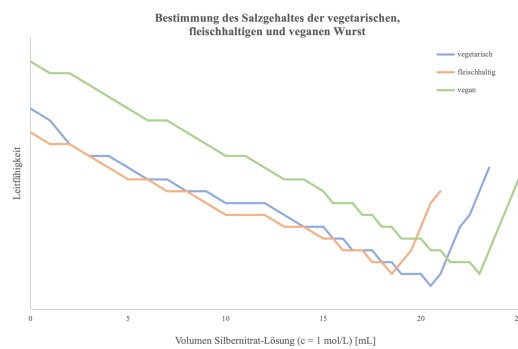
Experimente

1. Bestimmung des Brennwertes (Kalorimetrie)
2. Bestimmung des Salzgehaltes (Konduktometrie)
3. Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren (Iodzahlbestimmung)
4. Farbstoffe und Antioxidationsmittel
5. Konservierungsmittel und Stabilisatoren
6. Bewertungsstation – Nachhaltiger Fleischkonsum?



Vorstellung der Ergebnisse

Bestimmung des Salzgehaltes



Molare Leitfähigkeit verschiedener Ionen

Kation/Anion	Molare Leitfähigkeit
Natrium (Na ⁺)	50,1 S·cm ² ·mol ⁻¹
Silber (Ag ⁺)	61,9 S·cm ² ·mol ⁻¹
Chlorid (Cl ⁻)	76,4 S·cm ² ·mol ⁻¹
Nitrat (NO ₃ ⁻)	71,5 S·cm ² ·mol ⁻¹



Vorstellung der Ergebnisse

Experimente

1. Bestimmung des Brennwertes (Kalorimetrie)
2. Bestimmung des Salzgehaltes (Konduktometrie)
3. **Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren (Iodzahlbestimmung)**
4. Farbstoffe und Antioxidationsmittel
5. Konservierungsmittel und Stabilisatoren
6. Bewertungsstation – Nachhaltiger Fleischkonsum?



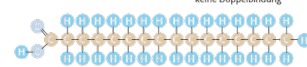
Vorstellung der Ergebnisse

Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren

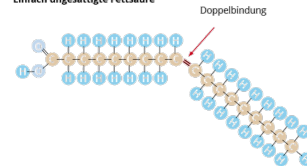


Schweinefett und Rapsöl

Gesättigte Fettsäure



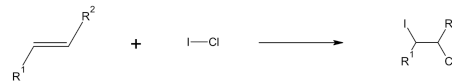
Einfach ungesättigte Fettsäure



Vorstellung der Ergebnisse

Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren

Zugabe von Wijs-Reagenz (Iodchlorid) zum gelösten Fett/Öl.



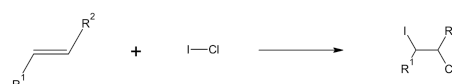
Vorstellung der Ergebnisse

Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren

Zugabe von Wijs-Reagenz (Iodchlorid) zum gelösten Fett/Öl.



Zugabe von Iodchlorid zum überschüssigen Wijs-Reagenz



Vorstellung der Ergebnisse

Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren

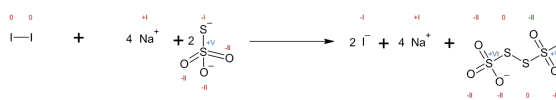
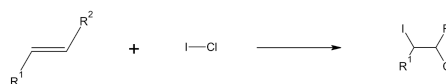
Zugabe von Wijs-Reagenz (Iodchlorid) zum gelösten Fett/Öl.



Zugabe von Iodchlorid zum überschüssigen Wijs-Reagenz



Titration der Lösung mit Natriumthiosulfat-Lösung



Vorstellung der Ergebnisse

Experimente

1. Bestimmung des Brennwertes (Kalorimetrie)
2. Bestimmung des Salzgehaltes (Konduktometrie)
3. Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren (Iodzahlbestimmung)
4. Farbstoffe und Antioxidationsmittel
5. Konservierungsmittel und Stabilisatoren
6. Bewertungsstation – Nachhaltiger Fleischkonsum?

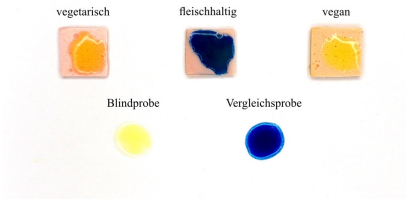


UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

GreenLab_OS
Entdecken! Staunen! Experimentieren!

Vorstellung der Ergebnisse

Nachweis von Vitamin C



Oxidation:

$$\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_6 \longrightarrow \text{C}_6\text{H}_6\text{O}_6 + 2\text{H}^+ + 2\text{e}^-$$

Reduktion:

$$\left[\text{Fe}(\text{CN})_6 \right]^{3-} + \text{e}^- \longrightarrow \left[\text{Fe}(\text{CN})_6 \right]^{4-}$$


UNIVERSITÄT OSNABRÜCK

GreenLab_OS
Entdecken! Staunen! Experimentieren!

Vorstellung der Ergebnisse

Experimente

- Bestimmung des Brennwertes (Kalorimetrie)
- Bestimmung des Salzgehaltes (Konduktometrie)
- Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren (Iodzahlbestimmung)
- Farbstoffe und Antioxidationsmittel
- Konservierungsmittel und Stabilisatoren**
- Bewertungsstation – Nachhaltiger Fleischkonsum?







Vorstellung der Ergebnisse



Bewertungsstation

1. Bestimmung des Brennwertes (Kalorimetrie)
2. Bestimmung des Salzgehaltes (Konduktometrie)
3. Ungesättigte und gesättigte Fettsäuren (Iodzahlbestimmung)
4. Farbstoffe und Antioxidationsmittel
5. Konservierungsmittel und Stabilisatoren
6. **Bewertungsstation – Nachhaltiger Fleischkonsum?**





Fragebogen zum Schülerlabor GreenLab_OS (Nachtest)



- Nun ist ein zweiter Fragebogen auszufüllen
- Scan den QR-Code und starte den Fragebogen
- Die Bearbeitung nimmt wieder ca. 10 Minuten in Anspruch!
- Nach ungefähr 6 Wochen schicken wir dir einen weiteren Fragebogen zu, der ebenfalls ca. 10 Minuten in Anspruch nimmt.

Vielen Dank für Deine Unterstützung!

Fragebögen der Begleitstudie – Pretest

grünlab.es – Vertext 30.07.2023, 16:33

Seite 01

Liebe Schölein, lieber Schüler,

indem du diesen Fragebogen ausfüllst, hilfst du, unser Schülerlabor zu verbessern. Dabei ist es wichtig, dass du alle Fragen wahrheitsgemäß und intuitiv beantwortest. Da es hierbei um keinen Leistungstest geht, kannst du nichts falsch machen. Die Befragung findet anonym statt und die Daten werden nicht an andere weitergegeben. Die Beantwortung des Fragebogens dauert ungefähr 10 Minuten.

Damit deine Daten richtig zugeordnet werden können, musst du einen Zuordnungscode erstellen. Dieser besteht aus der Zahl des Tages im Monat, an dem du Geburtstag hast, dem ersten und dritten Buchstaben des Vornamens deiner Mutter, sowie aus dem ersten und zweiten Buchstaben der Straße, in der du wohnst.
(Beispiel: 24. August, Petra Müller, Hauptstraße = 24P2H4)

Erstelle deinen persönlichen Zuordnungscode. Dieser sorgt dafür, dass deine Daten aus den Fragebögen miteinander verglichen werden können. Du bistest dabei anonym, sodass kein Rückschluss auf deine Person möglich ist. Mein Zuordnungscode lautet...

Der Tag, an dem ich geboren bin (Beispiel: 24.08.2003 = 24)

Der erste und dritte Buchstabe des Vornamens meiner Mutter (Beispiel: Petra Müller = PT)

Der erste und zweite Buchstabe der Straße, in der ich wohne (Beispiel: Hauptstraße = HA)

Seite 02
59

1. Welchem Geschlecht ordnest du dich zu?
Ich bin...

weiblich
 männlich
 divers

keine Angabe

2. Wie alt bist du?
Ich bin...

Jahre alt.

3. Welchen Schultyp besuchst du?
Ich besuche ein/a...

(Bitte ausfüllen)

4. Wie lautet der Name der Schule, die du besuchst?
Die Schule heißt...

5. In welcher Klassenstufe bist du zur Zeit?
Ich bin in Klassenstufe...

(Bitte ausfüllen)

5 aktive(r) Filter
Filter 5082/71
Wenn eine der folgenden Antwortoption(en) ausgewählt wurde: 6, 7
(Dann Frage/Thema 8039 gibt es in Fragebogen-Anzeige (nicht ausblenden))

6. Ich nehme am Schülerlabor zu folgendem Thema teil:
 (Bitte ausfüllen)

7. Wie nehme ich am Schülerlabor teil?
Ich nehme an/in der... teil.

(Bitte ausfüllen)

8. Ich ernähre mich...

fleischhaltig
 vegetarisch
 vegan
 Sonstiges, und zwar...
(z.B. pescetarisch, Paleo...)

Seite 03

9. Das Fach Chemie belege ich...

auf erhöhtem Anforderungsniveau (SA/Leistungskurs)
 als Prüfungsfach auf grundlegendem Anforderungsniveau (GA/Grundkurs)
 nicht als Prüfungsfach („Abkürzer“)
 als Seminarfach

nicht zutreffend

Seite 04

10. Bitte kreuzen an, inwiefern du zustimmst.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
Der Chemieunterricht macht mir Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In Chemieunterricht fühle ich mich wohl.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sobald ich den Chemieraum betrete, fühle ich mich unwohl.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 05

Seite 09

15. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
Die letzten Stunden in Chemie fand ich so spannend, dass ich noch mehr über dieses Thema wissen möchte.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Während des Chemieunterrichts der letzten Stunden sind mir viele Fragen in den Kopf gekommen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die letzten Chemiestunden haben mich richtig interessiert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die letzten Stunden in Chemie haben mich neugierig gemacht.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 10

14. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
Ich habe bemerkt, dass ich in den letzten Stunden in Chemie oft geistig abwesend war.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich hatte in den letzten Chemiestunden das Gefühl, dass sie gar nicht enden wollten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich habe mich während der letzten Chemiestunden oft mit anderen Dingen beschäftigt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In den letzten Chemiestunden habe ich gar nicht gemerkt, wie die Zeit verfliegt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 11
90

17. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
Es sollte mehr außerschulische Angebote geben, die uns an der Schule besuchen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich wünsche mir, mehr Lernorte außerhalb der Schule zu besuchen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 12
91

16. Im Folgenden siehst du verschiedene Aussagen. Bitte gib an, inwieweit du der jeweiligen Aussage zustimmst.

	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Nachhergemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder das Rauchen in den Weltmeeren empören mich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Klimawandel bedroht auch unsere Lebensgrundlagen in Deutschland.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es beunruhigt mich, wenn ich daran denke, in welchen Umweltverhältnissen zukünftige Generationen wahrscheinlich leben müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es macht mich wütend, wenn ich sehe, dass Deutschland seine Klimaschutzziele verfehlt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich freue mich über Initiativen, die nachhaltige Lebensweisen einfach ausprobieren, zum Beispiel Bioeierler oder „Plastiklöstentests Ökocheck“.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich ärgere mich, wenn mir andere Vorschriften vorschreiben, dass ich umweltbewusst leben soll.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Umweltproblematik wird von vielen Umweltschützern und Umweltschützern stark übertrieben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 13
92

19. Im Folgenden siehst du verschiedene Aussagen. Bitte gib an, inwieweit du der jeweiligen Aussage zustimmst.

	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Jede und jeder Einzelne trägt Verantwortung dafür, dass wir nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt hinterlassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wir sollten nicht mehr Rohstoffe verbrauchen, als nachwachsen können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mehr Umweltschutz bedeutet auch mehr Lebensqualität und Gesundheit für alle.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wir müssen Wege finden, wie wir unabhängig vom Wirtschaftswachstum gut leben können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es gibt natürliche Grenzen des Wachstums, die unsere industrialisierte Welt längst erreicht hat.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zugunsten der Umwelt sollten wir alle bereit sein, unseren derzeitigen Lebensstandard einzuschränken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für ein gutes Leben sind andere Dinge wichtig als Umwelt und Natur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wir brauchen in Zukunft mehr Wirtschaftswachstum, auch wenn das die Umwelt belastet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 14
uv

20. Im Folgenden geht es um dein persönliches Verhalten. Bitte gib „1“ an, wenn du das jeweilige nie tust oder „5“, wenn du es immer tust – mit den Zahlen dazwischen kannst du deine Antwort entsprechend deinem persönlichen Verhalten genauer abtufen.

	1 (nie)	2	3	4	5 (immer)	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Für meine alltäglichen Wege benutze ich das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel oder gehe zu Fuß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich mir etwas kaufe, achte ich darauf, dass die Produkte ein Umweltlabel oder Nachhaltigkeitslabel, wie zum Beispiel den „Blauen Engel“ oder das „EU-Biosiegel“ tragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wasser, Licht und elektrische Geräte lasse ich nur so lange an wie notwendig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

21. Im Folgenden geht es um weitere Verhaltensweisen. Bitte gib an, ob das Folgende auf dich persönlich zutrifft.

	ja	nein	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Ich engagiere mich aktiv für den Umwelt- und Klimaschutz.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 15
uvv

22. Im Folgenden geht es um dein persönliches Verhalten zum Thema Ernährung. Bitte gib „1“ an, wenn du das jeweilige nie tust, oder „5“, wenn du es immer tust – mit den Zahlen dazwischen kannst du deine Antwort entsprechend deinem persönlichen Verhalten abtufen.

	1 (nie)	2	3	4	5 (immer)	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Wenn ich zwischen einem Gericht mit und ohne Fleisch wählen kann, entscheide ich mich für die Variante ohne Fleisch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich weiß, dass die Tiere besser gehalten wurden, bezahle ich gerne mehr für mein Essen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bevor ich Lebensmittel kaufe, informiere ich mich zuerst über die Produktionsbedingungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert biologischem Anbau.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich achte darauf, mit meinem Essverhalten einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Letzte Seite

Vielen Dank für deine Teilnahme!

Wir möchten uns ganz herzlich für deine Mithilfe bedanken.
Deine Antworten wurden gespeichert, du kannst das Browser-Fenster nun schließen.

Fragebogen der Begleitstudie – Posttest

groedel_et -- Posttest 30.07.2023, 16:36
Seite 01

Liebe Schölein, lieber Schüler,

vielen Dank, dass du bereits einen ersten Fragebogen ausgefüllt hast. Um unser Schülerlabor zu verbessern, ist es wichtig, dass du auch diesen Fragebogen ausfüllst. Dabei ist es wichtig, dass du alle Fragen wahrheitsgemäß und intuitiv beantwortest. Da es hierbei um keinen Leistungstest geht, kannst du nichts falsch machen. Die Befragung findet anonym statt und die Daten werden nicht an andere weitergegeben. Die Beantwortung des Fragebogens dauert ungefähr 10 Minuten.

Damit deine Daten richtig zugeordnet werden können, musst du einen Zuordnungscode erstellen. Dieser besteht aus der Zahl des Tages im Monat, an dem du Geburtstag hast, dem ersten und dritten Buchstaben des Vornamens deiner Mutter, sowie aus dem ersten und zweiten Buchstaben der Straße, in der du wohnst.
(Beispiel: 24. August, Petra Müller, Hauptstraße = 24PT15A)

Erstelle deinen persönlichen Zuordnungscode. Dieser sorgt dafür, dass deine Daten aus den Fragebögen miteinander verglichen werden können. Du bleibst dabei anonym, sodass kein Rückschluss auf deine Person möglich ist. Dein Zuordnungscode lautet...

Der Tag, an dem ich geboren bin (Beispiel: 24.08.2003 = 24)

Der erste und dritte Buchstabe des Vornamens meiner Mutter (Beispiel: Petra Müller = PT)

Der erste und zweite Buchstabe der Straße, in der ich wohne (Beispiel: Hauptstraße = HA)

Seite 02
71

1. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Chemieunterricht macht mir Spaß.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In Chemieunterricht fühle ich mich wohl.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sobald ich den Chemieraum betrete, fühle ich mich unwohl.					

Seite 03
92

2. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experimente durchzuführen, macht mir einfach Spaß.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich finde es wichtig, mich mit naturwissenschaftlichen Fragen auseinanderzusetzen.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Naturwissenschaften bringen mir Spaß.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigsten Dingen.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich an einem Experiment sitze, kann es sein, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.					

Seite 04
93

3. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chemische Themen zu lernen fällt mir leicht.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kein Mensch kann alles. Für Chemie habe ich einfach keine Begabung.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bei manchen Inhalten weiß ich vor vornherein: „Das versteht ich nie.“					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für das Durchführen von chemischen Experimenten habe ich einfach kein Händchen.					
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich treibe mir in Chemie einiges zu.					

Seite 09
gso

8. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	keine stimmige Angabe möglich
Es sollte mehr außerschulische Angebote geben, die uns an der Schule besuchen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich wünsche mir, mehr Lernorte außerhalb der Schule zu besuchen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich finde es sehr motivierend, einen Tag im Rahmen des Schülerlabors zu experimentieren.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich möchte lieber nicht nochmal am Schülerlabor teilnehmen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Besuch des Schülerlabors hat mein Interesse am Chemiekunterricht gestärkt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 10
uk

9. Im Folgenden siehst du verschiedene Aussagen. Bitte gib an, inwiefern du der jeweiligen Aussage zustimmst.

	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	weiß nicht / keine stimmige Angabe möglich
Menschgemachte Umweltprobleme wie die Abholzung der Wälder oder die Plastik in den Weltmeeren empfinden mich.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Klimawandel bedroht auch unsere Lebensgrundlagen in Deutschland.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es beunruhigt mich, wenn ich daran denke, in welchen Umweltverhältnissen zukünftige Generationen wahrscheinlich leben müssen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es macht mich wütend, wenn ich sehe, dass Deutschland seine Klimaschutzziele verfehlt.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich freue mich über Initiativen, die nachhaltige Lebensweisen einfach ausprobieren, zum Beispiel Ökostädter oder „Plastikloses Danneberg“.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich ärgere mich, wenn mir andere vorrechnen wollen, dass ich umweltbewusst leben soll.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die Umweltproblematik wird von vielen Umweltschützerinnen und Umweltschützern stark übertrieben.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 11
uk

10. Im Folgenden siehst du verschiedene Aussagen. Bitte gib an, inwiefern du der jeweiligen Aussage zustimmst.

	stimme gar nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	weiß nicht / keine stimmige Angabe möglich
Jede und jeder Einzelne trägt Verantwortung dafür, dass wir nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt hinterlassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wir sollten nicht mehr Rohstoffe verbrauchen, als nachwachsen können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mehr Umweltschutz bedeutet auch mehr Lebensqualität und Gesundheit für alle.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wir müssen Wege finden, wie wir unabhängig vom Wirtschaftswachstum gut leben können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es gibt natürliche Grenzen des Wachstums, die unsere industrialisierte Welt längst erreicht hat.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zugunsten der Umwelt sollten wir alle bereit sein, unseren derzeitigen Lebensstandard einzuschränken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für ein gutes Leben sind andere Dinge wichtiger als Umwelt und Natur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wir brauchen in Zukunft mehr Wirtschaftswachstum, auch wenn das die Umwelt belastet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 12
uv

11. Im Folgenden geht es um dein persönliches Verhalten. Bitte gib „1“ an, wenn du das jeweilige nie tust, oder „6“, wenn du es immer tust – mit den Zahlen dazwischen kannst du deine Antwort entsprechend deinem persönlichen Verhalten genauer abstimmen.

	1 (nie)	2	3	4	5	6 (immer)	weiß nicht / keine stimmige Angabe möglich
Für meine alltäglichen Wege benutze ich das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel oder gehe zu Fuß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich mir etwas kaufe, achte ich darauf, dass die Produkte ein Umweltlogo oder Nachhaltigkeitslabel, wie zum Beispiel den „Blauen Engel“ oder das „EU-Biosiegel“ tragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wasser, Licht und elektrische Geräte lasse ich nur so lange an wie notwendig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Im Folgenden geht es um weitere Verhaltensweisen. Bitte gib an, ob das Folgende auf dich persönlich zutrifft.

	ja	nein	weiß nicht / keine stimmige Angabe möglich
Ich engagiere mich aktiv für den Umwelt- und Klimaschutz.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Im Folgenden geht es um dein persönliches Verhalten zum Thema Ernährung. Bitte gib „1“ an, wenn du das jeweilige nie tust, oder „6“, wenn du es immer tust - mit den Zahlen dazwischen kannst du deine Antwort entsprechend deinem persönlichen Verhalten einstufen.

1 (nie)	2	3	4	5	6 (immer)	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Wenn ich zwischen einem Gericht mit und ohne Fleisch wählen kann, entscheide ich mich für die Variante ohne Fleisch.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich weiß, dass die Tiere besser gehalten wurden, bezahle ich gerne mehr für mein Essen.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bevor ich Lebensmittel kaufe, informiere ich mich zuerst über die Produktionsbedingungen.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert biologischem Anbau.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich achte darauf, mit meinem Essverhalten einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Der Labortag „Es geht um die Wurst“ hat dafür gesorgt, dass ich jetzt bewusster über meine Ernährung nachdenke.					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Durch den Labortag „Es geht um die Wurst“ werde ich mein Essverhalten ändern.					
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Letzte Seite

Vielen Dank für deine Teilnahme!

Wir möchten uns ganz herzlich für deine Mithilfe bedanken.
Deine Antworten wurden gespeichert, du kannst das Browser-Fenster nun schließen.

Prof. Dr. Lars Otte, Universität Osnabrück - 2021

Fragebogen zur Begleitstudie – Follow-Up-Test

grinstek.es – Follow-Up-Test 30.07.2023, 16:37
Seite 01

Liebe Schölein, lieber Schüler,

vielen Dank, dass du vor einiger Zeit an unserem Schülerlabor teilgenommen und zwei Fragebögen ausgefüllt hast. Um unser Schülerlabor zu verbessern, ist es wichtig, dass du auch diesen Fragebogen ausfüllst. Dabei ist es wichtig, dass du alle Fragen wahrheitsgemäß und intuitiv beantwortest. Da es hierbei um keinen Leistungsaspekt geht, kannst du nichts falsch machen. Die Befragung findet anonym statt und die Daten werden nicht an andere weitergegeben. Die Beantwortung des Fragebogens dauert ungefähr 10 Minuten.

Damit deine Daten richtig zugeordnet werden können, musst du deinen Zuordnungscode aus den ersten beiden Fragebögen hier eingeben. Dieser besteht aus der Zahl des Tages im Monat, an dem du Geburtstag hast, dem ersten und dritten Buchstaben des Vornamens deiner Mutter, sowie aus dem ersten und zweiten Buchstaben der Straße, in der du wohnst. Solltest du in der Zwischenzeit umgezogen sein, gib bitte den ersten und zweiten Buchstaben der Straße an, in der du gewohnt hast, als du die ersten beiden Fragebögen ausgefüllt hast. (Beispiel: 24. August, Petra Müller, Hauptstraße = 24PTHM)

0002
Estelle deinen persönlichen Zuordnungscode. Dieser sorgt dafür, dass deine Daten aus den Fragebögen miteinander verglichen werden können. Du bleibst dabei anonym, sodass kein Rückschluss auf deine Person möglich ist. Mein Zuordnungscode lautet...

Der Tag, an dem ich geboren bin (Beispiel: 24.08.2003 = 24)

Der erste und dritte Buchstabe des Vornamens meiner Mutter (Beispiel: Petra Müller = PM)

Der erste und zweite Buchstabe der Straße, in der ich wohne (Beispiel: Hauptstraße = HA)

Seite 02
80

0001
1. Welchem Geschlecht ordnest du dich zu?
Ich bin...

weiblich
 männlich
 divers

keine Angabe

0001
2. Wie alt bist du?
Ich bin...

Jahre alt.

0004
3. Welchen Schultyp besuchst du?
Ich besuche ein/a...

(Bitte auswählen)

0006
4. Wie lautet der Name der Schule, die du besuchst?
Die Schule heißt...

0003
5. In welcher Klassenstufe bist du zur Zeit?
Ich bin in Klassenstufe...

(Bitte auswählen)

1 aktiver(r) Filter
Filter 0002/01
Wenn eine der folgenden Antwortoption(en) ausgewählt wurde: 6, 7
Dann Frage/Text: 0009 ergibt in Fragebogen-Anzeige (nicht ausblenden)

0011
6. Ich habe vor einiger Zeit am Schülerlabor zu folgendem Thema teilgenommen:
 (Bitte auswählen)

0013

0009
7. Wo habe ich am Schülerlabor teilgenommen?
Ich habe es/in der... teilgenommen.

(Bitte auswählen)

0009
8. Ich ernähre mich...

fleischhaltig
 vegetarisch
 vegan
 Sonstiges, und zwar...
z.B. pescetarisch, Paleo...

Seite 03

0009
9. Das Fach Chemie belege ich...

auf erhöhtem Anforderungsniveau (EA/Leistungskurs)
 als Prüfungsfach auf grundlegendem Anforderungsniveau (GA/Grundkurs)
 nicht als Prüfungsfach („Abkürzer“)
 als Seminarfach

nicht zutreffend

Seite 04

0009
10. Bitte kreuzen an, inwiefern du zustimmst.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
Der Chemieunterricht macht mir Spaß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In Chemieunterricht fühle ich mich wohl.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Sobald ich den Chemieraum betrete, fühle ich mich unwohl.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 05
0001

11. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experimente durchzuführen, macht mir einfach Spaß.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich finde es wichtig, mich mit naturwissenschaftlichen Fragen auseinanderzusetzen.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Naturwissenschaften bringen mir Spaß.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich Experimente durchführen kann, bin ich bereit, auch Freizeit dafür zu verwenden.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Naturwissenschaften gehören für mich persönlich zu den wichtigen Dingen.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich an einem Experiment sitze, kann es sein, dass ich gar nicht merke, wie die Zeit verfliegt.						

Seite 06

12. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Chemische Themen zu lernen fällt mir leicht.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Kein Mensch kann alles. Für Chemie habe ich einfach keine Begehung.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bei manchen Inhalten weiß ich von vornherein: „Das verstehe ich nie.“						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für das Durchführen von chemischen Experimenten habe ich einfach kein Händchen.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich freue mir in Chemie einiges zu.						

Seite 07

13. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Die letzten Unterrichtsstunden in Chemie haben mir Spaß gemacht.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch die letzte Chemiestunde freue ich mich richtig auf die kommende Stunde.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Chemieunterricht der letzten Stunde hat mich begeistert.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In den letzten Unterrichtsstunden des Faches Chemie fühle ich mich glücklich und zufrieden.						

Seite 08

14. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme zu	stimme voll und ganz zu	keine sinnvolle Angabe möglich
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Der Chemieunterricht in den letzten Stunden war für mich sehr frustrierend.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In den letzten Chemiestunden war ich oftig bei der Sache.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich wusste nicht, was ich mit den letzten Chemiestunden anfangen sollte.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich wusste in den letzten Chemiestunden nicht, was Sache ist.						
<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Von den letzten Stunden in Chemie war ich genervt.						

Seite 13
uvr

19. Im Folgenden siehst du verschiedene Aussagen. Bitte gib an, inwieweit du der jeweiligen Aussage zustimmst.

	stimme gar nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll zu	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Jede und jeder Einzelne trägt Verantwortung dafür, dass wir nachfolgenden Generationen eine lebenswerte Umwelt hinterlassen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wir sollten nicht mehr Kohlenstoffe verbrauchen, als nachwachsen können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Mehr Umweltschutz bedeutet auch mehr Lebensqualität und Gesundheit für alle.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wir müssen Wege finden, wie wir unabhängig vom Wirtschaftswachstum gut leben können.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Es gibt natürliche Grenzen des Wachstums, die unsere industrialisierte Welt längst erreicht hat.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zugunsten der Umwelt sollten wir alle bereit sein, unseren derzeitigen Lebensstandard einzuschränken.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Für ein gutes Leben sind andere Dinge wichtiger als Umwelt und Natur.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wir brechen in Zukunft mehr Wirtschaftswachstum, auch wenn das die Umwelt belastet.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

UVU3

Seite 14
uvr

20. Im Folgenden geht es um dein persönliches Verhalten. Bitte gib „1“ an, wenn du das jeweilige nie tust, oder „6“, wenn du es immer tust – mit den Zahlen dazwischen kannst du deine Antwort entsprechend deinem persönlichen Verhalten genauer abstimmen.

	1 (nie)	2	3	4	5	6 (immer)	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Für meine alltäglichen Wege benutze ich das Fahrrad, öffentliche Verkehrsmittel oder gehe zu Fuß.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich mir etwas kaufe, achte ich darauf, dass die Produkte ein Umweltlabel oder Nachhaltigkeitslabel, wie zum Beispiel den „Blauen Engel“ oder das „EU-Biosiegel“ tragen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wasser, Licht und elektrische Geräte lasse ich nur so lange an wie notwendig.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

21. Im Folgenden geht es um weitere Verhaltensweisen. Bitte gib an, ob das Folgende auf dich persönlich zutrifft.

	ja	nein	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Ich engagiere mich aktiv für den Umwelt- und Klimaschutz.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seite 15
uvr

UVU3

22. Im Folgenden geht es um dein persönliches Verhalten zum Thema Ernährung. Bitte gib „1“ an, wenn du das jeweilige nie tust, oder „6“, wenn du es immer tust – mit den Zahlen dazwischen kannst du deine Antwort entsprechend deinem persönlichen Verhalten abstimmen.

	1 (nie)	2	3	4	5	6 (immer)	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Wenn ich zwischen einem Gericht mit und ohne Fleisch wählen kann, entscheide ich mich für die Variante ohne Fleisch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Wenn ich weiß, dass die Tiere besser gehalten wurden, bezahle ich gerne mehr für mein Essen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Bevor ich Lebensmittel kaufe, informiere ich mich zuerst über die Produktionsbedingungen.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Zu den Hauptmahlzeiten esse ich Fleisch.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich kaufe Lebensmittel aus kontrolliert biologischem Anbau.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Ich achte darauf, mit meinem Essverhalten einen Beitrag zum Umweltschutz zu leisten.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

UVU3

23. Bitte kreuze an, inwiefern du zustimmst.

	stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	stimme eher nicht zu	stimme eher zu	stimme voll und ganz zu	weiß nicht / keine sinnvolle Angabe möglich
Der Labortag „Es geht um die Wurst“ hat dafür gesorgt, dass ich jetzt bewusster über meine Ernährung nachdenke.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Durch den Labortag „Es geht um die Wurst“ habe ich mein Essverhalten geändert.	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

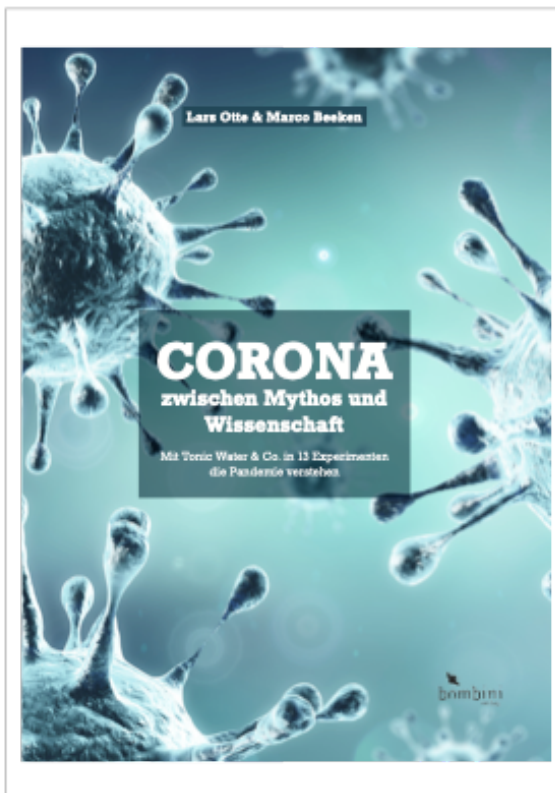
Letzte Seite

Vielen Dank für deine Teilnahme!

Wir möchten uns ganz herzlich für deine Mithilfe bedanken. Deine Antworten wurden gespeichert, du kannst das Browser-Fenster nun schließen.

R.D. Lars Otto, Universität Osnabrück – 2021

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft – Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen



Lars Otte, Marco Beeken

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Mit Tonic Water & Co. in 13 Experimenten die Pandemie verstehen



Wichtige Hinweise für den Benutzer

Die Informationen in diesem Buch wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler oder Unvollständigkeit vorkommen werden. Verlag, Autoren und Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für eventuell verbliebene Fehler und deren Folgen.

Alle Warennamen werden ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt und sind möglicherweise eingetragene Warenzeichen. Der Verlag richtet sich im Wissenschaftsbereich nach den Schreibweisen der Duden. Der Werk wissenschaftlich oder sonstiger Texte ist selbstverständlich geschützt. Alle Rechte vorbehalten, einschließlich der Vervielfältigung, Übersetzung, Mikroverfilmung sowie Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Kommentare und Fragen können Sie gerne an uns richten:
Bombini Verlag GmbH
Kaiserstraße 215
51113 Bonn
E-Mail: service@bombini-verlag.de

Copyright:
© 2021 by Bombini Verlag

Bibliografische Information: Der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Umschlaggestaltung: Agentur 'Herz Buch macht Wirkung', Oldenburg
(www.herz-buch.de)
Satz: El-ara, Haffner-Lorenz-Druckerei
Druck: Mediaprint Solutions, Heidelberg (www.mediaprint.de)

Service für Leihbibliothek
Zusammenfassungen für den Unterricht, wie zum Beispiel Arbeitsblätter zu den Experimenten, sind auf https://www.chemie-net.com/verlag/buchservice/leib_bk_chemie-net.com abrufbar.
Alternativ gelangen Sie mittels des QR-Codes zu den Materialien.



ISBN 978-3-948995-25-2
Dieses Buch ist zu 100% klimafreundlich gedruckt.

Autoren

Lars Otte, Jahrgang 1996, studierte von 2014 bis 2019 an der Universität Osnabrück Chemie und Biologie für das Lehramt an Gymnasien. Sein Studium schloss er im Januar 2019 mit dem Master of Education ab. Seit Februar 2019 promoviert er in der Doktorarbeit Chemie in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Marco Beeken an der Universität Osnabrück zu Effekten von stationären und mobilen Schülerlaboren im Kontext der Nachhaltigkeit. Darüber hinaus ist er seit Mai 2020 als wissenschaftlicher Mitarbeiter in einem Kooperationsprojekt der Universität und der Fachhochschule Südwestfalen für die Organisation und Durchführung digitaler Wettbewerbe für Mädchen während der Corona-Krise verantwortlich.



Prof. Dr. Marco Beeken, Jahrgang 1968, studierte von 2001 bis 2006 die Fächer Chemie und Biologie für das gymnasiale Lehramt an der Carl-von-Ossietzky-Universität Oldenburg. Von 2006 bis 2010 promovierte er dann in der Arbeitsgruppe Chemiedidaktik unter der Leitung von Ilka Fuchsmaier (Universität Oldenburg). In seiner Promotionsarbeit beschäftigte er sich zum einen mit der Förderung und Forderung von naturwissenschaftlich begabten Schülerinnen. Nach der Promotion absolvierte Beeken das Referendariat am Gymnasium Wilsenhausen und arbeitete danach als Studienrat. Im Jahr 2015 erhielt er einen Ruf auf eine Juniorprofessur für Chemiedidaktik an die Universität Osnabrück. Damals setzte Beeken seine Arbeiten im Bereich des Forschungsfeldes Wissenschaftskommunikation fort und gründete 2006 das Schülerlabor GreenLab, OS in Themen der Umweltökonomie und der Nachhaltigkeit. 2018 nahm Beeken den Ruf auf eine Professorin der Universität Osnabrück an. Aktuell koordiniert die Arbeitsgruppe weitere innovative Wissenschaftskommunikationsprojekte und setzt einen Schwerpunkt auf die experimentelle Erschließung von zentralen Themen der Initiative Fridays for Future. Nebenberuflich arbeitet Beeken auch heute noch für wenige Wochenstunden an einem Gymnasium.



Autoren



Franke Brochhage, Jahrgang 1995, studierte von 2013 bis 2018 an der Carl von Ossietzky Universität Oldenburg für das Lehramt an Gymnasien mit den Fächern Mathematik und Physik. Im Oktober 2018 schloss sie den Master of Education ab. Im Anschluss wechselte sie an die Universität Osnabrück und arbeitete als wissenschaftliche Mitarbeiterin im Arbeitskreis von Prof. Dr. Mirco Immlau an Projekten zur Wissenschaftskommunikation in der Physik mit. Seit 2019 promoviert sie in der Didaktik der Chemie in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Marco Becken zu einem Citizen-Science-Projekt mit dem Fokus Stickstoffbelastung von Gewässern und widmet sich dabei unter anderem der Bildung für nachhaltige Entwicklung.



Carina Jansen, Jahrgang 1997, studiert seit 2016 an der Universität Osnabrück die Fächer Biologie und Chemie für das Lehramt an Gymnasien. Im Dezember 2019 schloss sie den Bachelor of Science ab und fertigt aktuell ihre Abschlussarbeit zur Entwicklung eines Schülerlabors zum Thema COVID-19 für den Master of Education in der Didaktik der Chemie im Arbeitskreis von Prof. Dr. Marco Becken an.



Nils Kreienhop, Jahrgang 1995, studierte an der Universität Osnabrück Biologie und Chemie für das Lehramt an Gymnasien und schloss im Jahr 2020 den Master of Education ab. Seit Oktober 2020 promoviert er in der Didaktik der Chemie im Arbeitskreis von Prof. Dr. Marco Becken an der Universität Osnabrück zur Wirkung von experimentellen Kursangeboten in der Erwachsenenbildung auf das Umweltbewusstsein sowie Umwelverhalten.



Janet Lasmöller, Jahrgang 1994, studiert seit 2014 an der Universität Osnabrück die Fächer Biologie und Chemie für das Lehramt an Gymnasien. Sie arbeitete von 2019 bis 2020 als studentische Hilfskraft in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Marco Becken an der Universität Osnabrück. Seit 2020 ist sie als wissenschaftliche Mitarbeiterin in einem Kooperationsprojekt der Universität Osnabrück und der Fachhochschule Südwestfalen tätig, in welchem MakerInnen in Online-Wettbewerben zur Bewältigung von mit der Corona-Pandemie zusammenhängenden Herausforderungen beitragen.

4

Autoren



Hanno Penning, Jahrgang 1996, studiert seit 2016 an der Universität Osnabrück für das Lehramt an Gymnasien mit den Fächern Biologie und Chemie. Er war als studentische Hilfskraft in der Didaktik der Chemie in der Arbeitsgruppe von Prof. Dr. Marco Becken tätig und fertigt zur Zeit seine Abschlussarbeit zur Entwicklung eines Schülerlabors zum Thema COVID-19 an.



Renate Peper-Bienzeidler, Jahrgang 1952, war bis 2018 als Technische Angestellte an der Universität Oldenburg im Institut für Chemie beschäftigt. Sie hat lange Jahre auch die Zeitschrift CHEMKON redaktionell betreut.



Johann Schmidt, Jahrgang 1997, studiert seit 2015 an der Universität Osnabrück die Fächer Mathematik und Chemie für das Lehramt an Gymnasien. Von 2018 bis 2020 arbeitete er als studentische Hilfskraft in der Didaktik der Chemie Osnabrück unter der Leitung von Prof. Dr. Marco Becken. Seit 2020 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter in einem Kooperationsprojekt der Universität Osnabrück und der Fachhochschule Südwestfalen, bei dem er digitale Wettbewerbe für MakerInnen während der Corona-Krise organisiert.

5

Autoren

6

Inhalt

Autoren	3
1 Einleitung	9
2 How to read the book	15
3 Das Coronavirus in der Übersicht	18
4 Viren, wo man nur hinfasst?	21
Experiment: Die Virenverbreitung	26
5 Schmutziges Geld oder Geldwäsche?	37
Experiment: Die Rolle des Bargeldes bei der Virusübertragung	41
6 Verhindert das Einhalten des Sicherheitsabstandes eine Ansteckung?	49
Experiment: Tröpfchenausstoß	52
7 Eindämmung der Pandemie durch das Tragen von Masken	59
Experiment 1: Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken – Kerzen löschen	63
Experiment 2: Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken – Masken in grünem Licht	64
8 Reinigung von Masken	71
Experiment: Masken backen	73
9 Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus!	81
Experiment 1: Emulgierende Wirkung von Seife	87
Experiment 2: Dispergierende Wirkung von Seife	90

7

10 Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht! 97
 Experiment 1: Herstellung von Desinfektionsmitteln 102
 Experiment 2: Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren 105

11 Injektion von Desinfektionsmittel 113
 Experiment: Desinfektionsmittel im Blut 118

12 Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer? ... 123

13 Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es Infizierte gibt 135

14 Reproduktionszahlen sind out... 149

15 Eine unberechenbare Zukunft? 159
 Digitales Experiment: Das Coronavirus im virtuellen Politiklabor 166

16 Flatten the curve 173

17 Winterzeit ist Grippezeit. Im Sommer wird das Coronavirus von alleine verschwinden! 183
 Experiment: Aerosole in feuchter und trockener Luft 189

Danksagung 194

Index 195

Einleitung



Corona. Kein anderes Wort dominiert die Medienlandschaft im Jahre 2020 so sehr wie dieses. Das ist kaum verwunderlich, gibt es doch kaum ein stärker einschneidendes globales Ereignis in den letzten Jahren als die Corona-Pandemie. Die damit verbundenen Auswirkungen auf alle Menschen in Deutschland, aber auch in Europa und auf dem gesamten Globus werden dementsprechend in den Nachrichten, den sozialen Netzwerken und vorrangig im sozialen Miteinander eines jeden Einzelnen wiedergespiegelt.

Der Beginn der Corona-Pandemie stellt daher auch einen Bruch zum vorherigen Weltgeschehen dar. Besonders in der westlichen Welt befand sich das Leben in den letzten Jahren in vielen Ländern auf der Überholspur Wirtschaftlicher Aufschwung, ein großer werdendes Realeinkommen, sinkende Arbeitslosenquoten und zunehmender Komfort sind nur wenige Kennzahlen, die das Leben in Europa, Nordamerika, aber sicherlich auch Teilen der gesamten Welt »vor Corona«

Kapitel 1 | Einleitung

bestimmt haben. Hinzu kommt ein immer schneller werdender technischer Fortschritt, der es nahezu jeder Person ermöglicht, ohne Zeitverzug auf dem ganzen Planeten Kontakte zu knüpfen, der Arbeit nachzugehen oder mit FreundInnen zu kommunizieren. Das der –vielmals auch kritisierte – technische Fortschritt unwesentlich später eine der bedeutsamsten Ressourcen im Kampf gegen das Virus sein würde, war gegen Ende des Jahres 2019 sicherlich noch nicht im Fokus.

Zum Jahreswechsel 2019/2020, spätestens aber im Januar 2020, kam es zu vermehrten Berichterstattungen über ein neuartiges Virus, das mutmaßlich auf einem Wildtiermarkt in der chinesischen Millionenstadt Wuhan auf den Menschen übergetreten ist. Nach ersten Analysen konnte es in die Familie der Coronaviren eingeordnet werden, eine Virusfamilie, die für zahlreiche Erkältungskrankheiten ursächlich und seit vielen Jahren bekannt ist. Über die genaue Herkunft des als SARS-CoV-2 bezeichneten neuartigen Coronavirus wurde viel spekuliert und auch abschließend kann nicht eindeutig geklärt werden, ob in Wuhan wirklich die Erstübertragung auf einen Menschen stattgefunden hat. Diese Unklarheit über die Herkunft des Virus ist wohl auch auf die Entscheidungsstrategien in China zurückzuführen. Sie spielten die Verbreitung des Virus und die damit verbundene, als COVID-19 bezeichnete Krankheit solange herunter, bis in China die Infektionszahlen explosionsartig in die Höhe schossen, Krankenhäuser an ihre Belastungsgrenzen kamen und auch die Todeszahlen stark anstiegen. Trotz der alarmierenden Zahlen wurde das Virus in Europa und den USA lange nicht als Bedrohung angesehen, auch dann noch nicht, als auch bei uns in Deutschland die ersten Infektionszahlen gemeldet wurden. Dennoch wurden schon im Januar und Anfang Februar durch Gesundheitsämter bereits systematisch Infektionscluster aufgespürt und infizierte Personen in Quarantäne geschickt – eine Begrifflichkeit, die im Jahre 2020 eine Renaissance erlebt hat. Nur wenige Wochen später nahm auch in Europa das Infektionsgeschehen exponentiell zu, sodass zum ersten Mal von einer »Corona-Pandemie« gesprochen wurde und anfängliche Eindämmungsmaßnahmen der Gesundheitsämter keine Wirkung mehr zeigen konnten. In Italien, Spanien, Österreich, aber auch in Deutschland stiegen die Infektionszahlen drastisch an, sodass zunächst als dystopisch anmutende Maßnahmen zur Realität wurden: Als bundesweit schrittweise – oder spätestens ab dem 22. März – Geschäfte geschlossen wurden, Home-Office für viele BürgerInnen zur Pflicht wurde und andere gar Kurzar-

Einleitung

beit antreten mussten, war die Pandemie in Deutschland endgültig angekommen. Für viele von uns bedeutete dies eine plötzliche Neuausrichtung alltäglicher Gegebenheiten: Aus dem Restaurant- oder Barbesuch mit FreundInnen wurde maximal ein gemeinsames Kochen mit dem besten Freund oder der besten Freundin. Aus großen Besprechungen in Konferenzräumen wurden Online-Meetings. Und aus Konzert- oder Theaterbesuchen wurden Filmabende – zum Teil allein vor dem Fernseher. Alle Maßnahmen bedeuteten teilweise schmerzhafte Einschnitte in die Lebensqualität. Nicht verwunderlich erscheint es daher, dass bereits im März die Entscheidungen der Bundesregierung, einen sogenannten »Lockdown« durchzusetzen, vielerorts kritisiert wurden. Neben der Beeinträchtigung des »Freizeitsektors« mussten viele MitbürgerInnen um ihren Arbeitsplatz kämpfen oder haben diesen inzwischen verloren. Da Deutschland allerdings so schnell mit starken Maßnahmen und Kontaktbeschränkungen auf die Situation reagiert hat, kann heute gesagt werden, dass im Frühjahr 2020 das Infektionsgeschehen verlangsamt und Überlastungssituationen in den Krankenhäusern weitestgehend vermieden werden konnten.

Die zum Sommer sinkenden Infektionszahlen gaben ein vermeintliches Gefühl der Sicherheit: Bis vermutlich im Jahr 2021 ein Impfstoff vorhanden sein würde, könne das Infektionsgeschehen in Schach gehalten werden. Die Einschränkungen, dass ein Impfstoff für das Jahr 2021 zur Verfügung stehen würde, scheinen sich zu bestätigen. Die deutsche Firma »Biontech« meldete gegen Anfang November einen Durchbruch bei der Entwicklung eines Impfstoffes gegen COVID-19.

Die AutorInnen verfassen dieses Buch im Oktober und November 2020. Mit Beginn des Herbstes sind die Infektionszahlen dramatisch angestiegen und haben die bisherigen »Spitzenwerte« aus März und April bei Weitem übertroffen. Trotz der steigenden Fallzahlen und der damit verbundenen schweren Verläufe durch COVID-19 werden in Deutschland die Stimmen sogenannter »Corona-Kritiker« immer lauter. Viele von ihnen werden als »Corona-Leugner« bezeichnet, da sie teilweise die Krankheit für nichtexistent halten oder aber wissenschaftsbasierte und politische Entscheidungen kategorisch ablehnen. Dass politische Entscheidungen in einer demokratischen Gesellschaft kontrovers diskutiert werden, ist der Grundstein einer funktionierenden Teilhabe aller BürgerInnen am Gemeinwesen. Das Leugnen wissenschaftlicher Fakten lehnen allerdings alle AutorInnen dieses Buches vehement ab. Wir alle vertreten die Auffassung, dass COVID-19 eine ernstzunehmende Krankheit ist, die bei vielen Menschen symptomlos

Kapitel 1 | Einleitung

oder nur mit leichten Krankheitserscheinungen abläuft, in einigen Fällen aber sehr wohl extrem schwere oder gar tödliche Verläufe zeigt. Hiervon sind insbesondere ältere und vorerkrankte Personen betroffen. Zudem kann es in allen Altersgruppen zu den verschiedensten Folgeerkrankungen kommen, sodass viele Kliniken bereits sogenannte Post-COVID-Ambulanzen eingerichtet haben. Gezielt wollen wir daher mit diesem Buch dazu beitragen, das Virus besser zu verstehen und wissenschaftliche Erkenntnisse mithilfe von Texten und Do-It-Yourself Experimenten zu vermitteln.

Doch was genau ist die Motivation, ein solches Buch zu schreiben? In den politischen, gesellschaftlichen, aber zum Teil auch in den wissenschaftlichen Debatten der vergangenen Monate ist festzustellen, dass sich einige »Mythen« zum neuartigen Virus pandemieartig über den gesamten Globus verteilen. So wird beispielsweise davon gesprochen, dass das Coronavirus im Sommer harmloser als im Winter sei, dass Masken keinen ausreichenden Schutz bieten würden, dass Desinfektionsmittel auch über eine Injektion verabreicht werden könnten, oder dass der vielfach erwähnte PCR-Test keine Aussagekraft besäße. Insgesamt 14 dieser und weiterer Mythen nimmt das Buch auf den Prüfstand: Was ist wahr, wohinter stecken gut gemeinte Ideen und was ist wirklich in das Reich der Mythen einzuordnen? Wir wollen mit diesem Buch eine innovative Form von Wissenschaftskommunikation betreiben, mit der wir bewusst Personen jeder Altersgruppe und unabhängig ihres naturwissenschaftlichen Vorwissens ansprechen. Alle LeserInnen erhalten daher zu jedem Mythos zunächst eine allgemeinverständliche fachliche Einordnung, um wichtige Grundlagen des jeweiligen Kapitels zu verstehen. Diese Grundlagen werden durch übersichtliche Infoboxen begleitet, in denen Fachbegriffe und Zusammenhänge erläutert werden. Danach sind die LeserInnen herzlich eingeladen, zu den vorgestellten Mythen selbst experimentell aktiv zu werden. Im Buch können daher spannende Experimente zur Schmierinfektion oder zur Wirkung verschiedener Maskenarten durchgeführt, die Geheimnisse hinter Desinfektionsmitteln und Seife entdeckt oder Simulationen erprobt werden, in denen Maßnahmen zur Bekämpfung des Virus getroffen werden müssen – ganz im Sinne eines Bürgermeisters oder einer Bürgermeisterin einer Kleinstadt.

Unser Anspruch dabei ist es, aktuelle wissenschaftliche Informationen zum Thema Corona unterhaltsam und experimentell zu vermitteln, um die LeserInnen mit dem nötigen Wissen rund um das Thema aus-

12

Einleitung

zustatten. Es ist wichtig, nicht unreflektierte Informationen in der realen oder der digitalen Welt zu verbreiten, sondern ein »kleiner Experte« im Zusammenhang mit der Corona-Krise zu sein. Je mehr jeder Einzelne über Virusinfektionen und vor allem über das Coronavirus weiß, desto besser gelingt es, Falschinformationen gezielt aufzudecken. Mythen mit Sachverstand zu prüfen und somit selbst ein wichtiger Bestandteil im Kampf gegen das Virus zu sein. So kann jeder von uns verantwortlich für sich und seine Mitmenschen durch die Pandemie gehen. Vielleicht kann es dann auch schneller als gedacht gelingen, die Infektionszahlen nachhaltig zu senken, erfolgreiche Medikamente oder Impfungen gegen das Coronavirus zu entwickeln und einzusetzen und so wieder ein Stück weit »Normalität« einkehren zu lassen.

Liebe LeserInnen, wir wünschen viel Spaß beim Lesen, Ausprobieren, Tüfteln und hoffentlich auch beim Verbreiten der Inhalte dieser Lektüre!



M. Beck Lars Otte

13

2

How to read the book


2

Wie Du vielleicht schon in der Einleitung festgestellt hast, liest sich dieses Buch etwas anders als die meisten Bücher, die Du vermutlich bislang in der Hand gehalten hast. Damit Du Dich besser im Buch zurechtfindest, erfährst Du auf dieser Seite Tipps und Tricks zum Lesen des Buches.

Im Buch wirst Du auf drei verschiedene Symbole stoßen. Was haben diese zu bedeuten und wofür stehen sie?


Infobox

Das Coronavirus-Symbol zeigt Dir, dass es sich bei diesem kleinen Abschnitt um eine Infobox handelt. Die Infoboxen können Dir beim Verständnis des Textes helfen oder versorgen Dich mit zusätzlichem Wissen.




Do It Yourself!

Den *Do It Yourself* Stempel findest Du an verschiedenen Stellen im Buch. Überall, wo er auftaucht, bist Du dran: Er weist auf ein Experiment hin, das Du mit Gegenständen aus Deinem Haushalt selbst durchführen kannst.



Vorsicht UV-Strahlung!

Für einige Experimente benötigst Du eine UV-Taschenlampe. Um auf die Gefahren von UV-Lampen hinzuweisen, findest Du an den entsprechenden Stellen diesen Hinweis. Schau bitte nicht direkt in das Licht von UV-Lampen und strahle auch niemand anderem damit ins Gesicht.



Experimente:

Durch dieses Buch erhältst Du die Chance, verschiedene Aspekte zur Corona-Pandemie und zum Virus mithilfe von Experimenten besser

15

zu verstehen. Jedes der Experimente kannst Du mit Gegenständen und «Chemikalien» durchführen, die Du im Haushalt hast oder die Du problemlos aus dem Supermarkt, der Drogerie oder der Apotheke besorgen kannst. Um die Experimente durchführen zu können, erhältst Du im Buch auf den entsprechenden Seiten eine Anleitung. Du wirst hier zunächst immer erfahren, was Du für das Experiment brauchst. Anschließend wird die Durchführung beschrieben. Damit Du Deine Ergebnisse kontrollieren und vergleichen kannst, folgen daraufhin die Beobachtungen, die bei dem Experiment zu erwarten sind. Selbstverständlich wird im Anschluss auch erklärt, was es mit dem Experiment auf sich hat!

Bevor es losgeht:

Fast alle Dinge, die Du für die Experimente brauchst, sollten in Deinem Haushalt vorhanden oder leicht zu besorgen sein. Für einige Experimente benötigst Du eine UV-Lampe und eine Taschenlampe mit grünem Licht. Taschenlampen kannst Du in Outdoor-Geschäften, Spezialhandelsgeschäften oder dem Internet erwerben. Du benötigst keine Hochleistungstaschenlampen für die Versuche. Die UV-Lampe sollte zwischen 10 und 20 Euro kosten. Achte aber unbedingt darauf, dass die Lampe ein sogenanntes CE-Qualitätssiegel besitzt. Das ist besonders wichtig, da von UV-Lampen ohne CE-Siegel eine Gefahr für Deine oder die Augen anderer ausgehen kann!

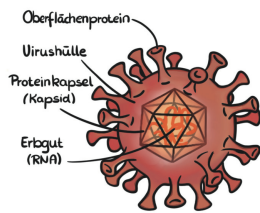
Viel Spaß beim Lesen und Experimentieren!

3

Das Coronavirus in der Übersicht

Coronavirus (SARS-CoV-2)

Allgemeines:
Das Virus besitzt eine Fetthülle (Virushülle), auf welcher spezifische Oberflächenproteine angehängt sind. Mit Hilfe dieser kann das Virus in die Wirtszelle eindringen. Die Erbinformation besteht aus einem Einzelstrang (RNA), verpackt in einer Proteinkapsel (Kapsid). Das Virus hat die Krankheit COVID-19 aus.

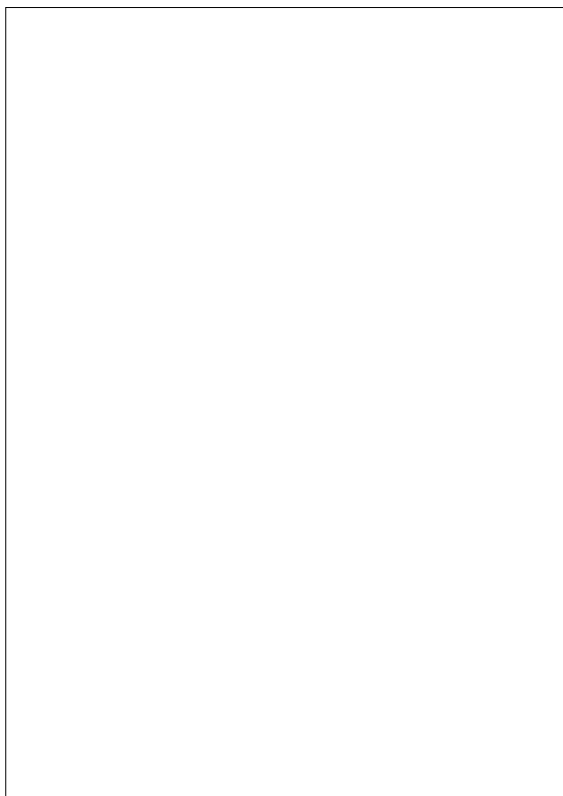


Ursprung:
Coronaviren sind flächendeckend unter Säugtieren und Vögeln verbreitet. WissenschaftlerInnen halten es für am wahrscheinlichsten, dass SARS-CoV-2 tierischen Ursprungs ist.

Übertragung:
Die Übertragung des Virus erfolgt über die Tröpfcheninfektion. Zudem kann das Virus auch über sogenannte Aerosole übertragen werden. Eine Sprech- und Singen freigesetzt werden. Eine Weitergabe über die Hände (Schmierinfektion) ist möglich, jedoch spielt dieser Übertragungsweg eine eher untergeordnete Rolle.

Symptome/Verlauf:
Der Verlauf ist sehr variabel. Die Inkubationszeit beträgt in der Regel fünf bis sieben Tage, kann jedoch bis zu 14 Tage andauern. Klassische Symptome sind Schnupfen, Husten und Fieber; in seltenen Fällen eine Lungenentzündung. Zudem kommt es in einigen auch symptomlose Verläufe bekannt.

Therapie:
Aufgrund des variablen Krankheitsverlaufs gilt es, primär die einzelnen Symptome angemessen zu behandeln. Die Möglichkeiten reichen von einfachen Halochmerztabletten bis zur Zufuhr von Sauerstoff. Schon zu Beginn der Pandemie wurde weltweit begonnen, intensiv an einem Impfstoff zu forschen, sodass die ersten Hersteller bereits Ende 2020 einen Impfstoff fertiggestellt haben.



4

Viren, wo man nur hinfasst?

Noch bevor der Supermarkt betreten wird, startet die Konfrontation mit dem Coronavirus. Zunächst ist der Einkaufswagen an einer Desinfektionsstation gründlich zu reinigen, dann kommt die Maske hinzu. Auch die Hände selbst können zumeist vor dem Eingang noch einmal desinfiziert werden und beim Greifen der Lebensmittel wird sich der ein oder andere vielleicht schon gefragt haben, ob nicht auch diese mit dem Coronavirus behaftet sein können. Schließlich erfolgt an der Kasse zumeist die kontaktlose Zahlung, da das Bargeld als Risikofaktor gilt. Zum Schutz vor kontaminierten Oberflächen tragen einige sogar Handschuhe.

Eine der wichtigsten Maßnahmen zur Eindämmung der Verbreitung des Coronavirus ist eine gründliche Hygiene. Aber muss beim Anfasen eines Einkaufswagens, von Türklinken oder Kleingeld wirklich

21

Kapitel 4 | Viren, wo man nur hinfasst?

befürchtet werden, dass das Virus überall verteilt wurde? Kann das Coronavirus hier länger existiert und infektiös sein?

Es gibt im Großen und Ganzen zwei Möglichkeiten zur Übertragung der Coronaviren, wie auch für die meisten anderen Viren: Als Erstes über die Luft durch Tröpfchen und Aerosole (siehe Kapitel 6) und als Zweites durch die Kontaktinfektion, auch bekannt als Schmierinfektion. Damit ist jede Übertragung von Viren durch Berührungen gemeint. Diese werden zum Beispiel über Nasensekret oder Schleim verteilt, in welchen sich viele Viren ansammeln, da der Körper über diese Flüssigkeiten versucht, Viren und andere Krankheitserreger loszuwerden. Hier kann die Virenverbreitung in zwei Varianten eingeteilt werden.

TRÖPFCHEN UND AEROSOLE:

Tröpfchen sind „größeres“ Teilchen in der Luft mit einem Durchmesser von mehr als 5 Mikrometern, die relativ schnell zu Boden sinken. Die Größe kleinster Tröpfchen ist vergleichbar mit weniger als einem Zehntel der Dicke eines handelsüblichen Blattes Papier. Aerosole sind sehr fein verteilte Teilchen, die einen Durchmesser von 0,1 bis 5 Mikrometern haben und in Gasen und auch in der Luft schweben bleiben. 0,1 Mikrometer entsprechen ungefähr einem Tausendstel der Dicke eines menschlichen Haares. Beide bestehen aus viruslastigem Sekret, das beim Husten oder Niesen in die Umgebung gelangt.

*Abbildung 4.1:
Viren auf der Handoberfläche*

Das Händeschütteln ist während der Corona-Pandemie zu einem Tabu geworden, und das aus gutem Grund, da auf diesem Weg eine direkte Kontaktinfektion verhindert werden soll. Dieser Übertragungsweg läuft wie folgt ab: Eine Person, die mit dem Coronavirus

22

Viren, wo man nur hinfasst?

infiziert ist, niest oder hustet den mit Coronaviren belasteten Speichel oder das Nasensekret in seine oder ihre Hand. Durch das Händeschütteln mit einer zweiten Person, der Kontaktperson, werden Rückstände der mit den Viren belasteten Flüssigkeiten übertragen, sodass sich die Viren nun auch auf der Hand der Kontaktperson befinden. Dadurch ist die Kontaktperson aber nicht sofort infiziert, denn dazu kommt es erst, wenn die Coronaviren bis an die Schleimhäute im Gesicht gelangen, zu denen die Nasen- und Mundschleimhaut sowie die Augenbindehaut zählen. Und das funktioniert schneller als gedacht. Wenn jemand sich ins Gesicht fasst, werden die Coronaviren in die Nähe der Schleimhäute gebracht und das geschieht beim Menschen etwa 20 Mal pro Stunde. Alles in allem kann gesagt werden: Wer einer infizierten Person die Hand gibt, riskiert eine direkte Kontaktinfektion.

*Abbildung 4.2:
Einstiegsstellen für Viren sind die Schleimhäute im Gesicht.*

Bei der Kontaktinfektion können die Coronaviren auch eine kurze Umleitung nehmen, denn viele Wege führen zum Ziel. Bei der indirekten Kontaktinfektion niest oder hustet die infizierte Person direkt auf eine Oberfläche, wie beispielsweise einen Türgriff, auf den Griff eines Einkaufswagens oder sogar auf Lebensmittel im Supermarkt. Benutzt eine weitere Person dann diesen Gegenstand, fasst sie ihn mit den Händen an. Nun befinden sich die Viren an den Händen der Kontaktperson, sodass sich das Risiko einer Infektion erhöht, weil der Weg zu den Schleimhäuten nicht mehr weit ist. Für den Fall, dass die infizierte Person nicht direkt auf einen Gegenstand hustet, sondern in die Hand, gibt es einen zusätzlichen Zwischenstopp der Viren auf dem Weg zur nächsten Kontaktperson. Dass die Viren bei diesem Umweg noch unbeschadet zum Ziel kommen, ist eher unwahrscheinlich, aber auch möglich.

23

Kapitel 4 | Viren, wo man nur hinfasst?

Abbildung 4.3:
Übertragungsweg durch Kontaktinfektion

Zum Schutz vor Kontaktinfektionen kommen zum Beispiel beim Lebensmitteleinkauf oftmals Handschuhe zum Einsatz, die ihren Trägern das Gefühl von Sauberkeit und Sicherheit geben. Das ist aber nur der Fall, wenn sie korrekt angewendet werden, denn Erreger wie die Coronaviren laffen auch an den Handschuhen. Die Wahrscheinlichkeit einer Kontaktinfektion ist daher unabhängig vom Tragen von Handschuhen gleich groß. Dies liegt vorrangig daran, dass auch mit Handschuhen ein Griff ins Gesicht möglich ist und so Viren in die Schleimhäute gelangen können. Vielmehr können Handschuhe dazu verleiten, unvorsichtig zu agieren, da sie ein vermeintliches Hygiene- und Sicherheitsgefühl vorzuschieben. Die WHO empfiehlt daher auch, anstelle des Tragens von Handschuhen auf eine gute Handhygiene zu achten. Handschuhe bieten sich nur dann an, wenn sie im Sinne von Einmalhandschuhen unmittelbar nach dem Gebrauch sicher entsorgt werden.

WHO:
Die Weltgesundheitsorganisation (World Health Organization, WHO) ist die weltgrößte internationale Behörde, die sich um das öffentliche Gesundheitswesen kümmert. Sie ist den Vereinten Nationen (UN) unterstellt und hat ihren Sitz in Genf in der Schweiz.

24

Viren, wo man nur hinfasst?

Ziel der WHO ist es, allen Menschen der Welt ein gesundes Leben zu ermöglichen, sodass jeder ein soziales und wirtschaftlich produktives Leben führen kann.

Unter anderem koordiniert die Weltgesundheitsorganisation nationale und internationale Aktivitäten beim Kampf gegen Infektionskrankheiten, erhebt und analysiert Gesundheits- und Infektionsdaten, hilft beim Aufbau kostengünstiger und effektiver Gesundheitssysteme in Entwicklungsländern und verfasst den jährlichen Weltgesundheitsbericht, in dem über die weltweite Gesundheitsversorgung berichtet wird. In diesem Zusammenhang überwacht die WHO auch das globale Infektionsgeschehen der Corona-Pandemie und gibt Empfehlungen zur Krisenbewältigung für verschiedene Staaten heraus. Die WHO stufte die Corona-Pandemie am 11. März 2020 als Pandemie ein, nachdem sie sich bereits in Asien (vor allem China) und Teilen Europas, vorrangig Italien, ausgebreitet hatte. Dies wurde von verschiedenen Staaten, beispielsweise den USA, als zu spät kritisiert.

Beim längeren Tragen von Handschuhen kann es darüber hinaus passieren, dass das Material porös wird und die Erreger nicht mehr vollständig von den Händen abgehoben werden können. Beim Einkauf im Supermarkt bleibt dies aber unbemerkt. Durch die unter den Handschuhen entstehende Feuchtigkeit auf der Hand kann darüber hinaus die Hautbarriere angegriffen werden, wodurch sich Erreger leichter auf den Händen ansiedeln.

Für ÄrztInnen und PflegerInnen im klinischen Bereich ist das Tragen von Einmalhandschuhen hingegen sinnvoll, da dort ein hohes Infektionsrisiko zu erwarten ist. Im Gegensatz zu Laien sind die medizinischen Fachkräfte in der Benutzung von Handschuhen geschult und wissen genau, was zu beachten ist.

25

Kapitel 4 | Viren, wo man nur hinfasst?

Falls die Erfahrung gemacht wurde, sich beim Tragen von Handschuhen seltener ins Gesicht zu fassen, dürfen natürlich auch weiterhin Handschuhe zum Schutz vor einer Infektion getragen werden. Dabei sind aber keine medizinischen Handschuhe notwendig, sondern es genügen bereits normale Handschuhe, beispielsweise aus Baumwolle, um diesen Effekt zu erzielen. Dies entbindet aber keinesfalls vom Händewaschen oder einer Händedesinfektion vor und nach dem Einkauf.

Experiment: Die Virenverbreitung

Es steht also fest, dass Viren über die Hände und Berührungen verteilt werden können. Aber wie großfächig dies sein kann, muss erst untersucht werden. Verstreuen sich die Coronaviren vielleicht bis an Orte, die bisher gar nicht vermutet wurden? Um dieser Frage nachzugehen, werden die Spuren der Viren in einem Modellexperiment verfolgt. Da nicht ein ganzer Supermarkt untersucht werden kann, müssen die Experimente auf die eigenen vier Wände beschränkt werden.

Was Du benötigst:

- ▶ Diät-Tonic Water ohne Zucker
- ▶ Vaseline
- ▶ Schneebesen
- ▶ Einen Kochtopf
- ▶ Ein Glas oder eine Schüssel
- ▶ UV-Lampe

Durchführung:

Herstellen einer Fluoreszenzcreme:

Als erster Schritt des Experiments wird eine fluoreszierende Creme mit Hilfe von Tonic Water hergestellt. Dazu nimmst Du den Kochtopf und füllt mindestens einen halben Liter Diät-Tonic Water hinein, welches dann auf dem Herd bei höchster Stufe gekocht wird. Hierzu muss Diät-Tonic Water verwendet werden, welches keinen Zucker enthält, da sonst beim Erhitzen keine Flüssigkeit, sondern eine klebrige Zuckerreste zurückbleiben würde.

26

Experiment: Die Virenverbreitung

Abbildung 4.4:
Herstellen der Fluoreszenzcreme

Das Wasser verdampft durch das Einkochen auf dem Herd und der fluoreszierende Inhaltsstoff Chinin (siehe Infobox) wird in einer kleineren Menge Wasser stärker konzentriert. Du solltest das Tonic Water so lange kochen, bis nur noch eine minimale Menge an Flüssigkeit (etwa ein bis zwei Esslöffel) vorliegt, was etwa 20 Minuten dauern kann. In den noch heißen Topf gibst Du dann etwa einen halben Esslöffel Vaseline, die Du mit einem Schneebesen unter das Tonic Water rührst. Wenn eine einheitliche Flüssigkeit entstanden ist, kannst Du sie in ein Glas oder eine Schüssel füllen, wo sie abkühlen kann. Es ist möglich, dass nach dem Umfüllen die Flüssigkeit noch ein weiteres Mal umgerührt werden muss, damit sich die beiden Komponenten verbinden und wieder die cremige Konsistenz der Vaseline entsteht. Wenn Du damit fertig bist, hast Du eine Fluoreszenzcreme, die im Dunkeln leuchtet, wenn sie mit UV-Licht bestrahlt wird. Das Phänomen der Fluoreszenz wird im Kapitel zum Thema Aerosole noch einmal genauer unter die Lupe genommen. Mit Deiner Creme kann die Verbreitung der Coronaviren modellhaft dargestellt werden. Alternativ gibt es solche Cremes auch online ab etwa 10 Euro zu kaufen, da diese regulär für Hygiene- und Hautschutzschulungen im Pflegebereich verwendet werden.

27



CHININ:

Chinin kommt in der Natur im Chinarindenbaum vor und wird durch Extraktion aus der Rinde kultivierter Pflanzen gewonnen. Chinin ist ein schlecht wasserlösliches, weißes Pulver. Es wird vor allem im medizinischen Bereich genutzt, unter anderem als Medikament gegen Malaria oder grippeartige Infekte. Auch in der Lebensmittelindustrie findet Chinin aufgrund seines stark bitteren Geschmacks Verwendung, so wird es zum Beispiel in Bitterspirituosen und alkoholfreien Erfrischungsgetränken wie Tonic Water oder Bitter Lemon als Aromakomponente hinzugegeben. Hier ist es für den bitteren Geschmack verantwortlich. In großen Dosierungen kann Chinin aber gesundheitsschädlich sein. Deshalb dürfen bei der Verwendung bestimmte Grenzwerte nicht überschritten werden. Es dürfen beispielsweise in Getränken nur kleine Mengen von maximal 250 Milligramm pro Liter zugesetzt werden. Chinin fluoresziert in saurer Lösung. So zum Beispiel auch in Tonic Water, welches durch die enthaltene Zitronen- und Kohlensäure leicht sauer ist. Unter UV-Licht leuchten daher chininhaltige Getränke blau.

Variante 1: Patient null

Mal angenommen, Dein Haushalt war bis jetzt frei von Viren. In der Simulation bist Du nun der erste Infizierte der Pandemie, also Patient null. Dazu cremst Du Deine Hände mit der hergestellten Fluoreszenzcreme ein und beginnst Deinen Alltag. Wenn Du bemerkst, dass sich nicht mehr viel Creme an Deinen Händen befindet, kannst Du die Hände gerne noch einmal eincremen. So stellst Du sicher, dass Deine Versuchsergebnisse deutlich werden.

Nach etwa einer Stunde endet der Versuch. Mit der UV-Lampe werden die Stellen sichtbar gemacht, an denen die Creme verteilt wurde. Das heißt, die Räume müssen verdunkelt und alles gründlich mit der UV-Lampe beleuchtet werden. Du kannst auch Dein Gesicht, sowie auch die Hände und Gesichter Deiner Mitbewohner oder Familie untersuchen. Für die Augen kann das UV-Licht aber gefährlich sein, deshalb müsst Ihr bei der Untersuchung der Gesichter vorsichtig sein. An welchen Stellen sind Spuren der Creme zu sehen? War das Ergebnis zu erwarten oder sind auch Überraschungen aufgetreten? Hätte die Creme, also die Modellviren, es auch bis zu den Schleimhäuten

geschafft? Du kannst die Stellen notieren, an denen leuchtende Flecken gefunden wurden oder Fotos aufnehmen, um die Ergebnisse später mit der zweiten Variante des Versuchs zu vergleichen.

Variante 2: Ansteckende Höflichkeit

Zuvor hast Du wahrscheinlich nur Oberflächen von verschiedenen Gegenständen berührt. Als Nächstes kannst Du das Ganze etwas ausweiten. Creme Dir wie zuvor die Hände mit der Fluoreszenzcreme ein, dies darf auch häufiger geschehen. Dann verhältst Du Dich eine Stunde lang nach aller Höflichkeit, indem Du Personen, die Du im Haushalt triffst, die Hand schüttelst. Bei diesem Versuch kannst Du zum Beispiel Deine Familie oder MitbewohnerInnen informieren und gemeinsam die Abmischung treffen. Auch jedes Mal, wenn Ihr Euch über den Weg lauft, die Hand zu geben. Dabei könnt Ihr auch kreativ sein und andere Situationen bestimmen, in denen Ihr Euch die Hand schüttelt. Wichtig dabei ist es, den Versuch nur mit Personen durchzuführen, die mit zum Haushalt gehören und zu denen auch sonst regelmäßiger Körperkontakt besteht. Hier schaut Du nach einiger Zeit, an welchen Stellen im Haushalt Spuren der fluoreszierenden Creme zu finden sind. Vergleiche diese Ergebnisse mit denen des ersten Versuchs. Kannst Du Unterschiede feststellen?

Beobachtungen:

Du dürftest jetzt an vielen verschiedenen Stellen, wie zum Beispiel an Türgriffen, Fernbedienungen, Zahnbürsten, Besteck, Lichtschaltern oder Wasserhähnen Spuren der Fluoreszenzcreme gefunden haben. Besonders auffällig dürfte sein, dass auch bei den verschiedenen Personen im Haushalt leuchtende Hände oder auch leuchtende Stellen im Gesicht gefunden werden können.

Erklärung:

Durch das Experiment konnte die Verbreitung von Viren durch die Kontaktfunktion gezeigt werden. In der ersten Variante wurde ausschließlich die indirekte Übertragung dargestellt, in der zweiten Variante hingegen eine Mischung aus direkter und indirekter Übertragung. Werden beide Varianten verglichen, lässt sich feststellen, dass bei der zweiten Variante deutlich mehr Spuren als bei der ersten gefunden werden können. Du kannst zwar das Prinzip der Kontaktfunktion, aber hättest Du Dir auch dieses Ausmaß der Virenverbreitung vorgestellt?

Abbildung 4.5: Fluoreszierende Spuren auf der Hand

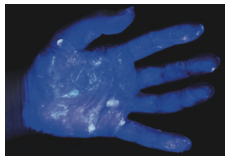
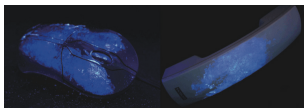


Abbildung 4.6: Fluoreszierende Spuren auf Gegenständen



Bevor aber voreilige Schlussfolgerungen getroffen werden, sind weitere Informationen nötig. Denn, wie der Name schon verrät, handelt es sich bei diesem Experiment um ein Modell. Es wird nur ein Bruchstück der Realität abgebildet und zwar die Verbreitung der Viren. Das heißt noch lange nicht, dass jeder mit leuchtendem Gesicht jetzt infiziert wäre!

Einen ähnlichen Versuch haben auch die Mikrobiologin Ricarda Maria Schmitthausen, der Virologe Hendrik Streeck und deren Team durchgeführt, indem sie unter Quarantäne stehende Haushalte mit mindestens einer Person, die mit dem Coronavirus infiziert war, untersucht haben. Es wurden dabei an verschiedenen Stellen im Haushalt Proben genommen, um die Verbreitung der Coronaviren durch die Kontaktfunktion zu erforschen.

Nach der Analyse von Proben aus 21 zufällig ausgewählten Haushalten konnten Viren an verschiedenen Orten nachgewiesen werden. Beispielsweise wurden in 15 % der Abwasserproben aus Duschen, Spül-

becken oder Toiletten Coronaviren nachgewiesen. Es wurden auch Fernbedienungen, Türgriffe und andere Gegenstände untersucht, von denen aber nur 3 % der Proben positiv getestet wurden. Auf Lebensmitteln oder Pflanzen konnten keine Erreger entdeckt werden. So konnten 48 Stunden, nachdem das Team die Proben gesammelt hat, im Labor aus diesen keine weiteren infektiösen Viren herangezüchtet werden. Das heißt, bei den sichergestellten Viren aus den Proben handelt es sich nach spätestens 48 Stunden nicht mehr um intakte Viren und diese können somit keine weiteren Menschen infizieren. Zu ähnlichen Ergebnissen sind auch andere Studien gekommen. Zum Beispiel konnten in Krankenhäusern Coronaviren auf Oberflächen im Umfeld von Corona-Patienten sichergestellt werden. Dort waren Drucker, Tastaturen, Türgriffe, Desinfektionsmittelspender, Fahrstuhlknöpfe, Telefone und Handschuhe besonders stark von der Kontamination betroffen. Dennoch war es bisher in noch keiner Studie möglich, Coronaviren von Oberflächen aus dem Alltag oder aus den Krankenhäusern heranzuzüchten.

Jetzt könnte schnell die Annahme getroffen werden: Wenn keine intakten Viren sichergestellt worden sind, dann sind Schmierinfektionen ungefährlich. Die WissenschaftlerInnen machen deutlich, dass die Ergebnisse eine nur relativ kurze Stabilität der Coronaviren im Haushalt zeigen, aber immer noch die Möglichkeit besteht, dass die Viren auf dem Weg ins Labor zu Schaden gekommen sind. Deshalb sollten die Hygienemaßnahmen und regelmäßiges Händewaschen ernst genommen werden.

INTAKTE VIREN VERMEHREN SICH:

Viren können sich nur in Wirtszellen vermehren. Für das Coronavirus sind das die Zellen der menschlichen Schleimhäute. Intakte Viren können sich vermehren, sobald sie eine Wirtszelle besetzt haben. Die Gefahr für Körperzellen geht dabei nicht von der Infektion mit dem Virus selbst aus, sondern von der Vermehrung im Körper, da die betroffenen Körperzellen durch die Produktion neuer Viren zerstört werden können. Nicht mehr intakte Viren sind nicht in der Lage, die Körperzellen zu befallen, sodass sie sich auch nicht reproduzieren können. Von ihnen geht für den menschlichen Körper keine Gefahr aus.



Kapitel 4 | Viren, wo man nur hinfasst?

Wie bei vielen Dingen gibt es auch hier eine Kehrseite. Das, was im Haushalt so »harmlos« wirkt, wurde im Labor in ganz anderem Maße nachgewiesen. In einer amerikanischen Studie haben WissenschaftlerInnen festgestellt, dass Oberflächen im Labor nach einer starken Kontamination mit den Coronaviren noch eine ganze Weile infektiös bleiben können. Es wurde untersucht, wie lange die Erreger auf verschiedenen Oberflächen unbeschadet bleiben und wie viel Zeit vergehen muss, bis die Viren nicht mehr infektiös sind.

Tabelle 4.1:
Stabilitätsdauer der Coronaviren auf unterschiedlichen Oberflächen

Material der Oberfläche	Dauer der Stabilität
Kupfer	3 Stunden
Karton	24 Stunden
Edelstahl	2-3 Tage
Plastik	2-3 Tage
Baumwollkleidung	4 Tage
Papier	4 Tage

Dies sind zwar teils längere Zeiten als bei den unter Quarantäne stehenden Haushalten, aber auch im Labor ist die Stabilität der Coronaviren trotzdem viel geringer als von manch anderen Krankheitserregern.

Jetzt gilt es, der Sache auf den Grund zu gehen. Denn wieso gibt es Unterschiede zwischen den Versuchsergebnissen im Haushalt und im Labor? Und wieso ist die Stabilität der Viren so unterschiedlich? Prinzipiell befinden sich die Viren so lange in einer vorzellhaften Umgebung, wie sie von Feuchtigkeit bedeckt sind, so wie es beim Niesen oder Husten im Schleim oder Sekret der Fall ist. Diese Flüssigkeiten trocknen aber nach kurzer Zeit und lassen die Viren »ungeschützt« zurück, sodass sich auf den langsam trocknenden Oberflächen das Risiko des Stabilitätsverlustes der Viren immer weiter erhöht. Durch die Abnahme der Stabilität kommt es zur Zerstörung der Virushülle, sodass auch ihre infektiösen und biologischen Eigenschaften eingeschränkt sind. Im Labor liegen ideale Bedingungen für die Viren vor, wie eine gleichbleibende Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder gleichbleibendes Licht. Hingegen sind die Viren im Alltag einigen Stressfaktoren wie Temperaturschwankungen, dem Tageslichteinfall, der Luftfeuchtigkeit oder der Oberflächenbeschaffenheit, die die Stabilität der Viren angreifen und ihre Hülle beschädigen können, ausgesetzt.

Viren, wo man nur hinfasst?

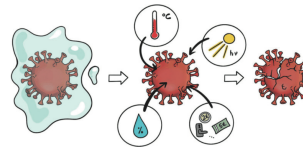


Abbildung 4.7:
Viren verlieren durch Umwelteinflüsse an Stabilität.

So bleiben sie im Labor länger stabil und infektiös und sind gleichzeitig in einer viel höheren Anzahl vorhanden, sodass die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass einige der Viren auf den Oberflächen stabil bleiben. Im Vergleich ist die Menge der Viren im Haushalt, die sich im Schleim oder Nasensekret befinden, sehr viel geringer und wird bei jeder neuen Berührung und Verteilung weiter ausgedünnt. Auch die WissenschaftlerInnen der Laborstudie gehen davon aus, dass die Übertragung durch Kontaktinfektion theoretisch möglich, aber durch die kleinen Virenmengen im Alltag eher unwahrscheinlich ist. Die Abhängigkeit der Stabilität und Virusmengen konnte auch experimentell bestätigt werden. Dabei waren kleinere Virusmengen schon nach 5 Minuten nicht mehr infektiös, die 100-fache Menge aber noch bis zu 24 Stunden.

Insgesamt kann also gesagt werden: Ob die Viren auf Oberflächen noch infektiös sind, ist situationsabhängig. Coronaviren leuchten nicht wie das Tonic Water im Experiment. Sie sind nicht stabil und bleiben nicht besonders lange infektiös auf Oberflächen. Auch der Virologe Christian Drosten meint dazu, dass es nicht nötig sei, im Haushalt alle Oberflächen zu desinfizieren. Die WissenschaftlerInnen sind sich einig, dass das Risiko einer Infektion durch Kontaktinfektion im Gegensatz zu der Übertragung und Infektion über die Luft gering bis sehr gering ist, da sie weniger effizient ist und nur über Umwege funktioniert. Eine genaue Zahl gibt es dazu aber nicht.

Was heißt das also für den Einkauf von Lebensmitteln und anderen Waren? Es kann eigentlich nur mit Sicherheit von dem berichtet werden, was bisher geschehen ist. Und da gibt das Bundesinstitut für Risikobewertung an, dass bisher noch keine Infektionen mit dem SARS-CoV-2-Virus durch die Übertragung von Kontakt mit Oberflä-

Kapitel 4 | Viren, wo man nur hinfasst?

chen wie Bargeld, Kartenterminals, Türklinken, Smartphones, Griffen von Einkaufswagen, Verpackungen oder Tüten bestätigt wurden. Es gibt auch noch keine Fälle, bei denen sich Menschen über Lebensmittel, die von Viren besetzt waren, angesteckt haben (Stand November 2020).

Aber es gilt: Vorsicht ist besser als Nachsicht. Durch das Experiment ist ein Einblick gegeben worden, wo die Viren sich potentiell überall aufhalten könnten. Meist ist nicht bekannt, wie lange es her ist, dass eine erkrankte Person die Coronaviren auf Oberflächen verteilt hat. Deshalb gilt nach wie vor: Hygiene beachten, Hände waschen und die Hände aus dem Gesicht fernhalten.

Quellen:

van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., Tamin, A., Harcourt, J. L., ... Munster, V. J. (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382(16), 1564–1567. doi:10.1056/NEJMc2004973

Döhla, M., Wilbring, G., Schulte, B., Kümmerer, B. M., Diegmann, C., Sib, E., ... Schmitthausen, R. M. (2020). SARS-CoV-2 in environmental samples of quarantined households. *medRxiv preprint*. doi:10.1101/2020.05.28.20114041

Bundesinstitut für Risikobewertung (2020). Kann das neuartige Coronavirus über Lebensmittel und Gegenstände übertragen werden? *Bundesinstitut für Risikobewertung*. Abgerufen von https://www.bfr.bund.de/de/kann_das_neuartige_coronavirus_ueber_lebensmittel_und_gegenstaende_uebertragen_werden_-244062.html

Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (o. J.). Schmierinfektion – Wie werden Erreger bei einer Kontaktinfektion übertragen? *Infektionsschutz.de*. Abgerufen von <https://www.infektionsschutz.de/infektionskrankheiten/uebertragungsweg/schmierinfektion.html>

Robert Koch-Institut (2020). Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19). *Robert Koch-Institut*. Abgerufen von https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartige_Coronavirus/Steckbrief.html

NDR Info (2020). Coronavirus-Update. *NDR*. Abgerufen von <https://www.ndr.de/nachrichten/infocoronavirus174.pdf>

Viren, wo man nur hinfasst?

World Health Organization (2020). Rational use of personal protective equipment (PPE) for coronavirus disease (COVID-19): interim guidance, 19 March 2020. *IRIS*. Abgerufen von <https://apps.who.int/iris/handle/10665/331498>

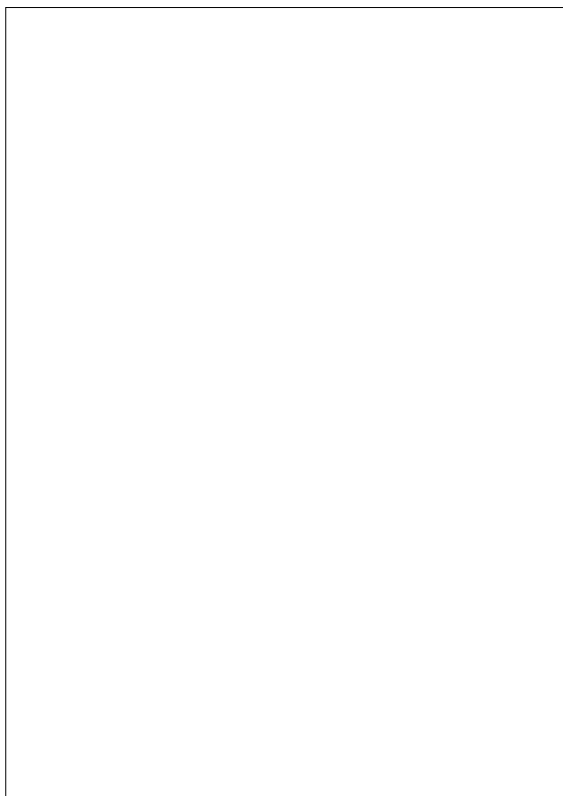
Esche, B. (2020). Darum brauchst du im Alltag keine Einmalhandschuhe. *Quarks*. Abgerufen von <https://www.quarks.de/gesundheitsmedizin/darum-brauchst-du-im-alltag-keine-einmalhandschuhe/>

Uhlenhaut, C. (2011). Tenazität von Viren – Stabilität und Erhalt der Infektiosität von Viren. In Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (Hrsg.), *Proceedings: Biologische Gefahren in Deutschland* (6, S. 333-342). Bonn: Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe.

Chin, A. W. H., Chu, J. T. S., Perera, M. R. A., Hui, K. P. Y., Yen, H.-L., Chan, M. C. W., ... Poon, L. L. M. (2020). Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *The Lancet Microbe*, 1(1), e10. doi:10.1016/S2666-5247(20)30003-3

Wu, S., Wang, Y., Jin, X., Tian, J., Liu, J., & Mao, Y. (2020). Environmental contamination by SARS-CoV-2 in a designated hospital for coronavirus disease 2019. *American Journal of Infection Control*, 49(8), 910–914. doi:10.1016/j.ajic.2020.05.003

Liu, Y., Li, T., Deng, Y., Liu, S., Zhang, D., Li, H., ... Li, J. (2020). Stability of SARS-CoV-2 on environmental surfaces and in human excreta. *medRxiv preprint*. doi:10.1101/2020.05.07.20094805



Schmutziges Geld oder Geldwäsche? 5

Mit der weltweit steigenden Zahl der Corona-Fälle ist eine andere Zahl immer weiter gesunken: Die Häufigkeit der Bargeldzahlungen. Einmal von der Bank ausgegeben sind Münzen und Scheine im ständigen Umlauf, wechseln ihre Besitzer und gelangen so durch viele Hände, ohne eine Möglichkeit zur Rückverfolgung. Allein dieser Umstand macht sie auf den ersten Blick zu einem hohen Risikofaktor für eine indirekte Kontaktinfektion (siehe Kapitel 4). Dies unterstreichen sowohl Internetrecherchen in Rekordzahlen, die nach einem Zusammenhang der Stichwörter »Bargeld« und »Viren« suchen, als auch die Maßnahmen einiger Banken. Die Zentralbanken in China,

37

Kapitel 5 | Schmutziges Geld oder Geldwäsche?

Südkorea und den USA beschlossen mitten im Ausbruch der Corona-Pandemie, potenziell verunreinigtes Bargeld »unter Quarantäne zu stellen«. Dabei hat die People's Bank of China Tausende von Banknoten aus dem Verkehr gezogen, sie mit ultravioletterem Licht desinfiziert und für 14 Tage eingeschlossen, bevor sie wieder in Umlauf gebracht wurden.

Die Zahl der Verbraucher, die eine Zahlung mit Bargeld bevorzugen, ist seit dem Vorjahr der Corona-Pandemie europaweit im Durchschnitt um 7 % gesunken. Kartenzahlungen und mobile Bezahl-Apps rücken immer weiter in den Vordergrund, während Bargeld als Zahlungsmittel weniger akzeptiert wird. Das Fortschreiten einer solchen Entwicklung könnte zu einer Zahlungskluft führen, die für Menschen ohne Zugang zu digitalen Zahlungen und für ältere VerbraucherInnen schwerwiegende Folgen haben könnte.

Deshalb ist eine realistische Einschätzung von Bargeld als Risikofaktor so bedeutend, um die Frage zu klären: Ist die moderne digitale Form der Bezahlung wirklich der sichere und notwendige Weg, um die Ausbreitung des Coronavirus einzudämmen, oder nur ein Trend, der aus Angst und Unsicherheit entstanden ist?

Abbildung 5.1:
Kontaktlos Zahlung

Wenn ein Geldschein die Bank erst einmal verlassen hat, kann er theoretisch mit Bakterien oder Viren, mit denen er in Kontakt kommt, behaftet sein. So lassen sich nach den New Yorker ForscherInnen des »Dirty Money Project« auf einem Geldschein bis zu 3000 verschiedene Arten von Erregern finden – und auch eine Münze ist nicht so sauber, wie sie scheint. Auf untersuchten Fünf-Euro-Scheinen konnten unter

38

Schmutziges Geld oder Geldwäsche?

andere von ForscherInnen der Essener Uni-Klinik Fäkalbakterien, Salmonellen und weitere Krankheitserreger gefunden werden. Die Zahl der verschiedenen Erreger wirkt auf den ersten Blick erschreckend hoch, jedoch ist die Menge auf einem Geldschein so gering, dass keine konkrete Gefahr davon ausgeht. Da die besagten Untersuchungen weit vor der Pandemie durchgeführt wurden, stellt sich nun die Frage, ob sich potentiell auch das Coronavirus unter den Erregern auf dem Bargeld befinden könnte.

Abbildung 5.2:
Erregerkolonisation auf einem Geldschein

Generell sind auf Bargeld auch Viren zu finden, jedoch nur zu einem Anteil von unter 1 %, dagegen sind Pilze zu 70 % und Bakterienpopulationen zu 9 % auf den Banknoten vertreten.

Stellvertretend für die Viren kann das menschliche Grippevirus Influenza-A betrachtet werden. Auch dieses zählt, wie das Coronavirus, zu den behüllten Viren und ist gegen Eintrocknung extrem empfindlich. In einer Laborsimulation wurden Geldscheine mit verschiedenen Konzentrationen von Viren kontaminiert und es konnte gezeigt werden, dass das Influenza-A-Virus bei hohen Konzentrationen auf trockenen Oberflächen bis zu drei Tage stabil bleiben konnte. Also kann zumindest das menschliche Grippevirus stunden- oder tagelang auf Banknoten bestehen. Aber Achtung! Hier handelt es sich um In-vitro-Untersuchungen, also Ergebnisse aus dem Labor, die nicht mit den Vorgängen im Alltag gleichzusetzen sind. Im Labor werden viel höhere Mengen des Virus genutzt, als sie auf Alltagsgegenständen zu finden sind. Auch die speziellen Techniken zur Rückgewinnung der Viren von den Gegenständen ist nicht mit dem Aufkammern der Viren bei zufälligem Kontakt gleichzusetzen. Die Laborsimulation zeigt lediglich das Potential, Grippeviren durch Banknoten von einem Ort auf einen

39

Kapitel 5 | Schmutziges Geld oder Geldwäsche?

anderen zu übertragen. Im Alltag geschieht dies allerdings in einem sehr viel geringeren Maßstab.

Für das Coronavirus gibt es zum heutigen Zeitpunkt keine vergleichbaren Ergebnisse, bei dem die Stabilität des Virus auf Geldscheinen oder Münzen getestet wurde. Es liegen also noch keine klaren Beweise für oder gegen eine potentielle Ansteckungsgefahr durch Bargeld vor.

Es gibt zwei verschiedene Arten von Geldscheinen. Als erstes die unter anderem hier in Deutschland vertretene Papierscheine und als zweites die Polymerscheine, die beispielsweise in Kanada oder Australien im Umlauf sind. Beide Arten wurden im Hinblick auf eine allgemeine Erregerkontamination untersucht, weshalb aufgrund der stärkeren Bakterienbelastung diese im Folgenden im Vordergrund stehen.



POLYMERSCHEINE:

Die Polymerscheine, die erstmals 1988 in Australien in Umlauf gebracht wurden, bestehen aus einer speziellen Kunststoffolie. Durch das verwendete Material Polypropylen, welches der am zweithäufigsten genutzte Standardkunststoff ist und beispielsweise für Verpackungen verwendet wird, wird die Reißfestigkeit und damit die Haltbarkeit der Scheine erhöht. Die Scheine stellen den gesamten Bargeldbestand in Australien, Brunei, Kanada, Papua-Neuguinea, Neuseeland, Rumänien und Vietnam dar und eine Einführung in weiteren Ländern ist geplant.

Zunächst wird ein Blick auf die Papierscheine geworfen, die aus einem Baumwollsubstrat bestehen und durch ihre Struktur für die Aufnahme von Krankheitserregern besonders anfällig sind. Sie können eine größere Menge Wasser als die Polymerscheine aufnehmen und stellen deshalb eine vorteilhafte Umgebung für Erreger dar, auch wenn es sich nur um eine minimale Wassermenge handelt. Werden die Scheine direkt in der Hosentasche am warmen Körper getragen werden, macht sie das noch attraktiver für potentielle Keime. Als weiterer Faktor für die Kontamination der Papierscheine kommt die Umlaufzeit hinzu. Je länger ein Geldschein auf dem Markt ist, desto abgenutzter und rauer wird er, sodass eine höhere Anzahl von Rillen und Rissen entsteht und der Raum für Keime vergrößert wird. Hinzu kommt, dass ein Schein mit fortlaufender Umlaufzeit immer mehr Möglichkeiten für Erreger bietet, sich darauf abzusetzen. Neben den Scheinen aus Papier gilt dies allerdings auch für Polymerscheine. Besonders Scheine mit niedrigem

Experiment: Die Rolle des Bargeldes bei der Virusübertragung

Wert sind stärker belastet, da diese öfter getauscht werden. In der EU werden aus diesem Grund Geldscheine bereits nach wenigen Jahren wieder aus dem Verkehr gezogen.

Auf Polymerscheinen lassen sich im Vergleich zum Papier nur eine geringe Menge an Bakterien finden. Gleichzeitig sterben die in einer Studie untersuchten Bakterien von Polymerscheinen auf menschlichen Händen schneller ab als die Bakterien von Papierscheinen. Der direkte Vergleich war auf den Scheinen in Mexiko zu beobachten, wo sowohl Polymer- als auch Papierscheine hergestellt werden und die Polymerscheine weit weniger stark kontaminiert waren. Insgesamt wird deutlich, dass eine Papieroberfläche eine deutlich bessere Umgebung für Bakterien darstellt als die Kunststoffoberfläche. Generell bieten diese Ergebnisse ein gutes Bild über die «Umweltbedingungen» auf den Scheinen für Erreger, sind aber nicht mit der potentiellen Kontamination mit dem Coronavirus gleichzusetzen. Forschungsergebnisse bezüglich der Coronaviren gibt es bislang lediglich zu ihrer Stabilität auf unterschiedlichen Materialien im Labor. Es konnte festgestellt werden, dass sie auf Pappe etwa einen Tag, auf Papier bis zu vier Tage und auf Kunststoff noch nach zwei bis drei Tagen nachweisbar sind. Es gibt also Hinweise dafür, dass das Coronavirus ähnlich wie die Bakterien über Geldscheine übertragen wird und stabil bleiben könnte. Da Viren generell zu einem sehr geringen Anteil (< 1 %) auf Geldscheinen gefunden und davon ausgegangen werden kann, dass dies auch für Coronaviren gilt, ist ihre Übertragung über Geldscheine eher unwahrscheinlich.

Eine weitere Rolle bei der Bargeldzahlung stellen Münzen dar, die im Vergleich mit den Geldscheinen bisher noch unzureichend bezüglich ihrer Erregerkontamination erforscht sind. Das soll aber in einem Modellversuch schnell nachgeholt werden.

Experiment: Die Rolle des Bargeldes bei der Virusübertragung

Was Du benötigst:

- Ungefähr 30 Münzen (1-, 2- oder 5-Cent)
- Eine Schüssel
- Zwei Plastikflaschen
- Zwei Luftballons



Kapitel 5 | Schmutziges Geld oder Geldwäsche?

- Zwei Gummibänder
- Ein Trichter
- Ein halbes Päckchen Trockenhefe
- Essig oder Zitronensaft
- Zwei Esslöffel Zucker
- Warmes Wasser

Durchführung:

Als erstes liegt der Fokus auf den Münzen. Dazu gibst Du die Münzen in eine Schüssel und gibst so viel Zitronensaft oder Essig hinzu, bis sie vollständig bedeckt sind. Wofür Du Dich entscheidest, spielt für das Gelingen keine Rolle. In der weiteren Anleitung wird das Experiment mit dem Zitronensaft beschrieben. Die Lösung lässt Du über Nacht stehen.

Am nächsten Tag kann es weiter gehen. Zur Vorbereitung kommen erst einmal die Luftballons zum Einsatz, denn diese müssen ein paar Mal aufgepustet werden, damit sie gut dehnbar werden. Dann erwärmst Du ungefähr einen halben Liter Wasser auf etwa 32 °C, da dies die Optimaltemperatur für die Gärung der Hefe darstellt. Dafür brauchst Du nicht unbedingt ein Thermometer. Das Wasser sollte sich lauwarm anfühlen, wenn Du es über Deine Hand laufen lässt. In dem Wasser werden danach etwa zwei Esslöffel Zucker und ein halbes Päckchen Trockenhefe gelöst. Diese Hefe-Zucker-Lösung wird mit einem Trichter in die Plastikflaschen gefüllt, sodass beide Flaschen genau gleich voll sind. In eine der beiden Flaschen wird zusätzlich die Zitronen-Lösung hinzugegeben, in der die Münzen über Nacht gelegen haben. Auch die Münzen dürfen mit in die Flasche wandern, so sind die Inhalte der Flaschen auch gut zu unterscheiden. In die zweite Flasche fügst Du etwa genauso viel Zitronensaft hinzu, wie Du bei der ersten Flasche verwendet hast.

Dann werden die Luftballons über die Flaschenöffnungen gestülpt, dabei solltest Du darauf achten, dass die Ballons jeweils luftleer über die Flaschen gestülpt werden, damit sie später vergleichbar sind. Die Ballons können noch mit Gummibändern am Flaschenhals fixiert werden. Die Ergebnisse des Versuchs sind erst nach zwei bis drei Stunden zu sehen, ähnlich wie es beim Aufgehen eines Hefeteigs der Fall ist.

Experiment: Die Rolle des Bargeldes bei der Virusübertragung

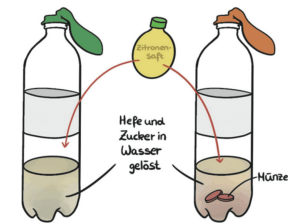


Abbildung 5.3: Skizze der Durchführung des Experiments

HEFEN:

Hefen sind mikroskopisch kleine Pilze, die in Form von etwa 700 verschiedenen Hefearten vorkommen. Sie sind meist einzellig und vermehren sich durch Knospung, also durch Teilungsprozesse. Die Energiegewinnung der meisten Hefen ist fakultativ anaerob. Das bedeutet, sie sind nicht auf Sauerstoff angewiesen, aber nutzen diesen bei Verfügbarkeit bevorzugt für ihre Atmung. Wenn kein Sauerstoff vorhanden ist, findet die Gärung statt, die aber weniger Energie liefert als die Atmung unter Anwesenheit von Sauerstoff. Verschiedene Formen der Hefe wie die Backhefe, Einweihhefe, Weinhefe oder Bierhefe nehmen eine wichtige Rolle in der Nahrungs- und Genussmittelherstellung ein. Zudem stellt die Backhefe (*Saccharomyces cerevisiae*) in der Forschung einen wichtigen Modellorganismus dar, da sie einfach zu vermehren ist und einen ähnlichen Zellaufbau wie Pflanzen- und Tierzellen besitzt.

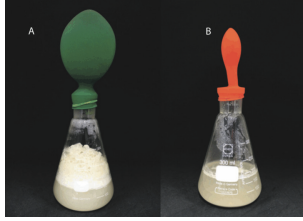


Beobachtungen:

Mit der Zeit kannst Du feststellen, dass sich beide Ballons gefüllt haben. Der Luftballon mit den Münzen und der Zitronen-Lösung ist allerdings deutlich kleiner geblieben als der Vergleichsballon.

Kapitel 5 | Schmutziges Geld oder Geldwäsche?

Abbildung 5.4:
A Starke Ballonfüllung bei der reinen Hefe-Zucker-Lösung mit Zitronensaft. B Geringe Ballonfüllung beim Gärn von Münzen.



Erklärung:

Als erstes wird der Vergleichsballon ohne die Münzen betrachtet, um zu klären, warum sich die Ballons überhaupt aufblähen. Wie Du vielleicht schon vermutet hast, ist ein Gas bei der Reaktion in der Flasche entstanden. Hier handelt es sich um Kohlenstoffdioxid (CO₂), das von den Hefepilzen abgegeben wird, wenn die Zellatmung oder Gärung erfolgt. Mithilfe dieses Prozesses können die Hefepilze die für ihr Wachstum benötigte Energie aus dem Zucker gewinnen. Als Ausscheidungsprodukte entstehen dann Kohlenstoffdioxid durch die Atmung und Ethanol (Alkohol) durch die Gärung. Der Prozess der Atmung ist mit der menschlichen Atmung vergleichbar. Auch wir erzeugen mithilfe von Zucker (Kohlenhydraten) und Sauerstoff Energie und stoßen dabei unter anderem Kohlenstoffdioxid durch die Atmung aus.

Damit kann direkt erklärt werden, was bei dem zweiten Ballon mit den Münzen geschehen sein muss. Er ist weniger stark aufgeblasen, also befindet sich weniger Kohlenstoffdioxid in dem Ballon und die Hefe hat eine geringere Menge Zucker verstoffwechselt. Aber woran liegt das? Es genügt dazu ein Blick auf den Anfang des Versuchs, bei dem Cent-Münzen über Nacht mit einer Lösung behandelt wurden.

Die Münzen bestehen zum Großteil aus Stahl, besitzen aber einen Mantel aus Kupfer. Durch die Zugabe von Zitronensaft hat Du dafür gesorgt, dass sich Kupfer-Ionen von der Münze lösen, da auf der Ober-

Experiment: Die Rolle des Bargeldes bei der Virusübertragung

fläche der Münze Korrosionsprozesse ablaufen. Dies ist mit dem Rosten eines Eisennagels vergleichbar. Genau diese Kupfer-Ionen haben eine antimikrobielle Wirkung, sodass die Hefepilze angegriffen werden. Dadurch können sie den Zucker nur noch teilweise verstoffwechseln und es entsteht weniger Kohlenstoffdioxid. Letztendlich muss bei der Auswertung des Versuchs auch bedacht werden, dass nicht steril gearbeitet werden konnte, sodass auch eine Kontamination von außen möglich wäre, die die Versuchsergebnisse beeinflussen und verfälschen könnte.

Der Versuch konnte zeigen, dass die Kupfer-Oberfläche von Cent-Münzen eine antimikrobielle Wirkung hat. Es werden Kupfer-Ionen frei, die Erreger angreifen und so die Menge an Keimen auf einer Münze reduzieren können. Im Vergleich mit Geldscheinen ist deshalb die Kontamination mit Erregern bei Münzen deutlich geringer. Im Versuch wurde zur Erzeugung der Kupfer-Ionen Zitronensäure beziehungsweise Essig eingesetzt. Beide Stoffe gehören zu den Säuren und wirken korrosiv. Doch können die Münzen im normalen Gebrauch auch eine antimikrobielle Wirkung zeigen? Auch wir Menschen besitzen einen natürlichen Säurefilm auf unserer Haut. Dieser Säurefilm dient als Schutz vor potenziellen Erregern. Kommen wir mit Kupfermünzen in Kontakt, so legt sich eine dünne Schicht des Säurefilms unserer Haut auf die Münze, wodurch Kupfer-Ionen gebildet werden. Auch im alltäglichen Gebrauch sind Kupfer-Münzen also antimikrobiell. Zudem wird aus diesem Grund Kupfer in Krankenhaus für Beschichtungen von Türgriffen verwendet. Eine Untersuchung der Stabilität von Coronaviren auf Kupferoberflächen ergab, dass die Viren im Labor auf Kupferoberflächen bis zu drei Stunden stabil bleiben können. Im Vergleich mit den anderen untersuchten Oberflächen (vergleiche Tabelle 4.1), war dies die geringste Stabilitätsdauer der Coronaviren. Die Münzen können somit als potenzieller Risikofaktor für die Übertragung des Coronavirus als minimal eingestuft werden.

Bisher wurde nur das Bargeld als möglicher Risikofaktor betrachtet, der jedoch als relativ niedrig eingestuft werden kann. Aber was ist es eigentlich mit der Alternative aus? Seit Beginn der Corona-Pandemie ist die Zahl der Kartenzahlungen gestiegen, weil viele diese für sicherer halten, jedoch ist das zum Teil ein Trugschluss. Forscher konnten feststellen, dass das Virus auf nicht porösen Materialien wie Kunststoff oder Edelstahl im Labor gut bestehen kann, sodass Debit- oder Kredit-

Kapitel 5 | Schmutziges Geld oder Geldwäsche?

karten-Terminals und PIN-Pads direkt betroffen sind. Hier liegt die Stabilitätsdauer der Viren bei zwei bis drei Tagen, sodass auch bei der Kartenzahlung und PIN-Eingabe eine Kontaktinfektion denkbar ist und diese somit ein ähnliches Risiko wie die Bargeldzahlung darstellt. Wenn also der Kontakt mit potenziell kontaminierten Gegenständen vollständig umgangen werden soll, sind kontaktlose Kartenzahlungen, die keine PIN-Eingabe erfordern, oder Smartphone-basierte Zahlungsmöglichkeiten eine Lösung. Hier kommt es zu keiner Kontakt mit Objekten, die von mehreren Personen berührt werden.

Es gibt keine Beweise für Erkrankungen, die durch das Berühren von Geldscheinen herbeigeführt wurde – selbst bei Bakterien nicht, die im Vergleich mit Viren in viel höheren Mengen auf Bargeld nachgewiesen werden können. Speziell zu dem Faktor Bargeld in der Pandemie hat sich die World Health Organisation (WHO) geäußert und betont, dass die Übertragung durch Münzen oder Scheine weder bewiesen noch widerlegt werden konnte. Sie empfiehlt deshalb, auf eine gute Hygiene zu achten und regelmäßig die Hände zu waschen, wie es nach der Berührung jedes häufig berührten Gegenstands der Fall sein sollte. Die Deutsche Bundesbank schließt sich dem an und erklärt, dass das Infektionsrisiko durch Geldscheine minimal ist. So wird von einigen Zentralbanken versucht, das Vertrauen in Bargeld zu stärken und dessen weitere Annahme zu fördern. Gleichzeitig tragen die wahrgenommenen Übertragungsrisiken des Bargelds, ob gültig oder nicht, zur schnelleren Entwicklung der digitalen Zahlungen bei.

Letztendlich kann auf die Desinfektion von Geldscheinen also verzichtet werden. Ein Mann aus Südkorea hat es hier etwas zu gut gemeint und 1,8 Mio. Won (ca. 1.300 Euro) in der Mikrowelle erhitzt, um die Scheine zu desinfizieren. Nach seinem Versuch blieben ihm nur 950.000 Won (ca. 700 Euro) – viele Banknoten waren versengt und unbrauchbar.

Quellen:

Auer, R., Cornelli, G. & Frost, J. (2020). Covid-19, cash, and the future of payments. *BIS Bulletin*, 3. Abgerufen von <https://www.bis.org/publ/bullet3.pdf>.
Pal, R. & Bhadada, S. K. (2020). Cash, currency and COVID-19. *Postgraduate Medical Journal*, 96(1137), 427–428. doi:10.1136/postgradmedj-2020-138006

Schmutziges Geld oder Geldwäsche?

Thomas, Y., Vogel, G., Wunderli, W., Suter, P., Witschi, M., Koch, D., Tapparel, C. & Kaiser, L. (2008). Survival of Influenza Virus on Banknotes. *Applied and Environmental Microbiology*, 74(10), 3002–3007. doi:10.1128/AEM.00076-08

Angelakis, E., Athar, E. I., Bibi, F., Yasir, M., Al-Ghamdi, A. K., Ashhi, A. M., Elhemi, A. G. & Raouf, D. (2014). Paper money and coins as potential vectors of transmissible disease. *Future Microbiology*, 9(2), 249–261. doi:10.2217/fmb.13.161

Huang, R. (2020). WHO Encourages Use Of Contactless Payments Due To COVID-19. *Forbes*. Abgerufen von <https://www.forbes.com/sites/rogerhuang/2020/03/09/who-encourages-use-of-digital-payments-due-to-covid-19/#28a441c8b>

Faktencheck: Werden Coronaviren durch Bargeld übertragen? (2020). *Süddeutsche Zeitung*. Abgerufen von <https://www.sueddeutsche.de/wirtschaft/bundesbank-faktencheck-werden-coronaviren-durch-bargeld-uebertragen-dpa-urn-newsml-dpa-com-20090101-200317-99-355511>

Auer, S. (2016). Bargeld stinkt nicht-aber: ist es auch hygienisch? *WDR*. Abgerufen von <https://www1.wdr.de/wissen/mensch/bargeld-hygiene-100.html>

Umfrage: Corona beschleunigt Abkehr vom Bargeld (2020). *Tageschau.de*. Abgerufen von <https://www.tageschau.de/wirtschaft/corona-bargeld-101.html>

Tröger, R. (1964). Der Einfluss von Kupfersulfat auf die Atmung, aerobe und anaerobe Gärung von *Saccharomyces cerevisiae*. *Archiv für Mikrobiologie*, 48(3), 282–290. doi:10.1007/BF00408598

Vincent, M., Duval, R. E., Hartemann, P. & Engels-Deutsch, M. (2018). Contact killing and antimicrobial properties of copper. *Journal of Applied Microbiology*, 124(5), 1032–1046. doi:10.1111/jam.13681

Loper, G. U., Gerbo, C. P., Tamimi, A. H., Kitajima, M., Maxwell, S. L. & Rose, J. B. (2013). Transfer Efficiency of Bacteria and Viruses from Porous and Nonporous Fomites to Fingers under Different Relative Humidity Conditions. *Applied and Environmental Microbiology*, 79(18), 5728–5734. doi:10.1128/AEM.01030-13

Lexikon der Biologie: Hefen. (1999). *Spektrum*. Abgerufen von <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/hefen/31015>

Verhindert das Einhalten des Sicherheitsabstandes eine Ansteckung?

6

»Wer Abstandsregeln nicht einhält, gefährdet sich und andere, denn gerade dort breitet sich das Virus vermehrt aus.«
 Jens Spahn, 14.05.2020



Dieses Zitat des Bundesgesundheitsministers stammt von Mitte Mai 2020. Zu diesem Zeitpunkt war der erste Höhepunkt der Coronapandemie in Deutschland bereits überwunden, international stiegen die Zahlen jedoch weiterhin dramatisch an. Vielen Menschen war nicht klar, welche Ausmaße die Pandemie noch annehmen würde.

Die Übertragungswege der Coronaviren sind nach derzeitigem Forschungsstand noch nicht vollständig geklärt. Häufig werden Bakterien und Viren jedoch durch Tröpfchen übertragen. Infizierte Personen erzeugen beim Husten oder Niesen winzige infektiöse Sekrettröpfchen, die dann von anderen Menschen aus der Umgebungsluft eingeatmet werden. Das allerdings bereits beim Sprechen, Singen oder

Kapitel 6 | Verhindert das Einhalten des Sicherheitsabstandes eine Ansteckung?

Armen kleinste Partikel freigesetzt werden, ist weitaus weniger bekannt. Diese sogenannten Aerosole stehen unter Verdacht, der wichtigste Übertragungsweg für das Coronavirus zu sein.

Aerosole werden als feinste Verteilung von schwebenden festen oder flüssigen Stoffen in Gasen bezeichnet. Diese kommen besonders häufig in der Luft vor, beispielsweise als Raupartikel aus einem Autoauspuff oder als Rauch. Raupartikel, auch Schwebepartikel genannt, haben einen Durchmesser von 0,1 bis 5 Mikrometern. Ein Raupartikel kann also bis zu 1000 Mal kleiner als der Durchmesser eines menschlichen Haares sein. Deshalb sind die Partikel für das menschliche Auge nicht erkennbar. Erst wenn die Konzentration an Schwebepartikeln sehr groß wird, sind sie für Menschen wahrnehmbar. Dieses Phänomen ist zum Beispiel bei Rauch oder Nebel zu beobachten – der Rauch einer Zigarette ist beispielsweise für den Menschen gut sichtbar. Verteilt sich der Rauch weiter in der Raumluft, nimmt die Konzentration aufgrund des größeren Luftvolumens ab. Daher sind Aerosole dann mit dem menschlichen Auge schnell nicht mehr erkennbar. Das Beispiel des Zigarettenrauchs stellt jedoch eher eine Ausnahme dar, denn die allermeisten Aerosole sind für uns nicht sichtbar. Dazu zählen auch natürliche Bioaerosole wie Pollen oder Viren.

Die Bildung von Aerosolen und der zugehörigen Partikel kann auf verschiedenen Wegen stattfinden. Raupartikel entstehen zum Beispiel bei Verbrennungen, wie der im Motor eines Autos oder bei der Emission von Sand in Wüsten. Auch Menschen stoßen auf verschiedene Weise Aerosole aus. Die Tröpfchen, die von einer mit COVID-19 infizierten Person ausgesondert werden, können Coronaviren enthalten, welche für eine Übertragung der Krankheit verantwortlich sind.

Abbildung 6.1:
Mögliche Aerosolbildung beim Singen



Verhindert das Einhalten des Sicherheitsabstandes eine Ansteckung?

Hat sich ein Mensch infiziert, dringen die Erreger zunächst in sogenannte Wirtszellen ein, um sich dort zu vermehren. Aus einer Wirtszelle können dabei tausende Viren entstehen, die sich auf dem gleichen Weg erneut vermehren.

Beim neuartigen Coronavirus ist vor allem der Hals- und Rachenraum von Bedeutung, da die Vermehrung überwiegend dort stattfindet. Aus diesen Bereichen gelangen die Viren leicht in den Speichel und durch den Tröpfchenausstoß des Menschen schließlich in die Umgebungsluft.

Gesunde Menschen können die in der Luft befindlichen infektiösen Partikel leicht einatmen und sich anstecken, insbesondere, wenn sie sich in der Nähe der infizierten Person befinden. Die eingeatmeten Viren vermehren sich daraufhin wieder in den Wirtszellen der neu infizierten Person, so dass auch diese zum Überträger infektiöser Tröpfchen wird.

Der Ausstoß von Tröpfchen und Aerosolen erfolgt beim Menschen auf verschiedenen Wegen. Husten und Niesen sind Schutzreflexe, bei denen Schleim oder Fremdkörper durch explosionsartiges Luftausstoßen aus dem Körper entfernt werden. Die hohe Geschwindigkeit der Luft sorgt dafür, dass insgesamt viel Speichel mitgezogen wird, sodass vermehrt größere Tröpfchen ausgestoßen werden. Beim Singen, Sprechen oder Atmen wird ein deutlich langsamerer Luftstrom erzeugt, der weniger Flüssigkeit mitreißt. Die freiwerdenden Partikel sind daher deutlich kleiner. Bei der Atmung durch die Nase können durch deren Filterfunktion zudem größere Partikel zurückgehalten werden. Um eine Ansteckung zu vermeiden, sollte das Einatmen infektiöser Partikel durch geeignete Schutzmaßnahmen vermieden werden. Hierzu wird die Einhaltung eines Abstands von mindestens 1,5 Metern zu anderen Menschen empfohlen, da sichtbare Tröpfchen in diesem Bereich zu Boden sinken sollten. Verschiedene Größen der Tröpfchen sorgen allerdings dafür, dass diese sich in einigen ihrer Eigenschaften unterscheiden. Die Auswirkungen der Größenunterschiede auf die Flugweite und somit auch auf die Verbreitung der Viren kann anhand eines einfachen Modellversuchs überprüft werden.

Experiment: Tröpfchenausstoß

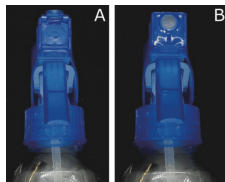
DO IT YOURSELF

In diesem Experiment wird das Ausstoßen von Tröpfchen und Aerosolen verschiedener Größen durch einen Menschen beim Reden oder Husten simuliert. Beachte, dass es sich hierbei lediglich um ein Modell-experiment handelt. Dies bedeutet, dass Beobachtetes nicht eins zu eins auf die Realität übertragen werden kann. Das Experiment dient lediglich der Verdeutlichung des Verhaltens aussondeter Tropfen beziehungsweise Aerosole sowie der Darstellung ihrer Verbreitung.

Was Du benötigst:

- Chininhaltiges Tonic Water
- UV-Lampe/Schwarzlicht-Lampe
- Eine leere Sprühflasche mit größenverstellbarem Zerstäuber

Abbildung 6.2: Einstellung des Sprühkopfs
A Einstellung für kleinere Tropfen
B Einstellung für größere Tropfen



Der Sprühaufsatz der leeren Flasche sollte zwei mögliche Einstellungen haben, um sowohl Husten als auch Niesen gut simulieren zu können (Abb. 6.2): Eine Einstellung, die kleine Tropfen sprüht und eine, die größere Tropfen oder Schaum spritzt.



Durchführung:

Spüle die Sprühflasche zunächst gründlich mit Wasser aus und befreie auch den Sprühaufsatz und den dazugehörigen Schlauch von möglichen Rückständen. Nachdem die Flasche und der Sprühaufsatz getrocknet sind, kann die Sprühflasche zu circa einem Drittel mit dem chininhaltigen Tonic-Water befüllt werden. Am besten eignen sich zuckerfreie Sorten, da diese nicht kleben.

Stelle die Sprühflasche an einen festen Platz auf einer glatten und leicht zu säubenden Oberfläche. Die Fläche sollte möglichst groß und gerade sein, um die Verteilung der Tröpfchen nachvollziehen zu können. Führe den Versuch in einem abgedunkelten Raum durch. Andernfalls wird es schwer, die Tropfen unter dem UV-Licht zu erkennen. Sollte kein chininhaltiges Tonic Water zur Verfügung stehen, kann das Experiment auch mit Wasser durchgeführt werden. Zur besseren Sichtbarkeit der Tropfenverteilung kann ein großes Stück Pappe unter die Sprühflasche gelegt werden.

Wähle zunächst die grobe Einstellung des Sprühaufsatzes, so dass größere Tropfen versprüht werden. Halte die UV-Lampe direkt neben den Sprühaufsatz. Sprühe jetzt fünfmal mit der Flasche. Beobachte dabei die Größe, die Verteilung und die Flugweite beziehungsweise Schwebezeit der Tropfen. Schau bitte nicht direkt in das Licht der UV-Lampe!

Ändere die Einstellung des Sprühaufsatzes nun so, dass kleinere Tropfen versprüht werden und wiederhole das Experiment.

Im Anschluss kann die besprühte Fläche mit der UV-Lampe genauer untersucht werden. Starte am Punkt, an dem die Flasche stand und verfolge die Tropfen entlang der Sprühhichtung. Achte auch hierbei besonders auf die Größe, die Verteilung und die Flugweite der Tropfen.

Beobachtungen:

Mit der groben Einstellung werden vermehrt größere Tröpfchen ausgestoßen, welche schnell zu Boden fallen. Sie fliegen recht gebündelt nach vorne und fallen dann herunter, wobei die größten Tropfen zuerst absinken. Bei Verwendung der feineren Einstellung werden wesentlich kleinere Tropfen versprüht, die sich weitaufger im Raum verteilen. Diese sinken erst später zu Boden, allerdings fallen auch hier die größten Tropfen zuerst herunter (Abbildung 6.3).

Bei der anschließenden Betrachtung der Verteilung auf der besprühten Fläche zeigt sich ein ähnliches Bild. Die größeren Tropfen legen nur eine kurze Distanz zurück und sammeln sich hauptsächlich in direkter Umgebung des Sprühkopfes. Kleinere Tropfen schweben länger in der Luft und legen eine größere Distanz zurück. Auch die Verteilung in der Breite ist abhängig von der Tropfengröße. Je größer die Tropfen, desto kleiner ist die Fläche, auf der sie landen. Je kleiner die Tropfen, desto großflächiger ist die Verteilung auf der Fläche (Abbildung 6.4).

Abbildung 6.3: A Sprühen kleinerer Tropfen Tonic Water unter UV-Licht
B Sprühen größerer Tropfen Tonic Water unter UV-Licht

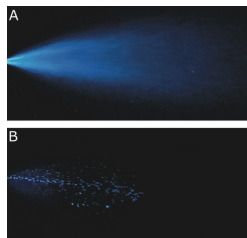
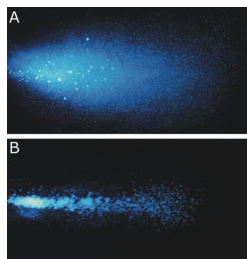


Abbildung 6.4: Verteilung der gesprühten Tropfen unter UV-Licht
A Kleinere Tropfen
B Größere Tropfen



Erklärung:

Größere Tropfen sinken aufgrund ihres Gewichts schneller zu Boden, während kleinere, leichte Tropfen länger in der Luft schweben und sich dort weitaufger verteilen. Hierbei gilt: Je kleiner die Tropfen, desto länger bleiben sie in der Umgebungsluft und können sich dort großflächiger verteilen.

Mit den verschiedenen Sprühaufsätzen kann der Aerosol-Ausstoß eines Menschen simuliert werden. Der gröbere Aufsatz bildet den Prozess des Hustens ab, wobei vermehrt größere Tropfen ausgeworfen werden. Mit dem feineren Aufsatz kann das Niesen simuliert werden, wobei der Mensch überwiegend kleinere Tropfen, die Tröpfchen, ausstößt. Da beim Sprühen mit Druck gearbeitet wird, kann das Sprechen leider nicht dargestellt werden, da die Tropfen dabei wesentlich langsamer ausgestoßen werden. Gleiches gilt für das Atmen. Aufgrund des geringeren Drucks bei der Freisetzung der Aerosole sind diese nur winzig klein. Die Ergebnisse des Experiments zeigen eine Größenabhängigkeit bei der Verteilung der Tropfen (Tröpfchen), aus der sich schließen lässt, dass Aerosole, die beim Sprechen und Atmen in die Umgebungsluft gelangen, dort besonders lange verbleiben und weite Strecken zurücklegen können.

Die Tröpfchen des Tonic Waters leuchten beim Anstrahlen mit der UV-Lampe hellblau auf. Diesen Effekt kann man ebenso beim Besuch einer Diskothek beobachten, wenn weiße Kleidung in bestimmtem Licht aufleuchtet. Ultraviolettstrahlung (auch UV-Licht oder Schwarzlicht) ist kurzwellige und energiereiche elektromagnetische Strahlung, die für das menschliche Auge nicht sichtbar ist. Fällt UV-Licht auf bestimmte Stoffe, werden diese zum Leuchten angeregt. Dieses Phänomen wird als Fluoreszenz bezeichnet (vergleiche Abbildung 6.5).

Abbildung 6.5: Tonic Water unter UV-Licht



Tatsächlich kommt es bei der Gefährdung durch die von Menschen ausgesonderten Tropfen und Aerosole auf die Größe an. Große Tropfen, die sehr schnell auf den Boden fallen, stellen keine akute Gefahr für Mitmenschen dar, solange der erforderliche Mindestabstand gewahrt wird. Wird der entsprechende Abstand nicht eingehalten, können Menschen in direkter Nähe durch virusbeladene Tröpfchen infiziert werden. Da jedoch bereits beim Sprechen winzig kleine Tröpf-

Kapitel 6 | Verhindert das Einhalten des Sicherheitsabstandes eine Ansteckung?

chen ausgestoßen werden, ist die Einhaltung des Mindestabstands allein nicht ausreichend. Die kleineren Tröpfchen legen in der Luft wesentlich längere Strecken zurück und verteilen sich feiner. Kleinste Aerosolpartikel, die von Menschen beim Atmen freigesetzt werden, haften sich besonders lange in der Luft, bevor sie zu Boden fallen. Infektiöse Viren, die eine COVID-19 erkrankte Person auf diesem Wege aussondert, können über mehrere Stunden in der Umgebungsluft verbleiben. Sie bergen aufgrund ihrer langen Infektiosität und der Fähigkeit, große Distanzen zurückzulegen, eine akute Gefahr. Aerosole sind deshalb maßgeblich an der Verbreitung des Virus beteiligt.

Das klingt fast so, als gäbe es kaum eine Möglichkeit, sich vor infektiösen Aerosolen zu schützen? Dem ist aber nicht so! Um eine akute Ansteckungsgefahr darzustellen, muss ein Aerosol eine hohe Konzentration an infektiösen Viren enthalten. Die Konzentration kann jedoch durch eine ausreichende Belüftung gering gehalten werden. Geschlossene Räume können zum Beispiel durch geöffnete Fenster, Türen oder eine Lüftungsanlage mit Frischluft versorgt werden. Das Risiko einer Ansteckung wird dadurch stark reduziert. Allgemein sollten nach Möglichkeit Menschenansammlungen gemieden werden.

Treffen mit Freunden oder Bekannten sollten bevorzugt draußen stattfinden. Im Freien findet eine durchgehende Umwälzung der Luft statt. Aufgrund der Luftbewegung und des großen Luftvolumens wird die Konzentration von infektiösen Viren sehr niedrig gehalten. Aerosole stellen unter freiem Himmel somit nur ein geringes Infektionsrisiko dar. Der Mindestabstand sollte dennoch eingehalten werden. Nur so kann man sich ausreichend vor einer Ansteckung schützen.

Um die Übertragung von Coronaviren und deren Verbreitung noch weiter eindämmen, wird zudem das Tragen einer Mund-Nase-Bedeckung empfohlen. Hierbei werden verschiedene Arten von Masken unterschieden. So gibt es neben den sogenannten Alltagsmasken, welche auch als Community-Masken bezeichnet werden, spezielle Schutzmasken für den Einsatz in medizinischen Einrichtungen. Der dort häufig bestehende direkte Kontakt mit vielen verschiedenen PatientInnen erfordert besondere Schutzmaßnahmen. Medizinische Gesichtsmasken müssen daher bestimmte Anforderungen erfüllen, damit sie in diesem Bereich genutzt werden dürfen – dies wird im nächsten Kapitel genauer beleuchtet.

Verhindert das Einhalten des Sicherheitsabstandes eine Ansteckung?

Quellen:

Lin, L., Li, Y., Nielsen, P.V., Wei, J., Jensen, R.L. (2016). Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people. *Indoor Air*, 27, 452-462. doi: 10.1111/ina.12314

Stadnytskyi, V., Bax, C. E., Bax, A., Anfinrud, P. (2020). The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 117(22), 11875-11877. doi: 10.1073/pnas.2006874117

Ji, Y., Qian, H., Ye, J., Zheng, X. (2017). The impact of ambient humidity on the evaporation and dispersion of exhaled breathing droplets: A numerical investigation. *Journal of Aerosol Science*, 115, 164-172. doi: 10.1016/j.jaerosci.2017.10.009

van Doremalen, N. et al (2020). Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *The New England Journal of Medicine*, 382,16. doi: 10.1056/NEJM2004973

NDR Info (2020). Coronavirus-Update. NDR. Abgerufen von <https://www.ndr.de/nachrichten/infocoronavirus/174.pdf>

Robert Koch-Institut (2020). Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19). Robert Koch-Institut. Abgerufen von https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartige_Coronavirus/Steckbrief.html#doc13776792bodyText2

Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (o.J.). Tröpfcheninfektion – Wie werden Erreger bei einer Tröpfcheninfektion übertragen? <https://www.infektionsschutz.de/infektionsschutz/uebertragungswege/troeffcheninfektion.html>

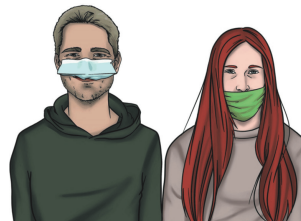
Weikert, B., Wiese-Posselt, M., Gastmeier, P. (2018). Husten. *Stiftung Gesundheitswissen*. Abgerufen von <https://www.stiftung-gesundheitswissen.de/wissen/husten/hintergrund>

Bundesministerium für Gesundheit (2020). Bundesgesundheitsminister Jens Spahn im Interview mit dem Redaktionsnetzwerk Deutschland (RND) über Verschwörungstheorien und das Zweite Covid-19-Bevölkerungsschutz-Gesetz. *Bundesministerium für Gesundheit*. Abgerufen von <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/presseinter-view-interview/rnd-140520.html>

Eindämmung der Pandemie durch das Tragen von Masken

7

»Wie konnte es eigentlich so leicht gelingen, in Hongkong und anderen Städten, SARS-1 gemeint ist die SARS-1-Epidemie von 2002/03) zum Stillstand zu bringen? Was sie durch die Blame sagen, ist: Indem dort, wo Superspreading-Gefahr war, überall eine Maske getragen wurde.«
Christian Drosten, 28.05.2020



Das Tragen eines Mund-Nase-Schutzes gehört für die meisten Menschen inzwischen zum Alltag. Späterens seit den Beschlüssen zur Maskenpflicht im öffentlichen Raum, welche im April 2020 nach und nach in allen Bundesländern in Kraft traten, hat sich die Maske in der Gesellschaft etabliert. Es ist inzwischen normal, sich vor einem Einkauf oder dem Betreten von Bus und Bahn mit einer Mund-Nase-


Kapitel 7 | Eindämmung der Pandemie durch das Tragen von Masken

Bedeckung auszustarten. Beim Besuch von Orten, an denen sich viele verschiedene Menschen aufhalten, ist es besonders wichtig, sich selbst und andere zu schützen. Eine Alltagsmaske dient dabei hauptsächlich dem Fremdschutz. Sie ist in der Lage, Tröpfchen aufzufangen, die beim Husten, Niesen oder Sprechen entstehen und beugt somit einer Tröpfcheninfektion vor. Der Eigenschutz allerdings kann nach aktuellem Forschungsstand mit einer gewöhnlichen Alltagsmaske oder auch dem einfachen medizinischen Mund-Nase-Schutz nicht gewährleistet werden. Zwar schirmt das Tragen eines solchen Schutzes natürlich auch vor dem Tröpfchenausstoß anderer Menschen ab, allerdings schützen die Masken nicht vor Aerosolen, welche sich in der Umgebungsluft befinden. Dazu kommen nicht selten Anwendungsfehler seitens der TrägerInnen. Sitzt die Maske beispielsweise nicht exakt und dicht genug am Gesicht, wird die Umgebungsluft seitlich an der Schutzausrüstung vorbei ein- und ausgeatmet.

Trotz des nicht eindeutig feststellbaren Eigenschutzes ist es wichtig, in der Öffentlichkeit eine Maske zu tragen. Neben dem psychologischen Effekt, nämlich der Erinnerung an die Ernsthaftigkeit der Situation, führt die allgemeine Maskenpflicht auch zu einer gesellschaftlichen Akzeptanz. Der Gefahr einer Ausgrenzung von Erkrankten, die sich zum Schutz ihrer Mitmenschen für das Tragen einer Maske entscheiden, kann so vorgebeugt werden. Zudem haben einige infizierte Menschen keinerlei Symptome und wissen daher gar nicht, dass sie TrägerIn des Virus sind. Wenn jedoch jeder vorsorglich eine Mund-Nase-Bedeckung trägt, könnte auch diese unwissentliche Übertragung vermieden und somit die Verbreitung des Coronavirus reduziert werden.

Für MitarbeiterInnen medizinischer Einrichtungen ist der persönliche Schutz besonders wichtig. Sie haben täglich Kontakt mit vielen verschiedenen PatientInnen und könnten die Viren im Falle einer Ansteckung schnell an diese übertragen. Daher werden im medizinischen Bereich überwiegend sogenannte FFP2- und FFP3-Masken verwendet, welche sowohl dem Fremd- als auch dem Eigenschutz dienen.

FFP-KLASSEN:
FFP-Masken sind partikelfiltrierende Atemschutzmasken, auch Feinstaubmasken genannt. Sie bedecken Mund und Nase und werden vor allem im Rahmen des Arbeitsschutzes genutzt. Die Abkürzung FFP steht für »Filtering Face Pieces«. Es werden ver-



60

Eindämmung der Pandemie durch das Tragen von Masken

schiedene Filtermaterialien eingesetzt, um die TrägerInnen vor Aerosolen und Feinstaubpartikeln zu schützen.

Die FFP-Masken werden in drei verschiedene Klassen eingeteilt, abhängig vom Anwendungsgebiet und den Anforderungen bezüglich der Gefahenstoffe und deren Konzentration. Alle FFP-Masken können Partikel bis zu einer Größe von 0,6 Mikrometern filtern. Somit können sie beispielsweise kreberregende Asbestfasern, die einen Durchmesser von 0,6 bis 3 Mikrometern haben, vor dem Eindringen in den Atemtrakt abhalten. Die verschiedenen Schutzklassen unterscheiden sich allerdings hinsichtlich ihrer Effektivität. FFP1-Masken sind beispielsweise nur in Arbeitsumgebungen einsetzbar, in denen keine giftigen Aerosole oder fibrogenen Stäube auftreten. Als fibrogen werden Partikel bezeichnet, wenn sie in der Lage sind, Lungenerkrankheiten wie Mukoviszidose, Asthma oder Lungenkrebs auszulösen. Masken mit FFP1-Klassifizierung filtern mindestens 80 % aller Partikel aus der Umgebungsluft. FFP2-Masken bieten Schutz vor gesundheitsschädlichen und erbgutverändernden Stoffen. Sie fangen mindestens 94 % der Partikel ab. FFP3-Masken bieten den größtmöglichen Schutz. Sie filtern mindestens 99 % aller Partikel, darunter giftige, kreberregende und radioaktive.

Durch den Einsatz von Atemschutzmasken können langfristige Schäden und schwere Erkrankungen, die durch das Einatmen gesundheitsschädlicher Stoffe entstehen, vermieden werden.

Diese speziellen Masken sollen jedoch, besonders zwecks Ressourcenschonung, medizinischem Fachpersonal und RisikopatientInnen vorbehalten bleiben. Alle anderen Mitglieder der Bevölkerung greifen daher überwiegend auf den Mund-Nase-Schutz oder die Alltagsmaske zurück. Alltagsmasken gibt es in vielen verschiedenen Formen, nicht selten werden diese sogar selbst genäht. Häufig werden dazu Stoffe aus Baumwolle verwendet. Es gibt einlagige, aus nur einer Lage Baumwollstoff bestehende, aber auch zwei- oder mehrlagige Alltagsmasken. Diese können sich in ihrer Effektivität stark unterscheiden. Zum Teil werden auch Halbwärmer oder Motorrad-Sturmhauben aus Nylon an Stelle einer Maske verwendet. Diese sind in ihrer Schutzwirkung jedoch sehr unstritten. Manchmal kommt es vor, dass Menschen sich, wenn sie beispielsweise nur kurz an der Tankstelle bezahlen möchten, lediglich ihr T-Shirt oder ihren Pullover über Mund und Nase ziehen.


61

Kapitel 7 | Eindämmung der Pandemie durch das Tragen von Masken

In diesen Fällen ist die Wirksamkeit dieser Schutzmaßnahme eher fragwürdig.

Von medizinischem Personal werden häufig sogenannte Face Shields als zusätzlicher Schutz im Umgang mit möglicherweise infizierten PatientInnen genutzt. Dabei wird das Face Shield mit einem medizinischen Mund-Nase-Schutz oder einer FFP-Maske kombiniert, um neben Mund und Nase auch noch die Augenschleimhäute vor Kontakt mit dem Virus zu schützen. Nicht selten werden die Schutzschilde jedoch auch im Alltag als Ersatz der üblichen Mund-Nase-Bedeckung verwendet.

MAKER/3D-DRUCK:
Als MakerInnen werden Personen bezeichnet, die selbstständig Dinge herstellen oder an den aktuellen Stand der Technik anpassen. Im Vordergrund stehen dabei besonders die Innovation und der Do-It-Yourself-Gedanke. Bevorzugt werden dazu digitale Technologien genutzt. Häufig nutzen MakerInnen für die Umsetzung ihrer Ideen 3D-Drucker. Mit diesen Geräten sind sie in der Lage, zuvor am Computer entwickelte Modelle dreidimensional auszudrucken. 3D-Drucker funktionieren nach einem ähnlichen Prinzip wie eine Heißklebepistole. Ein schmelzfähiger Kunststoff wird bis zur Verflüssigung erhitzt. Eine bewegliche Düse bringt diesen dann schichtweise auf eine Druckplatte oder den sich darauf bereits befindlichen erstarrten Kunststoff auf, sodass am Ende ein fertiges Objekt aus Kunststoff entsteht. Dies ermöglicht die Herstellung fast jeder denkbaren Form.



62

Experiment 1: Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken – Kerzen löschen

Die Verbindung von Kreativität und Technologie zur Lösung von Problemen verschiedenster Bereiche birgt großes Potential. So helfen die MakerInnen in Zeiten der Corona-Pandemie, indem sie verschiedene Hilfsmittel wie zum Beispiel Türöffner oder Schutzschilde für medizinisches Fachpersonal herstellen und kostenfrei zur Verfügung stellen.


Zusammengefasst lässt sich feststellen, dass es viele Arten von Mund-Nase-Bedeckungen gibt, welche in verschiedenen Bereichen und Situationen eingesetzt werden. Auch im Alltag werden einige Varianten genutzt, welche sich in ihrer Schutzwirkung unterscheiden können. Die Wirksamkeit der eingesetzten Arten von Masken kann mit zwei einfachen Experimenten überprüft werden. Es können sämtliche Arten von Mund-Nase-Bedeckungen überprüft werden, Du kannst zum Beispiel auch Deine eigene bevorzugte Maske testen.

Experiment 1: Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken – Kerzen löschen

Was Du benötigst:

- Eine Kerze
- Schutzmaske(n)
- Ein Feuerzeug oder Streichhölzer

Durchführung:
Zünde die Kerze an. Teste zunächst ohne Maske, wie leicht oder stark Du pusten musst, um die Kerze zu löschen. Setze nun eine Schutzmaske auf. Achte darauf, dass sie fest an Deinem Gesicht anliegt. Versuche, die Kerze durch die Maske hindurch auszapusten. Solltest Du verschiedene Masken besitzen, kannst Du das Auszapusten durch jede Variante ausprobieren. Versuche auch, Dir dabei nur ein T-Shirt oder einen Pullover über Mund und Nase zu ziehen. Achte darauf, wie leicht oder stark mit den unterschiedlichen Schutzmasken gepustet werden muss, bis die Kerze erlischt.



63

Kapitel 7 | Eindämmung der Pandemie durch das Tragen von Masken

Abbildung 7.1:
A FFP3-Maske
B FFP2-Maske
C Medizinischer Mund-/Nase-Schutz
D Mehrschichtiger, selbstgenähter Mund-/Nase-Schutz
E Nylon-Schal
F Face-Shield
G Einlagiger, selbstgenähter Mund-/Nase-Schutz
H Baumwoll-T-Shirt



Beobachtungen:

Das Auspusten der Kerze erfordert je nach Art der Schutzmaske unterschiedliche Anstrengung. Durch FFP3- und FFP2-Masken lässt sich die Kerze auch mit großer Anstrengung nicht auspusten. Bei einem medizinischen Mund-/Nase-Schutz muss sehr stark gepustet werden, um die Kerze zu löschen. Ähnlich verhält es sich bei einer zweilagigen selbstgenähten Alltagsmaske. Bei einer einlagigen Alltagsmaske muss bereits wesentlich weniger Stärke zum Auspusten der Kerze angewandt werden. Gleiches gilt für ein einfaches Baumwoll-T-Shirt, das über Mund und Nase gezogen wurde. Auch bei Verwendung des Nylon-Schals als Schutzmaske erleichtert die Kerze schon bei weniger starkem Pusten. Besonders interessant ist das Face Shield, bei dem es stark abhängig von der Position der Kerze ist, wie stark gepustet werden muss. Ist die Kerze unterhalb des Face Shields aufgestellt, lässt sie sich sehr leicht auspusten. Steht sie jedoch direkt vor dem Visier, wird deutlich mehr Kraft zum Löschen der Flamme benötigt.

Experiment 2: Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken – Masken in grünem Licht

Was Du benötigst:

- Wasser
- Eine Sprühflasche mit feinem Zerstäuber
- Eine Taschenlampe, die grünes Licht erzeugt
- Schutzmaske(n)

Experiment 2: Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken – Masken in grünem Licht

Durchführung:

Führe dieses Experiment am besten mit der Hilfe einer zweiten Person durch. Fülle das Wasser in die Sprühflasche. Dunkle den Raum nun so gut es geht ab. Positioniere die Taschenlampe in der Nähe des Zerstäubers der Sprühflasche, sodass die versprühten Tropfen angeleuchtet werden. Sprühe nun einmal ohne Schutzmaske mit der Sprühflasche, um den Tropfenausstoß später vergleichen zu können. Achte beim Sprühen auf die Menge und Flugweite der Tropfen, die von der Taschenlampe angeleuchtet werden. Halte nun eine Schutzmaske vor den Zerstäuber der Sprühflasche und sprühe erneut. Achte darauf, wie viele Tropfen Du im Licht der Taschenlampe erkennen kannst und wie weit diese fliegen. Wiederhole den Vorgang mit allen Dir zur Verfügung stehenden Arten von Masken. So kannst Du auch leicht überprüfen, wie wirksam Deine eigenen Masken sind.

Beobachtungen:

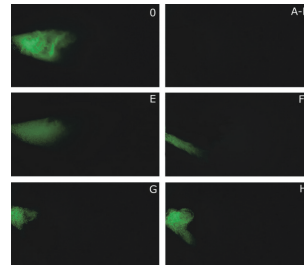


Abbildung 7.2:

Sprühen:
0 ohne Maske
A-D FFP3-Maske, FFP2-Maske, medizinischer Mund-/Nase-Schutz und mehrschichtiger, selbstgenähter Mund-/Nase-Schutz
E Nylon-Schal
F Face-Shield
G einlagiger, selbstgenähter Mund-/Nase-Schutz
H Baumwoll-T-Shirt

Je nach Art der Schutzmaske sind verschiedene Verteilungen im Licht der Taschenlampe zu beobachten. Bei einigen Varianten sind keinerlei Tropfen zu erkennen. Dazu zählen FFP3- und FFP2-Masken, ein

Kapitel 7 | Eindämmung der Pandemie durch das Tragen von Masken

medizinischer Mund-/Nase-Schutz, sowie eine zweilagige selbstgenähte Alltagsmaske. Beim Sprühstoß durch eine einlagige Alltagsmaske sind einige Tropfen im Licht der Taschenlampe zu sehen, die durch die Maske hindurch gekommen sind. Diese verteilen sich jedoch weniger weitläufig, als beim Vergleich ohne Maske. Bei einem einfachen Baumwoll-T-Shirt ist eine ähnliche Verteilung zu beobachten, es waren dabei sogar noch mehr Tropfen im Lichtkegel zu sehen. Auch diese verteilen sich, allerdings weniger weit, als es ohne Maske der Fall ist. Ein anderes Ergebnis ist beim Nylon-Schal zu beobachten. Hier verteilen sich die Tropfen fast genauso wie beim Vergleich ohne Maske. Es kommen zwar weniger dicke Tropfen durch den Stoff, dafür sind deutlich mehr feinere Tropfen zu sehen, die eine weitere Flugstrecke zurücklegen. Beim Face Shield ist zu beobachten, dass im Bereich des Visiers keinerlei Tropfen im Lichtkegel zu sehen sind. Allerdings strömen sie unterhalb des Visiers hindurch und verteilen sich recht weitläufig im Lichtstrahl der Taschenlampe.

Erklärung:

Verschiedene Arten von Masken zeigen starke Unterschiede in ihrer Wirksamkeit. Mit dem Sprühstoß aus der Sprühflasche kann der Tropfenausstoß eines Menschen im normalen Alltag simuliert werden. Wichtig ist, dass diese Ergebnisse lediglich den Ausstoß von Tropfen durch den Träger der Maske abbilden und sich alle Aussagen somit auf den Fremdschutz beziehen. Über den Eigenschutz können nach aktuellem Stand der Wissenschaft keine finalen Aussagen getroffen werden.

Die im Bereich des Arbeitsschutzes häufig verwendeten FFP2- und FFP3-Atmungsmasken lassen keinerlei sichtbare Tropfen in die Umgebungsluft, sie bieten dem Gegenüber also besonders großen Schutz vor einer Ansteckung. Auch der medizinische Mund-/Nase-Schutz ist sehr wirksam, um die Verbreitung infektiöser Viren zu vermeiden. Da diese Arten von Masken besonders häufig in medizinischen Bereichen eingesetzt werden, müssen sie bestimmte Anforderungen und Normen erfüllen. Diese Normen werden vom Deutschen Institut für Normierung e.V. festgelegt oder von europäischen Organisationen übernommen und laufend überprüft. Produkte, welche alle Anforderungen erfüllen, werden entsprechend zertifiziert und für die Nutzung in bestimmten Risiko-Bereichen freigegeben. FFP2- und FFP3-Masken sind beispielsweise zwecks des Eigen- und

Experiment 2: Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken – Masken in grünem Licht

Arbeitsschutzes freigegeben, medizinische Gesichtsmasken haben eine Freigabe bezüglich des Fremdschutzes.

Es könnte gezeigt werden, dass auch zweilagige Alltagsmasken einen guten Schutz bieten können. Einlagige Alltagsmasken oder auch einfache Baumwoll-Shirts hingegen bieten keinen ausreichenden Fremdschutz. Das Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte empfiehlt die sogenannten Community-Masken daher nur für den privaten Gebrauch. Selbstgenähte oder auch käuflich erworbene Stoffmasken sind nicht zertifiziert und daher nicht für Risiko-Bereiche geeignet. Zwei- oder mehrschichtige Masken können jedoch bei korrekter Handhabung durchaus einen guten Schutz für andere bieten. Sowohl die Geschwindigkeit als auch die Menge des Tropfenausstoßes können damit reduziert werden.

Die Problematik von Face Shields kann anhand der Experimente leicht verdeutlicht werden. So bietet das Visier lediglich Schutz in einem kleinen Bereich vor dem Gesicht, ausgestoßene Luft oder Tropfen dringen jedoch daran vorbei und werden in die Umgebungsluft entlassen. Demnach verhindert ein Face Shield nicht die Verbreitung eventuell infektiöser Tropfen.

Auch Schals oder Sturmhauben aus Nylon bieten keinen ausreichenden Schutz. Sie sorgen vielmehr dafür, dass die Tropfen sich noch feiner verteilen. Feinere Tropfen sind leichter, sinken daher viel später zu Boden und können deshalb weitere Strecken zurücklegen. Sie verteilen sich wesentlich weitläufiger in der Umgebungsluft. Im Hinblick auf Aerosole (siehe Kapitel 6) ist es also denkbar, dass die Verwendung von Nylon als Schutzmaske die Verbreitung der Viren sogar begünstigt, anstatt diese einzudämmen. Eine solche Maske ist als Schutzmaßnahme daher nicht empfehlenswert.

Die Wirksamkeit unterschiedlicher Maskentypen ist also je nach Art der Maske höchst unterschiedlich. Wie effektiv das Tragen einer Alltagsmaske dennoch sein kann, soll folgende Modellrechnung symbolisieren (vergleiche Abbildung 7.3). Es soll angenommen werden, dass eine Maske sowohl beim Ein- als auch beim Ausatmen einen Wirkungsgrad von 50 % besitzt.

Stehen sich zwei Personen gegenüber, die keine Maske tragen, so werden 100 % der Tropfen beim Husten, Niesen oder Sprechen über-

tragen. Trägt wenigstens eine Person die Maske, so überträgt diese lediglich 50 % der Tröpfchen auf die andere. Wenn beide Personen eine Maske tragen, werden die 50 % Tröpfchen der ausstossenden Person beim Einatmen durch die Maske der anderen Person wieder halbiert auf 25 % der Tröpfchen. Wenn also alle Personen eine Maske mit einer Effektivität von 50 % tragen würden, so könnte der Anteil ausgestoßener Tröpfchen, welcher bei einer anderen Person ankommt, um 75 % reduziert werden. Damit könnte auch das Übertragungsrisiko von Coronaviren um 75 % gesenkt werden.

Abbildung 7.3: Senkung der Übertragung am Beispiel einer zu 50 % wirksamen Maske.



Diese Modellrechnung ist natürlich stark vereinfacht. Im Experiment konnte gezeigt werden, dass je nach Maske die Effektivität deutlich variiert. Zudem ist wie eingangs erwähnt umstritten, ob der Eigenschutz bei Alltagsmasken hinreichend gegeben ist. Dennoch lassen sich auch bei noch geringeren Effektivitätszahlen Erfolge erzielen.

MASKENEFFEKTIVITÄT MATHEMATISCH ERLEBEN:

Auf der Website www.antiabhd.com/maskemath kannst Du unterschiedliche Werte für die Effektivität von Masken beim Ein- und Ausatmen und die Anzahl der Personen, die sie tragen, auswählen und mit ihnen berechnen, was nötig ist, damit der R-Wert (Vergleiche Kapitel 14) unter 1 fällt und die Ausbreitung des Coronavirus eingedämmt werden kann.

Auf der Website werden die mathematischen Zusammenhänge einfach erklärt und über Schieberegler lassen sich verschiedenen Einstellungen treffen. Anhand von Diagrammen und Simulationen siehst Du sofort die Auswirkungen Deiner Einstellungen.



Hierbei darf jedoch nicht vergessen werden: Masken wirken nur dann, wenn die große Mehrheit sie auch gewissenhaft trägt. Durch Masken lassen sich von uns ausgestoßene Tröpfchen, die Erreger enthalten können, zurückhalten, wodurch die Viruslast insgesamt sinkt. Besonders in Bereichen, in denen Abstände schwer einhalten sind oder wir uns gezwungenermaßen in geschlossenen Räumen aufhalten müssen, sind Masken eine einfache und effektive Methode, um die Viruslast in der Luft zu verringern und die Ausbreitung des Coronavirus zu verlangsamen. Das gilt auch für Masken, die nicht wie FFP-Masken zu 80 bis 99 % effektiv sind. Wenn alle eine Maske tragen, sinkt die Wahrscheinlichkeit einer Infektion deutlich und die Gefahr, sich mit COVID-19 anzustecken, wird geringer.

Quellen:

Fischer, E. P., Fischer, M. C., Grass, D., Hentrich, I., Warten, W. S., Westman, E. (2020). Low-cost measurement of facemask efficacy for filtering expelled droplets during speech. *Science Advances*. doi:10.1126/sciadv.abb3083.

Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (2020). Hinweise des BfArM zur Verwendung von Mund-Nasen-Bedeckungen (z. B. selbst hergestellten Masken, «Community- oder DIY-Masken-), medizinischen Gesichtsmasken sowie partikelfiltrierenden Halbmasken (FFP1, FFP2 und FFP3) im Zusammenhang mit dem Coronavirus (SARS-CoV-2 / Covid-19). *Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte*. Abgerufen von <https://www.bfarn.de/SharedDocs/Risikoinformationen/Medizinprodukte/DE/lehrtatmasken.html>

Feng, S., Shen, C., Xia, N., Song, W., Fan, W., Cowling, B.J. (2020). Rational use of face masks in the COVID-19 pandemic. *The Lancet - Respiratory Medicine*, 8(5), 434-436. doi:10.1016/S2213-2600(20)30134-X.

NDR Info (2020). Coronavirus-Update. NDR. Abgerufen von <https://www.ndr.de/nachrichten/infocoronakript174.pdf>

Die Bundesregierung (2020). Telefonschaltkonferenz der Bundeskanzlerin mit den Regierungschefinnen und Regierungschefs der Länder am 27. August 2020. *Die Bundesregierung*. Abgerufen von <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/997532/1780568/79b77ab8e8c599ea8125bfeffce2712020-08-27-beschluss-mpk-data.pdf?download=1>

Uvex Group (2020). Die Bedeutung der FFP-Schutzklassen. *Uvex*. Abgerufen von <http://www.uvex.com/de/wissen/normen-und-richtlinien/atemschutzmasken/die-bedeutung-der-ffp-schutzklassen/>

Faestermann, P. (2016). *3D-Drucken. Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert* (2., aktualisierte Auflage). Berlin-Heidelberg: Springer Verlag.

Bundesministerium für Bildung und Forschung (2020). Die Maker-Bewegung. *Bundesministerium für Bildung und Forschung*. Abgerufen von <http://www.bmbf.de/de/maker-scene-2128.html>

DIN Deutsches Institut für Normung (2020). DIN e.V. DIN. Abgerufen von <https://www.din.de/delin-und-scene-partner/dlin-e-v>

Reinigung von Masken

8

«Die Versorgungslage für Schutzausrüstungen ist durch die weltweite Nachfrage extrem angespannt. Hier gilt es jetzt pragmatische und zielführende aber dennoch sichere Lösungen zu finden, um die Versorgung [...] zu gewährleisten.»

Bundesministerium für Gesundheit, 01.04.2020



Mit dem Ausbruch der Corona-Pandemie steht die Welt vor einer bisher in dieser Form nie da gewesenen Herausforderung. Es war jedoch schnell klar, dass die Verbreitung von Viren unter Zufallsnahme geeigneter Schutzmaßnahmen stark reduziert werden kann. Die Übertragung virulenter, also potentiell ansteckender Partikel erfolgt häufig über die Umgebungsluft. Infizierte Menschen stoßen beim Husten, Niesen, Sprechen oder Atmen teils winzige Partikel aus, die dann von anderen Menschen aufgenommen werden und zu einer Ansteckung führen können. Dem kann jedoch recht einfach durch das Tragen einer geeigneten Schutzmaske oder eines Mund-Nase-Schutzes vorgebeugt werden (siehe Kapitel 7). Es ist daher wahrscheinlich, dass auch zukünftig über einen langen Zeitraum sehr viele Masken benötigt wer-

den. Um die Ressourcen im medizinischen Bereich zu schonen, wird für den Alltagsgebrauch die Verwendung einer Community-Maske aus Stoff empfohlen. Medizinische Schutzmasken wie der medizinische Mund-Nase-Schutz oder FFP2- und FFP3-Masken sollten, besonders zu Beginn der Pandemie, medizinischen Einrichtungen und deren Personal vorbehalten bleiben. Da sich das Coronavirus allerdings schnell über die ganze Welt verbreitet hatte, kam es durch den steigenden Bedarf sämtlicher Länder dennoch zu einer Knappheit der persönlichen Schutzausrüstung, insbesondere des medizinischen Gesichtsschutzes.



MEDIZINISCHER MUND-NASE-SCHUTZ:

Beim medizinischen Mund-Nase-Schutz handelt es sich um eine Gesichtsmaske. Sie wird, wie der Name verrät, über Mund und Nase gesetzt und mit Hilfe von Gummibändern an den Ohren befestigt. Häufig ist ein Metallbügel im Bereich der Nase verbaut, der eine bessere Anpassung an das Gesicht ermöglicht. Für den Gebrauch in medizinischen Einrichtungen zertifizierte Schutzausrüstung erfüllt besondere Anforderungen bezüglich ihrer Filterleistung. Um diese zu gewährleisten, werden die Schutzmasken in einem speziellen Verfahren gefertigt, der sogenannten Meltblown-Technik. Dabei wird der Kunststoff Polypropylen zu Fasern aufgeschmolzen. Diese noch groben Fasern werden anschließend mit heißen Luftströmen bei hoher Geschwindigkeit geblasen. So entsteht ein feines Polypropylen-Gewebe aus sehr dünnen Fasern. Die Dicke des entstandenen Filaments beträgt nur etwa einen halben Mikrometer. Zum Vergleich: Ein Sandkorn ist etwa neunzig Mikrometer dick. Die Fasern sind so fein, dass ein einziger Faden, der etwa 7 Gramm wiegt, einmal die gesamte Erde umspannen könnte.

Ein medizinischer Mund-Nase-Schutz besteht aus drei Schichten Vliesstoff. Das sich in der Mitte befindende Polypropylen-Gewebe wird von zwei weiteren Schichten aus Polypropylen umgeben. Die innere und äußere Schicht bestehen aus eng gesponnenen Kunststofffasern, die feuchtigkeitswisend wirken und die Schutzmaske somit noch sicherer machen.

Es wurde eine Wiederverwendung der Schutzmasken empfohlen, um Ressourcen zu schonen. Hierfür wurden verschiedene Strategien zur

Aufbereitung vorgestellt, unter anderem das Erhitzen der Masken auf 70 °C bei trockener Hitze über einen Zeitraum von dreißig Minuten. Dies ist zum Beispiel mit einem üblichen Backofen möglich.

Experiment: Masken backen

Die Temperatur hat einen großen Einfluss auf Organismen. Was unter Temperatur überhaupt zu verstehen ist und welchen Einfluss sie auf einzelne Bestandteile der Coronaviren besitzt, kannst Du in einem einfachen Modell-Experiment untersuchen. Der Einfluss der Temperatur auf das Eiweiß ist vergleichbar mit der Temperaturempfindlichkeit bestimmter Bestandteile von Viren. Mithilfe des Eiweißes kannst Du nachvollziehen, inwieweit Hitze zur Inaktivierung von Coronaviren genutzt werden kann.



Was Du benötigst:

- ▶ Ein Hühnerei
- ▶ Eine Schale oder ein Glas (bestenfalls komplett durchsichtig)
- ▶ Ein Gefäß zum Auffangen des Eiweißes
- ▶ Einen Backofen

Durchführung:

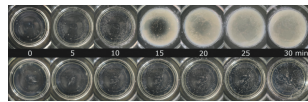
Heize den Backofen auf 70 °C vor. Trenne Eiweiß und Eigelb eines Hühnereis, indem Du das Ei aufschlägst und das Eigelb zwischen den Schalenhälfen hin und her gleiten lässt. Das Eiweiß fängst Du in einem darunter stehenden Gefäß auf. Gib ungefähr die Hälfte des Eiweißes in eine Schale oder ein Glas, so dass der Boden dünn bedeckt ist (etwa einen halben Zentimeter hoch). Das Gefäß, in dem sich das Eiweiß befindet, sollte durchsichtig sein, um bessere Beobachtungen zu ermöglichen. Stelle das Gefäß mit dem Eiweiß nun für 30 Minuten in den Backofen. Überprüfe das Eiweiß etwa alle 5 Minuten auf eventuelle Veränderungen. Du kannst den Versuch mit der anderen Hälfte des abgetrennten Eiweißes erneut bei nur 50 °C durchführen.

Beobachtungen:

Mit der Zeit wird das vorher klare Eiweiß vom Rand aus bis hin zur Mitte langsam weiß und undurchsichtig. Nach 30 Minuten ist das Eiweiß komplett erstarrt und weiß.

Bei 50 °C ist keine große Veränderung zu erkennen. Lediglich ein paar Luftblasen und wenige weiße Stellen sind nach 30 Minuten im Backofen zu beobachten.

Abbildung 8.1:
Eiweiß im Backofen für 30 Minuten. Oben bei 70 °C. Unten bei 50 °C.



Erklärung:

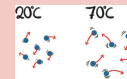
Eiklar besteht neben einem Großteil an Wasser vor allem aus Proteinen. Wie in Kapitel 10 und 11 noch genauer erklärt wird, sind Proteine lange Ketten aus Aminosäuren. Einige dieser Bestandteile ziehen sich gegenseitig an, sodass sich die Aminosäureketten falten und eine spezifische Form annehmen. Zusätzlich ziehen sich auch unterschiedliche Ketten an. Die Anziehungskräfte besitzen eine gewisse Stärke. Das bedeutet, dass Energie aufgewendet werden muss, um sie zu durchbrechen und damit die Ketten wieder voneinander zu trennen.



TEMPERATUR:

Temperatur begegnet uns im Alltag als Wert dafür, ob etwas warm oder kalt ist. Im physikalischen Sinne meint sie aber etwas anderes. Alle Teilchen besitzen eine gewisse Energie. Ein Teil dieser Energie liegt als Bewegungsenergie vor. Das bedeutet, dass sich Teilchen mit einer bestimmten Geschwindigkeit bewegen. Diese Bewegung äußert sich als Schwingung oder als tatsächliche Bewegung in eine bestimmte Richtung. Je größer die Bewegungsenergie wird, desto schneller werden die Teilchen. Stellt man einen Topf mit Wasser auf einen Herd, wird den sich mit einer bestimmten Durchschnittsgeschwindigkeit bewegenden Wasserteilchen Energie in Form von Wärme zugeführt. Die Wärmeenergie wird zum Teil in Bewegungsenergie umgewandelt. Die Durchschnittsgeschwindigkeit der Teilchen erhöht sich, da sie sich immer schneller bewegen, je mehr Energie hinzugefügt wird.

Als Gradmesser für genau diese Durchschnittsgeschwindigkeit wird nun die Temperatur genommen.



Je niedriger die Temperatur ist, desto geringer die Durchschnittsgeschwindigkeit der Teilchen. Umgangssprachlich würde von »kalt« gesprochen werden. Eine hohe Temperatur bedeutet eine hohe durchschnittliche Teilchengeschwindigkeit, umgangssprachlich also »warm«.

Wird dem Eiklar Wärme (Energie) zugeführt, steigt die Energie der darin enthaltenen Teilchen. Diese Energiezunahme zeigt sich darin, dass die Teilchen beginnen, sich schneller zu bewegen und zu schwingen. Die durchschnittliche Teilchenbewegung erhöht sich also, die Temperatur steigt. Irgendwann ist die Bewegungsenergie größer als die Anziehungskräfte zwischen den Aminosäureketten. Die Struktur der Proteine löst sich auf und die Ketten entfalten sich.

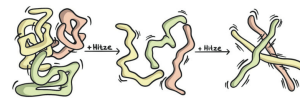


Abbildung 8.2:
Proteine, die beim Erhitzen zu schwingen beginnen. Wenn Schwingungsenergie größer ist als die Anziehungskräfte zwischen den Ketten, wird die Struktur zerstört.

Dieser Prozess wird als Denaturierung bezeichnet. Die langkettigen Proteine ohne Struktur lagern sich zu Kanälen zusammen, was auch als Gerinnung bezeichnet wird. Dies führt zur weißen Färbung. Eiklar gerinnt ab einer Temperatur von etwa 60 °C. Erst dann ist die mittlere Teilchengeschwindigkeit so groß, dass die Anziehungskräfte unter den Proteinketten überwunden werden können. Deshalb findet bei 50 °C kaum eine Veränderung statt. Nur bei genauem Hinsehen kannst Du einige kleine weiße Punkte erkennen (vergleiche Abbildung 8.1). Da es sich bei der Temperatur um das Maß für eine Durchschnittsgeschwindigkeit

Kapitel 8 | Reinigung von Masken

digkeit handelt, ist es nicht ausgeschlossen, dass sich einige Proteine bereits schneller bewegen – teilweise so schnell, dass sie denaturieren. Die Wahrscheinlichkeit ist allerdings deutlich geringer als bei einer höheren Temperatur. Eine vollständige Denaturierung aller Proteine würde viel länger dauern.

Die Coronaviren besitzen als Bestandteile ihrer schützenden Virus-hülle ebenfalls Proteine (vergleiche beispielsweise Kapitel 3). Auch diese denaturieren ab einer Temperatur von etwa 60 bis 70 °C. Durch das Auflösen ihrer Struktur wird die Virus-hülle zerstört und damit das Virus inaktiviert. Damit es zu einer Denaturierung kommt, ist eine gewisse Mindesttemperatur nötig. Je höher die Temperatur ist, desto schneller ist auch die durchschnittliche Teilchenbewegung. Hierdurch wird die Denaturierung beschleunigt und ein Inaktivieren der Viren effektiver. Es liegt nahe, die Maske bei noch höheren Temperaturen als 70 °C in den Backofen zu legen.

Allerdings sind bei der Dekontamination, also der Entfernung von Schadstoffen, von Masken im Backofen keine besonders hohen Temperaturen nutzbar, da die Masken sich dabei entzünden könnten. Es ist nicht ratsam, mit höheren Temperaturen zu arbeiten.

Die weltweite Pandemie hat viele Vorschläge zur Aufbereitung von Schutzmasken hervorgebracht. Auch innerhalb des Gesundheitswesens mussten medizinische Schutzmasken gereinigt werden, um alle MitarbeiterInnen und RisikopatientInnen versorgen zu können. Hierfür wurden überwiegend Methoden angewandt, die mit der Inaktivierung der Viren durch hohe Temperaturen zusammenhängen.

So wurden die Masken beispielsweise zum Teil in Wasser gekocht. Bei dieser Prozedur besteht zwar im Gegensatz zum Backofen keine Brandgefahr, jedoch können die noch aktiven Viren durch den aufsteigenden Wasserdampf in größerer Konzentration in die Umgebungsluft gelangen, weshalb diese Methode nicht zu empfehlen ist.

Nicht selten wurden und werden Schutzmasken zur Aufbereitung gebügelt. Hierbei kann eine wesentlich höhere Temperatur genutzt werden, allerdings darf die Hitze einwirkung nur recht kurz sein, da sonst auch bei dieser Methode die Gefahr eines Brandes nicht von der Hand zu weisen ist. Zudem stellen die Falten des Mund-Nase-Schut-

76

Experiment: Masken backen

zes ein Problem dar, denn mit einem Bügeleisen sind nicht alle Bereiche zu erreichen.

Auf keinen Fall geeignet ist die Mikrowelle, da fast alle medizinischen Schutzmasken einen Metallbügel enthalten, dessen Funkenschlag die Maske in Brand setzen kann. Ebenfalls nicht sinnvoll ist das Einfrieren im Gefrierfach, da hier die Viren nicht dauerhaft unschädlich gemacht werden. Sie überleben bei diesen Temperaturen problemlos und sind nach dem Auftauen der Schutzmaske wieder aktiv. Für medizinische Schutzausrüstung gilt zudem, dass sowohl das Waschen in der Waschmaschine als auch die Behandlung mit Desinfektionsmittel die Schutzfunktion zerstört und die Maske somit unbrauchbar macht. Dazu muss jedoch gesagt werden, dass dies nur für den medizinischen Mund-Nase-Schutz gilt. Alltagsmasken aus Stoff können und sollten regelmäßig, bestenfalls täglich, bei mindestens 60 °C, besser bei 90 °C in der Waschmaschine gereinigt werden. Da die Temperatur für die Reinigung entscheidend ist, sollte kein Spar- oder Eco-Programm verwendet werden, da bei diesen das Wasser häufig nicht vollständig aufgeheizt wird. Aus Gründen der Nachhaltigkeit und des Umweltschutzes bietet es sich allerdings an, mehrere Alltagsmasken zu verwenden, die jeweils einen Tag lang getragen werden. Diese können dann gesammelt in der Waschmaschine – auch zusammen mit anderer Kleidung – bei 60 bis 90 °C gewaschen werden, um im Vergleich zum täglichen Waschen Wasser zu sparen.

Hitze ist generell eine geeignete Methode, um Viren und Bakterien zu inaktivieren. Durch das Erhitzen können kontaminierte Materialien von Erregern befreit und wiederholt verwendet werden. Es gibt zu diesem Zeitpunkt noch keine Daten, die sich direkt auf Coronaviren beziehen. Die Handlungsempfehlungen beruhen überwiegend auf Erfahrungen mit bisher bekannten und bereits intensiv erforschten Grippeviren. Für die Schutzausrüstungen medizinischer Einrichtungen gelten besondere Anforderungen, da diese im direkten Kontakt mit den PatientInnen getragen werden. So hieß es Anfang April, dass ein Einmal-Mund-Nase-Schutz nach einer Dekontamination durch Hitzeinaktivierung bei 65 bis 70 °C trockener Hitze mehrmals verwendet werden kann. Es wurde empfohlen, die Prozedur maximal dreimal an einer Maske anzuwenden, damit deren Filtrationseffizienz erhalten bleibt. Bereits Ende April folgte jedoch der Hinweis, dass diese Prozedur möglicherweise nicht für eine vollständige Dekontamination ausreichen würde und einige Parameter angepasst werden müssen.

77

Kapitel 8 | Reinigung von Masken

ten. Inzwischen werden für die Aufbereitung eine Temperatur von 90 °C und eine Zeitdauer von neunzig Minuten angegeben. Es wird aktuell in verschiedenen Studien überprüft, welche Maßnahmen für den Mund-Nase-Schutz in Bezug auf Coronaviren tatsächlich wirksam sind. Dazu werden verschiedene Temperaturen und Zeiten bei unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit getestet. Besonders wichtig ist dabei, dass die Wirksamkeit des filternden Stoffes nicht eingeschränkt wird.

Da aktuell allerdings kein Versorgungsgenuss mehr besteht, sollen medizinische Schutzmasken generell nicht aufbereitet werden. Es ist bisher nicht klar, welche Parameter für eine garantierte Dekontamination des Mund-Nase-Schutzes nötig sind. Zudem sind medizinische Einrichtungen inzwischen mit ausreichend Material versorgt, um die Schutzausrüstung entsprechend der hygienischen Vorgaben regelmäßig wechseln zu können. Vielerorts wurden sogar größere Mengen der benötigten Ressourcen eingelagert, um einen erneuten Engpass vermeiden zu können. Es besteht aktuell kein Grund mehr, die Produkte, welche für den einmaligen Gebrauch ausgeschrieben sind, mehrfach zu verwenden. Die Sicherheit der PatientInnen sowie aller MitarbeiterInnen in Gesundheitswesen steht hierbei im Vordergrund.

Quellen:

- Campos, R. K. et al (2020). Decontamination of SARS-CoV-2 and other RNA viruses from N95 level methblown polypropylene fabric using heat under different humidities. *medRxiv*. preprint. doi: 10.1101/2020.08.10.20171728
- Mackenzie, D. (2020). Reuse of N95 Masks. *Engineering*, 6, 593-596. doi: 10.1016/j.eng.2020.04.003
- Robert Koch-Institut (2020). Mögliche Maßnahmen zum Ressourcenschonenden Einsatz von Mund-Nasen-Schutz (MNS) und FFP-Masken in Einrichtungen des Gesundheitswesens bei Lieferengpässen im Zusammenhang mit der neuartigen Coronavirus-Erkrankung COVID-19. Robert Koch-Institut. Abgerufen von https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Resourcen_schonung_Masken.pdf?__blob=publicationFile
- Bundesministerium für Gesundheit (2020). Versorgung bei Atemschutzmasken sichern. Krisenstab der Bundesregierung gibt neues Wiederverwendungsverfahren für medizinische Schutzmasken in Ausnahmefällen bekannt. *Bundesministerium für Gesundheit*. Abgerufen

78

Reinigung von Masken

- von <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/pressemitteilungen/2020-2-quartal/krisenstab-atomschutzmasken.html>
- Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (2020). Dekontamination von Atemschutzmasken in Einrichtungen des Gesundheitswesens – Empfehlungspapier des Krisenstabs der Bundesregierung. *Bundesministerium für Arzneimittel und Medizinprodukte*. Abgerufen von https://www.bfarm.de/SharedDocs/Risikoinformationen/Medizinprodukte/DE/Dekontamination_von_Atemschutzmasken.html
- Yan, R., Chillrud, S., Magadini, D., Yan, B. (2020). A study looks at how to disinfect your mask at home. *Lamont-Doherty Earth Observatory*. Abgerufen von <https://www.ldeo.columbia.edu/news-events/study-looks-how-to-disinfect-your-mask-at-home>
- Bundesministerium für Arbeit und Soziales, Bundesministerium für Gesundheit (2020). Einsatz von Schutzmasken in Einrichtungen des Gesundheitswesens. *Bundesministerium für Arbeit und Soziales*. Abgerufen von http://www.bmas.de/SharedDocs/Downloads/DE/Themen-Arbeitschutz/einsatz-schutzmasken-einrichtungen-gesundheitswesen.pdf?__blob=publicationFile
- Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (2020). Hinweise des BfArM zur Verwendung von Mund-Nasen-Bedeckungen (z. B. selbst hergestellten Masken, „Community- oder DIY-Masken“), medizinischen Gesichtsmasken sowie partikelfiltrierenden Halbmasken (FFP1, FFP2 und FFP3) im Zusammenhang mit dem Coronavirus (SARS-CoV-2 / Covid-19). *Bundesministerium für Arzneimittel und Medizinprodukte*. Abgerufen von <https://www.bfarm.de/Shared-Docs/Risikoinformationen/Medizinprodukte/DE/schutzmasken.html>
- Feng, S., Shen, C., Xia, N., Song, W., Fan, W., Cowling, B.J. (2020). Rational use of face masks in the COVID-19 pandemic. *The Lancet – Respiratory Medicine*, 8(5), 434-436. doi:10.1016/S2213-2600(20)30134-X.
- Schmidt, F. (2020). Melblown-Verfahren: So entsteht das Corona-Masken-Filtervlies. *dicom*. Abgerufen von <https://www.dicom.de/melblown-verfahren-so-entsteht-das-corona-masken-filtervlies/53453856>

79



Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus! 9

»Nach dem Klo und vor dem Essen: Hände waschen nicht vergessen. Diesen Merksatz kennt wohl noch jeder aus seiner eigenen Kindheit. Diese Aussage ist eines von vielen Indizien, die zeigen, dass das Händewaschen ein fest in unserer Kultur verankertes Ritual ist. Bereits in den

81

Kapitel 9 | Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus!

Anfängen des Judentums findet er sich im *Netilat Jadajim*, dem zereemoniellen Waschen der Hände wieder und nimmt auch in der christlichen beziehungsweise westlichen Kultur einen wesentlichen Bestandteil ein. Es ist wohl nicht vollständig zu klären, ob das Händewaschen bereits vor mehreren tausend Jahren einen überwiegend hygienischen Hintergrund hatte, ob es aus ästhetischen (Entfernen von Schmutz) oder aus rein spirituellen Gründen durchgeführt wurde. Einen eindeutigen Beleg für die hygienische Bedeutung des Händewaschens bewies erst Ignaz Semmelweis, ein österreich-ungarischer Arzt, im Jahre 1848. Er untersuchte die hohe Sterblichkeit der Mütter im Tagebett, die auf das sogenannte Kindbettfieber zurückzuführen war. Als Semmelweis seine Kollegen und Kolleginnen anwies, benutztes Operationsbesteck mit Karbol (einem aggressiven Desinfektionsmittel, heute Phenol genannt) zu desinfizieren und die eigenen Hände mit Chlorkalk und Seife zu waschen, sank die Sterblichkeitsrate der Mütter von 12,3 % auf letztlich 1,3 %.

Heutzutage ist das Händewaschen sowohl ein wichtiger Bestandteil der Körperhygiene im Alltag als auch im Bereich der Medizinversorgung, also in Arztpraxen, Krankenhäusern oder Pflegeeinrichtungen. Das Händewaschen mit Seife soll dabei nicht nur für einen angenehmen Geruch sorgen, sondern auch verschiedene Krankheitserreger sowie Verunreinigungen, die sich auf den Händen befinden, abtöten beziehungsweise entfernen. Der Begriff *Krankheitserreger* ist allerdings für eine differenzierte Betrachtung eher ungeeignet, da es sich um einen Sammelbegriff für alle Mikroorganismen handelt, die im menschlichen Körper zu einer Krankheit führen können. Dazu zählen neben den Viren zum Beispiel auch Bakterien und Pilze. Entscheidend für den Umgang mit dem Händewaschen während der Corona-Krise ist daher, ob das regelmäßige Waschen mit Seife effektiv vor COVID-19 schützt. Um sinnvoll beantworten zu können, inwiefern das Händewaschen mit Seife Coronaviren inaktiviert oder zerstört, müssen zunächst verschiedene Fragen beantwortet werden: Was sind Seifen und wieso sind sie in der Lage, verschiedene Krankheitserreger unschädlich zu machen? Inwiefern unterscheiden sich Viren von anderen Krankheitserregern und kann das Coronavirus auch durch das Händewaschen mit Seife unschädlich gemacht werden?

Der Begriff Seife bezeichnet aus chemischer Sicht Natrium- oder Kaliumsalze von Fettsäuren. Wie bereits in der Bezeichnung zu erkennen ist, werden sie aus (tierischen) Fetten oder seltener aus pflanzlichen Ölen hergestellt, die mit Natronlauge (Natriumseifen) oder Kallilauge

82

Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus!

(Kaliumseifen) gekocht werden. Aus den wasserunlöslichen Fetten (chemisch auch als Lipide bezeichnet) werden so besser in Wasser lösliche Seifen. Wird heutzutage von Seife gesprochen, so sind oft Tenside gemeint. Diese stellen eine übergeordnete Stoffklasse dar, zu denen die Seifen selbst gehören. Tenside schaffen es, die Oberflächenspannung von Wasser zu verringern und auf diesem Wege an der Haut haftenden Schmutz abzuwaschen. Sie werden dabei noch genauer in nichtionische, kationische, anionische und amphotere Tenside unterteilt. Hierbei wird unterschieden, ob der für die Wirkung des Tensides wichtige Bestandteil nicht (nichtionisch), positiv (kationisch), negativ (anionisch) oder sowohl positiv als auch negativ (amphoter) geladen ist. Da die Wirkung herkömmlicher Seifen auf den negativ geladenen Fettsäurerest beruht, zählen Seifen zu den anionischen Tensiden.

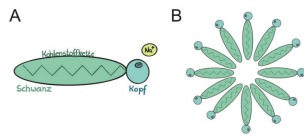
IONEN UND LADUNG:

Ein Ion ist ein elektrisch geladenes Teilchen. Ionen können dabei sowohl einzelne Atome als auch Moleküle (also Verbindungen mehrerer Atome) sein. Atome und Moleküle sind normalerweise elektrisch neutral, das heißt, sie besitzen gleich viele positive und negative Ladungsträger. Ionen hingegen besitzen entweder eine positive Ladung (also einen Überschuss positiver Ladungsträger) oder eine negative Ladung (also einen Überschuss negativer Ladungsträger). Ist ein Ion positiv geladen, wird es als Kation bezeichnet. Ist es negativ geladen, wird es Anion genannt. Ionen nehmen einen großen Bestandteil der Welt ein, die uns umgibt. Chemiker bezeichnen Verbindungen aus Kationen und Anionen beispielsweise als Salz – das Kochsalz in der Küche ist der prominenteste Vertreter: Es besteht aus einem Natrium-Kation und einem Chlorid-Anion und wird daher Natriumchlorid genannt. Durch die Ladung unterscheiden sich Ionen maßgeblich von ihren elektrisch neutralen »Verwandten«. Sie lösen sich zumeist gut in Wasser und leiten dann den elektrischen Strom. Auch Seifenmoleküle sind Ionen, da sie ein negativ geladenes Fettsäure-Anion enthalten. Da jedes negativ geladene Teilchen einen positiven Gegenspieler braucht, werden die Fettsäure-Anionen entweder von Natrium-Kationen oder Kalium-Kationen umgeben. Dementsprechend gibt es Natriumseifen und Kaliumseifen. Für die Wirkung der Seife spielen die Natrium- beziehungsweise Kalium-Kationen aber keine besondere Rolle.

83

Wie genau schaffen es Seifen durch diesen Fettsäureteil, Schmutz abzuwaschen und Krankheitserreger unschädlich zu machen? Mithilfe des chemischen Aufbaus des Fettsäure-Anions von Seifenmolekülen lässt sich die Funktionsweise gut erklären. Der Fettsäureteil besteht wiederum aus zwei Teilen. Einerseits aus einer langen Kette aus Kohlenstoffatomen, an die Wasserstoffatome gebunden sind. In der Fachsprache wird dieser Molekülteil auch *Schwanz* genannt. Er ist ungeladen (elektrisch neutral) und unpolar. Er wird daher als *hydrophob* (griechisch für *hidrō* = Wasser und *phobos* = Abneigung/Furcht) bezeichnet, richtet sich also möglichst so aus, dass er nicht mit Wassermolekülen in Kontakt kommt. Der andere Molekülteil wird als *Kopf* bezeichnet und trägt eine negative Ladung an einem Sauerstoffatom. Er ist *hydrophil* (griechisch für *hidrō* = Wasser und *philos* = liebend), richtet sich also in Richtung von Wassermolekülen aus (Abbildung 9.1.A). Durch die Ausrichtung der Molekülköpfe in Richtung Wasser und der Molekülschwänze vom Wasser abgewandt lagern sich mehrere Seifenmoleküle zu sogenannten Micellen zusammen, bei denen die Köpfe nach außen zeigen (Abbildung 9.1.B). In Micellen können wasserunlösliche Stoffe, also zum Beispiel Öle und Fette, gelöst beziehungsweise emulgiert werden. Der Prozess des Emulgierens beschreibt dabei, dass sich eine Flüssigkeit mit mikroskopisch kleinen Tröpfchen in einer anderen Flüssigkeit verteilt. Emulgatoren wie Seife ermöglichen diesen Vorgang erst (Abbildung 9.2). Wasser alleine wäre nicht in der Lage, Fette oder Öle von Oberflächen zu waschen. Seifen stellen hier einen »Vermittler« dar, durch den die wasserunlöslichen Bestandteile fein im Wasser verteilt werden können.

Abbildung 9.1:
A Ein einzelnes Seifenmolekül (Tensid). Der als Seife wirksame Fettsäureteil besteht aus einem hydrophoben Schwanz (Kohlenstoffkette) und einem hydrophilen Kopf mit einer negativen Ladung. B Querschnitt durch eine Kugelmicelle. In Wasser lagern sich Seifenmoleküle zu Kugeln zusammen, bei denen die Schwänze nach innen und die Köpfe nach außen in Richtung Wasser zeigen.



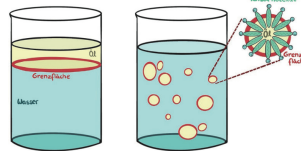
POLARITÄT UND WASSERLÖSLICHKEIT:

Nicht alle Stoffe lösen sich gleich gut in Wasser. In unserem Alltag begegnen wir täglich Beispielen, die dies eindrucksvoll zeigen. Während sich Kochsalz problemlos in Wasser löst, schwimmt Speiseöl auf der Wasseroberfläche und bildet beim Vermischen lediglich kleine Tröpfchen. Bereits nach kurzer Zeit trennen sich Wasser und Öl wieder voneinander. Der Grund für dieses unterschiedliche Verhalten liegt an der Polarität der Substanzen. Der Begriff Polarität beschreibt, ob ein Stoff elektrische Ladungen aufweist. Je stärker die Polarität ist, desto stärker sind diese elektrischen Ladungen ausgeprägt.

Grundsätzlich gilt: Gleiches löst sich in Gleichem – polare Stoffe also in polaren Stoffen und unpolare Stoffe in unpolaren Stoffen. Da Wasser ausgeprägte elektrische Ladungsschwerpunkte besitzt, ist es ein polarer Stoff. Kochsalz löst sich in Wasser, da es aus zwei Ionen besteht, somit eine Ladung besitzt und deshalb ebenfalls polar ist. Ölmoleküle hingegen besitzen keine Ladungsschwerpunkte und sind folglich unpolar. Dies erklärt die schlechte Löslichkeit von Öl in Wasser. Um die Löslichkeit unpolare Substanzen in Wasser zu erhöhen, werden Emulgatoren wie zum Beispiel Seife genutzt. Seife weist sowohl polare als auch unpolare Molekülteile auf und löst sich daher sowohl in polaren als auch in unpolaren Stoffen. Auf diese Art und Weise kann sie als Vermittler zwischen Wasser und Öl dienen und findet so für die Handhygiene oder als Spülmittel Anwendung.



Abbildung 9.2:
Seifen emulgieren hydrophobe Substanzen.



Neben der emulgierenden Fähigkeit sind Seifen in der Lage, wasserunlösliche Bestandteile zu dispergieren. Das bedeutet, dass sich beispielsweise Fette in Seife lösen und so durch die Seife selbst abgewaschen werden können. Die beiden Vorgänge der Emulgierung und Dispergierung sind zwar eng miteinander verwandt, müssen allerdings getrennt voneinander betrachtet werden. Während die emulgierende Fähigkeit von Seifen ermöglicht, wasserunlösliche Stoffe mit Wasser abzuwaschen, sorgt die dispergierende Fähigkeit dafür, dass die Seife selbst als eine Art Lösungsmittel für diese Stoffe wirkt. Beide Eigenschaften zusammen erklären, dass mit Seife die Hände von Schmutz befreit werden können oder aber Spülmittel (welche ebenfalls Tenside sind) beim Reinigen von fettigen Pfannen und Töpfen helfen.

Es bleibt hingegen die Frage, wieso genau Seifen gegen einige Krankheitserreger wirksam sind – jedoch nicht gegen alle. Neben dem molekularen Aufbau von Seifen muss daher auch der strukturelle Aufbau von Viren (beziehungsweise anderen Krankheitserregern) betrachtet werden.

Viren können grob in zwei Gruppen unterteilt werden, in behüllte und unbehüllte Viren. Gemein haben sie nahezu alle, dass ihr Erbgut, welches für die Vermehrung von Nöten ist, von einer Proteinhülle, dem sogenannten Kapsid umgeben ist. Einige Viren besitzen darüber hinaus aber noch eine Fettschicht, welche mit Proteinen besetzt ist und das Kapsid umgibt. Diese als Lipidmembran bezeichnete Schicht ist das Charakteristikum behüllter Viren – unbehüllte Viren besitzen diese Membran nicht. Für behüllte Viren ist die Membran »überlebenswichtig«, weil sie einerseits als Schutz dient und die darin enthaltenen Proteine zum anderen für das Andocken an Wirtszellen zuständig sind und somit einen entscheidenden Faktor bei der Vermehrung des Virus darstellen. Bekannte Vertreter behüllter Viren sind die Influenzaviren (Grippe), das HI-Virus (AIDS) und die Coronaviren (wie zum Beispiel SARS-CoV-2, das für die Krankheit COVID-19 verantwortliche Virus). Unbehüllte Viren enthalten alle für ihre Vermehrung wichtigen Bestandteile in der Proteinhülle und sind somit nicht auf eine weitere Schicht oder Hülle angewiesen. Zu ihnen zählen zum Beispiel Rhinoviren (Eiskältungen), Rotaviren (Magen-Darm-Infekte) oder das Hepatitis A (Hepatitis A). Der schematische Aufbau eines behüllten und eines unbehüllten Virus ist in Abbildung 9.3 zu sehen. Da Viren keine Lebewesen sind (vergleiche Kapitel 12), sollte mit der Begrifflichkeit »überlebenswichtig« sehr vorsichtig umgegangen werden, weshalb sie hier in Anführungszeichen notiert ist.

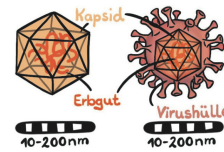


Abbildung 9.3:
Schematischer Aufbau zweier Viren. A unbehülltes Virus, B behülltes Virus.

Entgegen der Annahme, dass unbehüllte Viren durch eine fehlende Membran ungeschützter und somit leichter zu zerstören seien, sind die behüllten Viren, die leichter zu bekämpfen sind. Dies liegt vor allem an der Lipidmembran (also Fettschicht), die durch verschiedene Chemikalien angegriffen und auf diesem Wege zerstört oder zumindest inaktiviert werden kann. Dafür ist es wichtig, noch einmal kurz die zwei Eigenschaften von Seife zu erinnern: Die emulgierende Eigenschaft, durch die Fette in Micellen eingelagert und somit fein im Wasser verteilt werden können sowie die dispergierende Eigenschaft, durch die Fette sozusagen in Seife gelöst werden können.

Die Wirkung von Seife soll mit den folgenden zwei Experimenten genauer unter die Lupe genommen werden:

Experiment 1: Emulgierende Wirkung von Seife

In diesem Experiment soll die emulgierende Wirkung von Seife gezeigt werden.

Was Du benötigst:

- Vier Gläser
- Vier Teelöffel
- Wasser
- Speiseöl
- Flüssigseife
- Alkoholisches Desinfektionsmittel oder eine klare Spirituose (mindestens 50 Vol.-%, bestenfalls Wodka oder Doppelkorn)

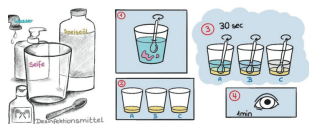


Kapitel 9 | Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus!

Durchführung:

Zu Beginn musst Du für diesen Versuch ein wenig Seifenlauge herstellen. Dazu gibst Du ungefähr 5 mL (oder zwei Hübe) Flüssigseife in ein Glas und füllst dieses mit ungefähr 100 mL Wasser auf. Vermische das Seifenwasser nun gut mit einem Löffel, ohne, dass es zu sehr schäumt. Befülle drei Gläser mit Speiseöl, sodass diese ungefähr 1-2 cm hoch gefüllt sind (ca. 5-10 mL). Du kannst diese Gläser im weiteren Verlauf als Glas A, B und C bezeichnen. Fülle nun in Glas A ungefähr 10 mL Wasser. In Glas B gibst Du die entsprechende Menge der Seifenlauge, in Glas C Desinfektionsmittel (oder eine Spirituose). Mische die jeweiligen Gläser mit den Teelöffeln gut durch. Nimm Dir für jedes Glas mindestens eine halbe Minute Zeit, um die beiden darin enthaltenen Flüssigkeiten gut zu durchmischen. Behalte die Gläser nun für die nächsten Minuten gut im Blick. Um die Unterschiede besser sehen zu können, empfiehlt es sich, zum Start, nach fünf, zehn und fünfzehn Minuten jeweils ein Foto zu machen. So kannst Du die Bilder im Nachhinein gut miteinander vergleichen.

Abbildung 9.4: Skizze der Durchführung des Experiments



Beobachtungen:

Das Öl lässt sich in allen drei Gläsern als gelbe Flüssigkeit erkennen (Abbildung 9.5, A). Sowohl das Wasser als auch die Seifenlauge und das Desinfektionsmittel sind farblos und klar (Hinweis: Gefärbte Desinfektionsmittel stören den Versuch nicht und können ebenso verwendet werden). In den drei Gläsern lassen sich nach Zugabe der jeweiligen Flüssigkeiten zwei verschiedene Phasen erkennen, wobei das Öl oben aufschwimmt (B). Als Phase bezeichnet man dabei einen klar abgegrenzten Bereich einer Flüssigkeit, sofern mehrere Flüssigkeiten nebeneinander vorliegen. In diesem Fall stellt also Öl immer die obere Phase dar, während Wasser, Seifenlauge oder Desinfektionsmittel die

Experiment 1: Emulgierende Wirkung von Seife

untere Phase abbilden. Nach dem Vermischen erhältst Du eine trübe Emulsion, in der kleine Öltröpfchen zu erkennen sind (C). Mit der Zeit trennt sich die Emulsion wieder in zwei Phasen auf. Nach 15 Minuten ist dabei sowohl beim Wasser (links) als auch beim Desinfektionsmittel (rechts) zu erkennen, dass sich Öl und Wasser wieder getrennt haben. Bei der Seifenlauge (Mitte) ist auch die obere Phase hingegen noch trüb. Die untere Phase bleibt bei allen drei Ansätzen nach 15 Minuten noch leicht trüb.

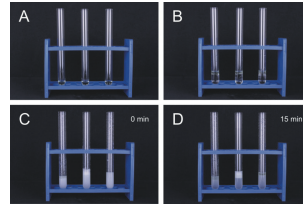


Abbildung 9.5: Beobachtungen des Versuchs. A Speiseöl B links: Speiseöl und Wasser, Mitte: Speiseöl und Seifenlauge, rechts: Speiseöl und Desinfektionsmittel C 0 Minuten: Alle drei Ansätze bilden eine trübe Emulsion D Nach 15 Minuten: Speiseöl und Wasser (links) sowie Speiseöl und Desinfektionsmittel (rechts) liegen in zwei getrennten Phasen vor, Speiseöl und Seifenlauge (Mitte) haben eine trübe Emulsion gebildet.

Erklärung:

Seife besitzt aufgrund seiner chemischen Eigenschaften die Fähigkeit, Fette und Öle zu emulgieren. Seifenmoleküle bilden Mizellen, in welchen sich Öltröpfchen einlagern. Dies ist möglich, da sowohl die Schwänze der Seifenmoleküle als auch die Ölmoleküle hydrophob, also wasserabweisend sind. Da die Köpfe der Seifenmoleküle hydrophil sind, richten sie sich zum Wasser aus. Dadurch können Fette und Öle fein im Wasser verteilt werden. Mit dem Auge ist dies daran zu erkennen, dass das Gemisch milchig-trüb wird – ganz nebenbei ist dies genau der Grund, wieso Milch weiß erscheint. Milch ist eine Emulsion aus Wasser und Fett, die durch chemische Verfahren homogenisiert wurde, weshalb sich Fett und Wasser nicht mehr voneinander trennen. Reines Wasser ist nicht in der Lage, Öl zu emulgieren, weshalb sich Öl und Wasser einige Zeit nach dem Vermischen wieder voneinander trennen. Gleiches gilt für Desinfektionsmittel und Öl. Auch hier ist

Kapitel 9 | Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus!

der im Desinfektionsmittel enthaltene Alkohol nicht in der Lage, das Öl zu emulgieren, sodass sich nach einiger Zeit zwei Phasen bilden. Diese Information kannst Du schon einmal gut für das nächste Kapitel zum Thema Desinfektionsmittel gebrauchen! Durch die emulgierende Eigenschaft von Seife können Substanzen, die sonst nicht mit Wasser zu beseitigen wären, problemlos abgewaschen werden.

Experiment 2: Dispersierende Wirkung von Seife



In diesem Experiment soll die dispersierende Wirkung von Seife gezeigt werden.

Was Du benötigst:

- Vier Gläser
- Zwei Teelöffel
- Wasser
- Ruß, Kohlestaub oder Aktivkohlepulver
- Flüssigseife
- Zwei Trichter
- Zwei Kaffeefilter

Durchführung:

Für dieses Experiment benötigst Du möglichermaßen Ruß oder Kohlestaub. Dazu kannst Du beispielsweise Grillkohle in kleine Stücke mahlen. Solltest Du einen Kamin haben, findest Du auch hier genug Ruß. Wenn Du es Dir noch einfacher machen willst, kannst Du auch im Reformhaus, einer Apotheke oder dem Internet Aktivkohlepulver kaufen. Aktivkohle wird oft als Mittel zur Zahnaufhellung angeboten. Als weiteren Vorbereitungsschritt musst Du eine Seifenlauge ansetzen. Wie das geht, hast Du bereits im ersten Experiment dieses Kapitels erfahren. Das Glas mit der Seifenlauge kannst Du so für den Versuch nutzen.

Fülle ein zweites Glas mit ungefähr 100 mL Wasser, sodass sich in beiden Gläsern gleich viel Flüssigkeit befindet. Gib anschließend in das Glas mit Wasser und das Glas mit Seifenlauge einen halben Teelöffel Ruß (beziehungsweise Aktivkohlepulver). Falte nun einen Kaffeefilter

Experiment 2: Dispersierende Wirkung von Seife

und lege ihn in einen Trichter. Stelle ein weiteres, leeres Glas unter den Trichter, rühre eines der Gläser mit dem Ruß gut um und filtriere den Inhalt durch den Kaffeefilter. Wenn der Inhalt vollständig filtriert ist, wasche den Trichter, falte einen neuen Kaffeefilter und wiederhole die Filtration mit dem anderen Glas. Am Ende des Versuchs kannst Du beide Filtrate (also das, was durch den Filter in die leeren Gläser gelaufen ist) miteinander vergleichen.

Beobachtungen:

Nach dem Vermischen zeigen beide Gläser eine tiefschwarze Farbe. Die Unterschiede lassen sich erst nach dem Filtrieren erkennen. Das Filtrat des Glases mit Wasser und Ruß ist klar, der komplette Ruß ist im Filter geblieben. Das Filtrat der Seifenlauge hingegen ist gräulich verfärbt. Der Unterschied lässt sich besonders gut beim Vergleich der beiden Filtrate feststellen.

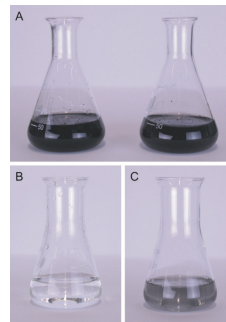


Abbildung 9.6: Beobachtungen des Versuchs. A Wasser mit Ruß (links) und Seifenlauge mit Ruß (rechts) B Nach der Filtration, Filtrat des Wasser-Ruß-Gemisches C Filtrat des Seifenlauge-Ruß-Gemisches.

Kapitel 9 | Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus!

Erklärung:

Seife ist in der Lage, hydrophobe Substanzen zu dispergieren. Bei diesem Vorgang werden die hydrophoben Substanzen zum Teil in der Seife gelöst. Dies passiert auch mit Rußpartikeln, welche ebenfalls hydrophob sind. Ein gutes Indiz dafür ist, dass sich Ruß nicht in Wasser löst – das merkst Du daran, dass es fast unmöglich ist, rußige Finger ausschließlich mit Wasser zu säubern. Da sich ein Teil der Rußpartikel in der Seife löst, können diese durch den Filter gelangen und erscheinen im Filtrat als gräulicher Schimmer. In Wasser lösen sich die Rußpartikel hingegen nicht und bleiben daher im Filter hängen, sodass das Filtrat klar ist.

Die dispergierenden Eigenschaften von Seife betreffen natürlich nicht nur Ruß, sondern beispielsweise auch Fette. Da dispergiertes Fett oder Öl aber deutlich schwerer im Filtrat zu erkennen gewesen wäre, lässt sich der Versuch besser mit dem tief-schwarzen Ruß durchführen. Das Prinzip der Dispersion bleibt das gleiche! Die dispergierende Eigenschaft hilft Dir also beim Händewaschen, da es den Schmutz löst und Du ihn dann problemlos abwaschen kannst.

Die beiden Versuche zeigen eindrücklich die beiden wichtigsten Funktionen von Seife beim Händewaschen. Durch die emulgierende und dispergierende Eigenschaft können Substanzen, die sich eigentlich nicht in Wasser lösen würden, auf einfache Weise abgespült werden. Es bleibt jedoch die Frage, wie uns Seife jetzt beim Kampf gegen das Coronavirus helfen kann. Um diese Frage beantworten zu können, ist es wichtig, sich noch einmal den Aufbau des Virus vor Augen führen. Beim Coronavirus handelt es sich um ein behülltes Virus, welches von einer Fettschicht, der sogenannten Lipidmembran umgeben ist. In dieser befinden sich die für die Vermehrung und Aufrechterhaltung des Virus notwendigen Proteine (Membranproteine). Beim Händewaschen mit Seife wird genau diese Fettschicht aufgelöst und dadurch zerstört. Dies konnten beide Experimente zeigen: Die Virushülle verhält sich wie der Ruß aus dem zweiten Experiment und lässt sich durch Seife hinforsuchen. Ein ähnliches Ergebnis zeigt auch das erste Experiment. Da das Öl aus dem Versuch und die Virushülle des Coronavirus eine ähnliche Struktur haben, lassen sie sich mithilfe von Seife und Wasser beseitigen. Durch das »Hinforsuchen« der Virushülle verlieren auch die Membranproteine ihre Funktionalität, sodass

Experiment 2: Dispergierende Wirkung von Seife

das Virus inaktiviert wird. Da es jetzt nicht mehr an unsere Zellen andocken kann, ist es nicht mehr schädlich (Abbildung 9.7).

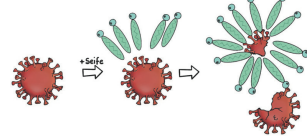


Abbildung 9.7: Wirkungsweise von Seifenmolekülen auf behüllte Viren

Doch auch hier gibt es ein paar Tücken: Zunächst einmal ist es unerlässlich, beim Händewaschen die komplette Hand mit Seife einzureiben – auch unter den Fingernägeln, auf den Fingerkuppen und am Handgelenk. Darüber hinaus braucht die Seife ein bisschen Zeit, um vernünftig wirken zu können. Für das Händewaschen solltest Du Dir also unbedingt 20 bis 30 Sekunden Zeit nehmen. Oder zweimal »Happy Birthday« singen, wie unter anderem Boris Johnson vorschlägt. Wie Du Dir richtig die Hände wäschst, ist noch einmal in Abbildung 9.8 gezeigt. Ein weiterer Hygientipp: Nutze nach Möglichkeit Flüssigseife, da sich auf trockenen Seifenrücken Viren (und Bakterien) sammeln können. Auch wenn es nicht besonders nachhaltig ist, sollten gerade im öffentlichen Raum Einmal-Papiertücher und keine Handtücher zum Händetrocknen genutzt werden, denn auch an den Handtüchern können sich Krankheitserreger sammeln. Und auch elektrische Handtrockner geben kein besonders gutes Bild ab. Durch diese können virushaltige Aerosole und Tröpfchen durch die Luft gewirbelt werden und sich im Raum verteilen.

Ob Du Dir richtig die Hände wäschst, kannst Du übrigens mithilfe eines der anderen Experimente im Buch überprüfen. In Kapitel 4 zum Thema Schmierinfektion stellst Du eine unter UV-Licht leuchtende Creme her. Gib von dieser Creme ein wenig auf die Hände und verleihe sie so, als würdest Du Dir die Hände waschen (allerdings ohne Wasser, das Ganze ist eine »Trockenübung«). Wenn Du fertig bist, betrachte Deine Hände unter der UV-Lampe. Sollten nun die Hände komplett leuchten, hast Du alles richtig gemacht. Wenn nicht, weißt Du, wo Du nachbessern musst!

Kapitel 9 | Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus!



Abbildung 9.8: Richtig Hände waschen

Auch wenn das Händewaschen mit Seife eine gute Maßnahme zur Eindämmung von COVID-19 ist, reicht es natürlich nicht aus, sich komplett darauf zu verlassen. Zum einen ist auch das Händewaschen mit Seife nicht zu 100 % effektiv. Zum anderen schützt das Händewaschen aber in erster Linie nur vor Schmierinfektionen, nämlich dann, wenn die Hände mit dem Coronavirus kontaminiert sind und mit diesen dann die Schleimhäute berührt werden. Vor einer Tröpfcheninfektion, bei der der Erreger durch Aerosole in der Luft transportiert werden, kann das Händewaschen nicht helfen. Deshalb sei auch hier noch einmal an die AHA-Regel erinnert, die in der Öffentlichkeit maßgeblich vor Infektionen schützt: Abstand halten, Hygiene beachten, Alltagsmasken tragen. Zusätzlich sollte auf regelmäßiges Lüften geachtet werden, sodass von der AHA+L-Regel gesprochen werden wird. Die Wirkungsweise der Seife schränkt dies aber mitnichten ein. Sie ist einer der effektivsten Begleiter an unserer Seite, durch die wir uns vor einer Schmierinfektion schützen können. Der Mythos, dass das Händewaschen mit Seife also nicht als Schutz vor dem Coronavirus ausreicht, ist so nicht richtig, wengleichlich der Schutz ausschließlich auf eine Schmierinfektion beschränkt.

Das Händewaschen mit Seife reicht nicht aus!

Ein Blick in die Krankenhäuser, Pflegeeinrichtungen sowie Restaurants oder Supermärkte im ganzen Land kann dann allerdings doch stutzig machen. In jeder dieser Einrichtungen hängen zumeist an Eingang Spender mit Desinfektionsmitteln, die vor Coronaviren schützen sollen. Die in diesem Kapitel beschriebene Wirkungsweise von Seifen lässt hingegen den Schluss zu, dass anstelle von Desinfektionsmittelspendern in öffentlichen Einrichtungen auch lediglich Seifenspendern aufgestellt werden könnten – diese finden sich sowieso in sanitären Einrichtungen im öffentlichen Raum. Was Desinfektionsmittel sind und ob sie einen ebenso guten oder vielleicht sogar besseren Schutz als Seife bieten, erfährst Du im folgenden Kapitel.

Quellen:

Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA). (2020). Händewaschen. [Infektionsschutz.de](https://www.infektionsschutz.de/haendewaschen/#6357). Abgerufen von <https://www.infektionsschutz.de/haendewaschen/#6357>
Carter, J., & Saunders, V. (2007). *Virology: Principles and Applications* (2nd ed.). West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.
Flint, J., Racaniello, V. R., Rall, G. F., Skalka, A. M., & Enquist, L. W. (2015). *Principles of Virology, Volume II: Pathogenesis and Control* (4th ed.). Washington D.C., USA: American Society for Microbiology.
Kricheldorf, H. R. (2014). *Erkenntnisse und Irrtümer in Medizin und Naturwissenschaften*. Berlin Heidelberg: Springer Spektrum.



Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

10

Noch zu Beginn des Jahres 2020 waren Händedesinfektionsmittel eine Seltenheit in Büros, Badezimmern oder Handtaschen und Rucksäcken aller BürgerInnen. Spätestens seit dem vermehrten Auftreten von COVID-19-Fällen in Deutschland gegen Ende Februar führten allerdings viele BürgerInnen Händedesinfektionsmittel mit sich oder besitzen in ihren Wohnungen kleine Vorräte. Und auch in Supermärkten, Geschäften, Restaurants und weiteren Einrichtungen des öffentlichen Lebens sind Desinfektionsmittelpender am Eingang zur Pflicht geworden. An sich sollte also alles klar sein: Desinfektionsmittel inaktivieren das Coronavirus und dämmen so die Schmierinfektion über die Hände ein (vergleiche Kapitel 4). Ein genauerer Blick auf die Verpackungen verschiedener Desinfektionsmittel kann dann aber schnell irritierend sein, da sich auf ihnen fachsprachliches Vokabular befindet.

97

Kapitel 10 | Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

das nicht ohne weiteres von Jedermann verstanden werden kann. Zumeist werden Desinfektionsmittel mit weiteren Begriffen klassifiziert. So befinden sich auf den Flaschen und Spendern Beschreibungen wie *bakterizid*, *viruzid*, *sporizid*, *fungizid* oder *begrenzt viruzid*. Naturwissenschaftliche Fachbegriffe können auf jeder Verpackung für Medizin- oder Hygieneprodukte gefunden werden, da zumindest die Inhaltsstoffe verpflichtend angegeben werden müssen. Oftmals helfen diese VerbraucherInnen aber nicht weiter, da auf den Verpackungen keine Erklärung der Begriffe erfolgen muss. Ähnlich verhält es sich bei den oben genannten Angaben auf Desinfektionsmitteln, die sicherlich nicht sofort verständlich sind. Diese bezeichnen zwar keine Inhaltsstoffe, geben aber die Wirkung des Mittels wieder. Besonders *begrenzt viruzide* Desinfektionsmittel, die zu den in der Coronakrise am häufigsten eingesetzten Mitteln gehören, werfen die Frage auf, ob eine *begrenzte* Wirkung überhaupt einen ausreichenden Schutz vor einer Infektion mit dem Coronavirus bietet. Für den Umgang mit Handhygiene in der Corona-Krise ist es daher unverzichtbar, ein Verständnis dafür zu erlangen, was sich hinter den Begriffen verbirgt und welches Desinfektionsmittel die beste Wirkung gegen Coronaviren erzielt.

Bereits im vorigen Kapitel wurde die Wirkungsweise von Seife thematisiert. In Bezug auf die Händedesinfektion stellen sich daher schnell zwei weitere Fragen: Auf welche Art und Weise wirken Desinfektionsmittel (im Gegensatz zu Seifen) und wieso stehen im öffentlichen Raum (außer in Sanitäranlagen) überall Desinfektionsmittel- und keine Seifenspender, obwohl Seifen effektiv gegen Coronaviren sind?

Unter dem Begriff Desinfektionsmittel werden zumeist *chemische Desinfektionsmittel* verstanden, die Krankheitserreger auf Oberflächen, Gegenständen oder aber den Händen unschädlich machen sollen. Korrekterweise werden chemische Desinfektionsmittel als Biozide bezeichnet. Biozide enthalten verschiedene Chemikalien, die ein zum Teil völlig unterschiedliches Wirkungsspektrum abdecken. Um die Wirkung von Desinfektionsmitteln einteilen zu können, werden sie mit verschiedenen Begriffen bezeichnet. Diese als Wirkbereiche bezeichneten Eingruppierungen geben an, gegen welche Krankheitserreger das Mittel wirksam ist. Die Begrifflichkeiten setzen sich dabei immer aus dem griechischen Wortstamm des Krankheitserregers sowie der griechischen Wortendung *-zid* (töten) zusammen. Ein *viruzid* Desinfektionsmittel «tötet» folglich Viren ab. Der Begriff *viruzid* ist allerdings irreführend oder zumindest fachlich falsch: Da Viren keine Lebewesen sind, können sie auch nicht *gestorben* werden. Korrekterweise

98

Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

müsste von einer Inaktivierung von Viren gesprochen werden. Letztlich ist das Ziel viruzider Mittel, dass das Virus seine Infektiosität, also die Fähigkeit, Menschen anzustecken, verliert. Eine Übersicht aller Wirkbereiche von Desinfektionsmitteln ist in Abbildung 10.1 dargestellt.

B **Bakterizide Desinfektionsmittel** töten Bakterien ab. Sie sind nicht zu verwechseln mit bakterizidischen Mitteln, die lediglich das Wachstum von Bakterien hemmen. Bakterizide können zum Beispiel zur Bekämpfung von Salmonellen und Choleraerkrankungen eingesetzt werden. Gegen Sporen, die einige Bakterien bilden, sind sie unwirksam.

BV **Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel** inaktivieren alle Viren, die eine Virushülle besitzen. Sie können beispielsweise gegen Influzaviren (Grippe) oder Coronaviren eingesetzt werden.

BV+ **Desinfektionsmittel des Wirkbereiches begrenzt viruzid PLUS** inaktivieren ebenso wie begrenzt viruzide Desinfektionsmittel alle Viren mit Virushülle. Darüber hinaus sind sie gegen Adeno-, Noro- und Rotaviren (alle unbeküßelt) wirksam, die Entzündungen oder Magen-Darm-Erkrankungen auslösen können.

V **Viruzide Desinfektionsmittel** sind sowohl gegen behüllte als auch gegen unbehüllte Viren wirksam und inaktivieren somit jegliche Viren. Viruzide Mittel sind daher beispielsweise auch gegen Viren wie das Hepatitis A (Hepatitis A) wirksam, welches als unbeküßelt Virus schwerer chemisch zu bekämpfen ist.

S **Sporizide Desinfektionsmittel** sind in der Lage, sporenbildende Erreger abzutöten. Diese Mittel müssen besonders aggressiv sein, um die gepanzerte Hülle von Sporen zu durchbrechen. Sie sind damit beispielsweise gegen das Milzbranderreger wirksam. Bislang gibt es keine sporiziden Mittel, die auf der Haut aufgetragen werden können.

F **Fungizide Desinfektionsmittel** töten Pilze ab, welche ebenfalls eine Klasse der Krankheitserreger darstellen. Sie sind daher beispielsweise gegen Schimmelpilze oder den die Krankheit Candida albicans auslösenden Hefepilz wirksam. Pilzgerate können durch Fungizide nicht bekämpft werden.

Chemische Desinfektionsmittel müssen dabei nicht ausschließlich einen Wirkbereich erfüllen, sondern können für mehrere Bereiche wirksam sein. Für die Abwehr bakterieller und viraler Erreger kann daher oft ein einziges Desinfektionsmittel eingesetzt werden. Eine Frage kann jedoch bereits jetzt beantwortet werden: Da Coronaviren zu den behüllten Viren gehören, bedarf es lediglich begrenzt viruzider Desinfektionsmittel, um diese zu inaktivieren. Der Einsatz begrenzt viruzider PLUS oder viruzider Mittel ist daher für die Inaktivierung von Coronaviren nicht von Nöten.

Für ein genaueres Verständnis der Wirkungsweise von Desinfektionsmitteln reicht es allerdings nicht aus, lediglich deren Wirkbereiche zu betrachten. Darüber hinaus müssen auch die Inhaltsstoffe der Mittel sowie deren konkrete Einflüsse auf das Virus berücksichtigt werden.

99

Abbildung 10.1: Wirkbereiche von Desinfektionsmitteln

Kapitel 10 | Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

Damit ein Desinfektionsmittel in Deutschland eingesetzt werden darf, muss es zuvor von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BfA) zugelassen werden. Dies wird über die sogenannte (EU-weit gültige) Biozidverordnung geregelt. Im Laufe der Corona-Pandemie musste die BfA in Anlehnung an die Biozidverordnung neue Desinfektionsmittel zulassen, die bislang für den Einsatz in Deutschland verboten waren, um der rasant gewachsenen Nachfrage gerecht zu werden. Dies führte dazu, dass seit dem 4. März 2020 (grob gesagt) zwei verschiedene Wirkstoffe für begrenzt viruzide Desinfektionsmittel eingesetzt werden können. Bereits vor dem 4. März waren Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis (auch Spiritus, Ethylalkohol oder Trinkalkohol genannt) zugelassen, die mindestens 70 % Ethanol enthalten. Darüber hinaus dürfen nun auch Übergangsweg-Mittel auf Isopropanolbasis (auch Isopropylalkohol, Propan-2-ol oder 2-Propanol genannt) verwendet werden, sofern sie mindestens 70 % Isopropanol enthalten. Desinfektionsmittel auf Isopropanolbasis sind in Deutschland allerdings nur auf besondere Genehmigung zulässig, sodass davon auszugehen ist, dass nach Ende der Pandemie oder aber bei ausreichender Verfügbarkeit von Ethanol keine weiteren Desinfektionsmittel mit Isopropanol für den Gebrauch in der Öffentlichkeit hergestellt werden.

Aus chemischer Sicht wird mit dem Begriff *Alkohol* nicht ausschließlich das als Trinkalkohol verwendete Ethanol gemeint. Vielmehr stellen Alkohole eine Klasse von chemischen Verbindungen dar, zu denen beispielsweise auch Isopropanol oder Methanol, welches vor allem durch seine giftige Wirkung in Fuschkalibor bekannt ist, gehören.



ETHANOL UND ISOPROPRANOL:

Alkohole gehören zu den in der chemischen Industrie und im Alltag meist genutzten Chemikalien. Zwei bekannte Vertreter der Alkohole finden neben ihren zahlreichen weiteren Anwendungszwecken auch Einzug in die allorts eingesetzten begrenzt viruziden Desinfektionsmittel.

Ethanol ist den meisten als Trinkalkohol bekannt. Befindet sich auf Bier-, Wein- oder Spirituosenflaschen eine Angabe des Alkoholgehaltes, so ist damit der Volumanteil an Ethanol gemeint. Oftmals werden die Begriffe Alkohol, Ethanol und Spiritus gleichgesetzt, was allerdings nicht ganz korrekt ist. Während wie bereits erwähnt der Begriff Alkohol nicht ausschließlich Ethanol meint,

Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

steht das Wort Spiritus sehr wohl für die chemische Verbindung Ethanol. Im Gegensatz zum reinen Ethanol sind dem Spiritus allerdings noch sogenannte Vergällungsmittel beigegeben, die ihn zum Trinken oder zum Ansetzen alkoholischer Getränke gänzlich ungeeignet machen. Spiritus ist aus diesem Grunde von der Alkoholbesteuerung befreit und kann als kostengünstiges Reinigungsmittel oder als Brandbeschleuniger genutzt werden. Der in Desinfektionsmitteln enthaltene Alkohol ist ebenfalls vergällt.

Auch Isopropanol ist ein Alkohol, der allerdings für den Verzehr ebenso ungeeignet wie Spiritus ist. Er findet sich dennoch in zahlreichen Anwendungsbereichen wieder. Neben der Anwendung in Desinfektionsmitteln wird Isopropanol beispielsweise in Glasreinigern oder Brillenputzrührern eingesetzt, dient als Frostschutzmittel in Scheibenwaschanlagen oder wird als Lösungsmittel für Lacke verwendet.

Ethanol und Isopropanol scheinen also für den Einsatz in begrenzt viruziden Desinfektionsmitteln besonders gut geeignet zu sein, da beide Chemikalien in die Stoffklasse der Alkohole fallen. Desinfektionsmittel bestehen allerdings nicht ausschließlich aus Alkoholen. Unabhängig davon, ob Ethanol oder Isopropanol als Wirkstoff eingesetzt wird, empfiehlt beispielsweise die Weltgesundheitsorganisation (WHO) genaue Rezepturen für Desinfektionsmittel, die in Tabelle 10.1 aufgeführt sind.

Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis	Desinfektionsmittel auf Isopropanolbasis
80 % Ethanol	75 % Isopropanol
1,45 % Glycerin	1,45 % Glycerin
0,125 % Wasserstoffperoxid	0,125 % Wasserstoffperoxid
Destilliertes Wasser	Destilliertes Wasser

Tabelle 10.1: Rezepturvorgabe der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zur Herstellung von Desinfektionsmitteln

Die ursprünglichen Rezepturen stammen aus einem Dokument aus dem Jahr 2010, das aber von der WHO aufgrund der Pandemie erneut publiziert wurde. Das vorrangige Ziel war und ist es, jeder Person die selbstständige, bedarfsgerechte Herstellung eines Desinfektionsmittels aus Grundchemikalien zu ermöglichen, um so einer Verknapfung der Mittel durch Lieferverzögerungen zu entgegenzuwirken. Da die Verwendung von Desinfektionsmitteln ein bedeutsames Thema im

Kapitel 10 | Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

Zusammenhang mit der Corona-Krise ist, soll es im ersten Experiment dieses Kapitels um die Herstellung eines eigenen Desinfektionsmittels gehen. Dieses Desinfektionsmittel kann auch für andere Experimente im Buch verwendet werden.

Experiment 1: Herstellung von Desinfektionsmitteln



In diesem Experiment kannst Du Dein eigenes Desinfektionsmittel herstellen. Du Du die Empfehlungen der WHO bereits gelesen hast, weißt Du, dass es zwei Möglichkeiten gibt, Desinfektionsmittel herzustellen. Du kannst Dich im Experiment für eine der beiden entscheiden – oder aber auch beide ausprobieren.

Möglichkeit 1: Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis

Was Du benötigst:

- Ein verschließbares Gefäß oder eine leere Desinfektionsmittelflasche
- Destilliertes Wasser (beziehungsweise einen Wasserkocher oder einen Kochtopf)
- Einen Messbecher (mindestens 500 Milliliter)
- Einen Esslöffel und einen Teelöffel
- Spiritus (96 %)
- Optional: Wasserstoffperoxid (3 %) und Glycerin
- Permanentmarker

Durchführung:

Für die Herstellung von Desinfektionsmittel kannst Du Wasserstoffperoxid (3 %) und Glycerin verwenden. Beides bekommst Du in der Apotheke. Die Wirkung des Desinfektionsmittels ist allerdings auch ohne diese beiden Chemikalien gegeben. Aus den angegebenen Mengen ergeben sich 500 Milliliter Desinfektionsmittel, selbstverständlich kannst Du aber auch mehr oder weniger herstellen und musst dann lediglich die Mengen anpassen.

Fülle 420 Milliliter Spiritus in den Messbecher und gib etwa 7,5 Milliliter Glycerin dazu. 7,5 Milliliter entsprechen ungefähr der Menge von eineinhalb Teelöffeln. Rühre anschließend mit dem Esslöffel gut um, sodass keine Schlieren mehr zu erkennen sind. Füge nun

Experiment 1: Herstellung von Desinfektionsmitteln

ungefähr 20 Milliliter Wasserstoffperoxid hinzu. Achte darauf, dass es sich um 3 %-iges Wasserstoffperoxid handelt und die Konzentration nicht größer ist! Fülle nun den Messbecher mit destilliertem Wasser auf 500 Milliliter auf. Solltest Du kein destilliertes Wasser zu Hause haben, kannst Du auch Wasser im Wasserkocher oder im Kochtopf abkochen (das Wasser sollte ungefähr drei Minuten kochen) und nach dem Abkühlen hinzugeben. Rühre mit dem Esslöffel anschließend noch einmal gut um und fülle das fertige Desinfektionsmittel in ein verschließbares Gefäß. Beschrifte das Gefäß mithilfe eines Permanentmarkers mit der Angabe »Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis, begrenzt viruzid«.

Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis	Entspricht
Verwende für 500 ml Desinfektionsmittel	
420 ml Spiritus (Ethanol)	80,4 % (Vol.)
7,5 ml Glycerin	1,47 % (Vol.)
20 ml Wasserstoffperoxid	0,12 % (Vol.)

Tabelle 10.2: Mengenangaben für Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis

Möglichkeit 2: Desinfektionsmittel auf Isopropanolbasis

Was Du benötigst:

- Ein verschließbares Gefäß oder eine leere Desinfektionsmittelflasche
- Destilliertes Wasser (beziehungsweise einen Wasserkocher oder einen Kochtopf)
- Einen Messbecher (mindestens 500 Milliliter)
- Einen Esslöffel und einen Teelöffel
- Isopropanol
- Optional: Wasserstoffperoxid (3 %) und Glycerin
- Permanentmarker

Durchführung:

Für die Herstellung von Desinfektionsmittel kannst Du Wasserstoffperoxid (3 %) und Glycerin verwenden. Beides bekommst Du in der Apotheke. Die Wirkung des Desinfektionsmittels ist allerdings auch ohne diese beiden Chemikalien gegeben. Aus den angegebenen Mengen ergeben sich 500 Milliliter des Desinfektionsmittels, selbstver-

Kapitel 10 | Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

ständig kannst Du aber auch mehr oder weniger herstellen und musst dann lediglich die Mengen anpassen.

Fülle 375 Milliliter Isopropanol (erhältlich in Baumärkten oder dem Internet) in den Messbecher und gib etwa 7,5 Milliliter Glycerin dazu. 7,5 Milliliter entsprechen ungefähr der Menge von einem Teelöffel. Rühre anschließend mit dem Esslöffel gut um, sodass keine Schlieren mehr zu erkennen sind. Füge nun ungefähr 20 Milliliter Wasserstoffperoxid hinzu. Achte darauf, dass es sich um 3 %-iges Wasserstoffperoxid handelt und die Konzentration nicht größer ist! Fülle nun den Messbecher mit destilliertem Wasser auf 500 Milliliter auf. Solltest Du kein destilliertes Wasser zu Hause haben, kannst Du auch Wasser im Wasserkocher oder im Kochtopf abkochen (das Wasser sollte ungefähr drei Minuten kochen) und nach dem Abkühlen hinzugeben. Rühre mit dem Esslöffel anschließend noch einmal gut um und fülle das fertige Desinfektionsmittel in ein verschließbares Gefäß. Beschrifte das Gefäß mithilfe eines Permanentmarkers mit der Angabe »Desinfektionsmittel auf Isopropanolbasis, begrenzt viruzid«.

Tabelle 10.3: Mengenangaben für Desinfektionsmittel auf Isopropanolbasis

Verwende für 500 ml Desinfektionsmittel	Entspricht
375 ml Isopropanol	75 % (Vol.)
7,5 ml Glycerin	1,47 % (Vol.)
20 ml Wasserstoffperoxid	0,12 % (Vol.)

Das selbst hergestellte Desinfektionsmittel kann für den Eigenbedarf oder im Rahmen verschiedener Experimente im Buch eingesetzt werden. Doch wieso genau bestehen Desinfektionsmittel aus Alkohol, Wasser, Glycerin und Wasserstoffperoxid?

Zwei der Inhaltsstoffe sind hinsichtlich ihrer Bedeutung einfach zu erklären: Wasserstoffperoxid ist ein starkes Oxidationsmittel, das im Alltag sonst als Haarbleiche (daher der Begriff »wasserstoffbondes Haar«), kein Zahnarzt als Zahnbleichmittel und zur Blutstillung sowie zur Aufbereitung von Wasser genutzt wird. Darüber hinaus findet Wasserstoffperoxid vor allem bei der Desinfektion verschiedener Oberflächen Anwendung. Diese Aufgabe erfüllt es auch im Desinfektionsmittel, wobei hier nicht die Desinfektion der Hände im Vordergrund steht. Vielmehr soll es die Vorratsflasche, in die das Mittel

Experiment 2: Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren

gefüllt wird, von möglichen Sporen und Pilzen befreien. Da Wasserstoffperoxid durch die Abspaltung von Sauerstoffatomen ein besonders aggressives Oxidationsmittel ist, können selbst harmnackige Keime wie Sporen gut bekämpft werden. Jedoch zerfällt Wasserstoffperoxid nach einiger Zeit in Wasser und Sauerstoff und eignet sich somit nicht als sporizides Mittel, welches über einen längeren Zeitraum gelagert werden kann. Es dient lediglich dazu, das Aufbewahrungsbekaltnis einmalig von möglichen Sporen und Pilzen zu befreien.

Glycerin erfüllt eine völlig andere Funktion als Wasserstoffperoxid und dient im Desinfektionsmittel dem Hautschutz. Da Glycerin eine sehr zähflüssige, fettende Substanz ist, eignet es sich besonders gut, die Haut zu befeuchten. Alkoholbasierte Desinfektionsmittel trocknen die Hände bei häufigem Gebrauch leicht aus und machen sie dadurch spröde und anfällig für Keime. Glycerin sorgt dafür, dass die Haut einen neuen Feuchtigkeitssfilm bilden kann, um so spöde Hautstellen zu verhindern. Anstelle von Glycerin könnte nach der Händedesinfektion auch eine feuchtigkeitsspendende Creme aufgetragen werden (die selbst oft Glycerin enthält). Falls Du das Desinfektionsmittel ohne Glycerin hergestellt hast, solltest Du darauf achten, es nicht zu oft für die eigene Haut zu verwenden oder aber nach dem Gebrauch eine Handcreme zu verwenden.

Die wichtigste Funktion im Desinfektionsmittel nimmt allerdings der Alkohol ein. Im folgenden Experiment kannst Du untersuchen, welche Wirkungsweise Alkohole auf Viren haben.

Experiment 2: Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren

Mit diesem Experiment kannst Du modellhaft überprüfen, welche Wirkung Alkohole beziehungsweise alkoholhaltige Desinfektionsmittel auf Viren haben.



Was Du benötigst:

- Drei leere Marmeladengläser (mit Deckel)
- Wasser
- Spiritus
- Desinfektionsmittel
- Kürbiskernöl
- Eine Einmalpipette / einen Teelöffel
- Einen Messbecher

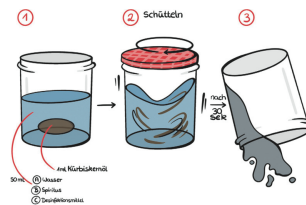
Kapitel 10 | Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

Durchführung:

Für diesen Versuch benötigst Du drei leere Marmeladengläser mit Deckel. Solltest Du nicht genügend leere Marmeladengläser vorrätig haben, kannst Du den Versuch auch mit einem Marmeladenglas machen und nach jedem Schritt ein Foto mit der Handykamera machen. Wichtig für den Versuch ist, dass die Marmeladengläser komplett sauber sind und Du problemlos in das Glas gucken kannst! Am einfachsten ist es daher, wenn Du das Etikett der Gläser entfernst.

Darüber hinaus brauchst Du für den Versuch Kürbiskernöl, welches Du in den meisten Supermärkten kaufen kannst. Solltest Du kein Kürbiskernöl besitzen, kannst Du auch Speiseöl mit Paprikapulver anfärben. Gib zu einem Glas mit Speiseöl einen Teelöffel mit Paprikapulver und rühre gut um. Das Öl kannst Du über Nacht stehen lassen und am nächsten Tag nur das rot gefärbte Öl dekantieren.

Abbildung 10.2: Skizze zur Versuchsdurchführung



Fülle zunächst einen Milliliter Kürbiskernöl (oder das von Dir angefarbte Öl) in alle drei Marmeladengläser. Dies geht am besten mit Einmalpipetten, Du kannst aber auch einen Teelöffel benutzen und diesen zur Hälfte füllen. Gib nun mithilfe eines Messbechers je 50 Milliliter Wasser, Spiritus und Desinfektionsmittel in die drei verschiedenen Marmeladengläser. Verschleife das erste Marmeladenglas mit dem Deckel und schüttle es nun gut durch, sodass sich das Öl gut mit dem Wasser vermischt. Warte nach dem Schütteln noch ungefähr 30 Sekunden und kippe den Inhalt des Glases mit einem Schwung in den

Experiment 2: Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren

Ausguss. Wiederhole diesen Vorgang auch für die Marmeladengläser mit Spiritus beziehungsweise Desinfektionsmittel. Anschließend kannst Du die drei Marmeladengläser miteinander vergleichen.

Beobachtungen:

Nach dem Schütteln der drei Marmeladengläser ist zu erkennen, dass sich die Flüssigkeiten vermischt haben. Die deutlich grünliche Färbung des Kürbiskernöls ist gut zu sehen. Nach einer halben Minute bilden sich beim Marmeladenglas mit Öl und Wasser kleine, grüne Tröpfchen auf der Wasseroberfläche, dies passiert bei den Marmeladengläsern mit Spiritus und Desinfektionsmittel nicht. Werden die Marmeladengläser mit Schwung ausgegossen, so bleibt lediglich im Glas mit Wasser ein grüner Film zurück. Die Gläser mit Spiritus und Desinfektionsmittel sind hingegen deutlich sauberer (siehe Abbildung 10.3).

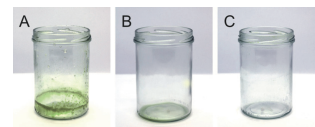


Abbildung 10.3: Beobachtungen nach dem Ausschüttern der Marmeladengläser. A Kürbiskernöl mit Wasser B Kürbiskernöl mit Spiritus C Kürbiskernöl mit Desinfektionsmittel

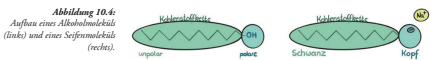
Erklärung:

Es ist gut zu erkennen, dass Wasser nicht in der Lage ist, das Kürbiskernöl aus dem Marmeladenglas zu waschen. Spiritus (also Alkohol) und das alkoholhaltige Desinfektionsmittel entfernen das Kürbiskernöl nahezu problemlos. Dies liegt an den chemischen Eigenschaften des Öls und des Alkohols. Bereits im vorherigen Kapitel zum Thema Seife hast Du Dich mit dem Aufbau von Fetten und Ölen beschäftigt. Auch das Kürbiskernöl gehört – wie der Name schon sagt – zu den Ölen und ist somit ein hydrophober, also wasserabweisender Stoff. Aus diesem Grund lässt sich das Kürbiskernöl nicht restlos mit Wasser aus dem Marmeladenglas waschen. Dies ist auch der Grund, wieso fettrige Pfannen und Töpfe nicht ausschließlich mit Wasser gereinigt werden können, sondern immer ein Spülmittel zu Hilfe genommen werden muss. Alkohole sind im Gegensatz zu Wasser in der Lage,

Kapitel 10 | Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

Öl zu lösen. Sie bestehen aus einer Kette aus Kohlenstoffatomen, die unterschiedlich lang ist. Beim Ethanol (Spiritus) besteht diese Kette aus zwei Kohlenstoffatomen, beim Isopropanol aus drei Atomen. Diese Ketten sind unpolare (siehe Kapitel 9). Alkoholkohlenstoffketten besitzen allerdings zusätzlich ein Sauerstoffatom in ihrer Struktur (der Chemiker sagt in diesem Falle präziser »Hydroxygruppe«), welche dem Molekül zum Teil einen polaren Charakter gibt (Abbildung 10.4, links). Dies ist auch der Grund, wieso sich Spiritus und Isopropanol problemlos mit Wasser mischen lassen. Dadurch ist es auch erst möglich, Desinfektionsmittel aus Wasser und Alkohol, Spirituosen und andere alkoholische Getränke herzustellen.

Seifen sind, wie Du im vorigen Kapitel erfahren hast, in der Lage, hydrophobe Stoffe wie Fette und Öle zu emulgieren und dispergieren. Einen richtigen Lösungsprozess, wie Du es beispielsweise von Salz in Wasser kennst, können sie aber nicht auslösen. Vielmehr dienen sie als Vermittler zwischen Öl und Wasser. Dass sie Öl nicht wirklich lösen können, liegt vornehmlich an der Ladung ihres Molekülkopfes (Abbildung 10.4, rechts).



Bei Alkoholen ist dieser polare Teil wesentlich schwächer ausgeprägt als bei Seifen. Aus diesem Grund sind Alkohole in der Lage, Öle und Fette zu lösen, aber nicht zu emulgieren.

Was genau haben die Erkenntnisse des Versuchs mit der Wirkungsweise von Desinfektionsmitteln zu tun? Der Versuch konnte zeigen, dass der Alkohol im Desinfektionsmittel in der Lage ist, Öle zu lösen. Da auch das Coronavirus von einer Hülle aus Fett umgeben ist, auf welcher für das Virus »überlebenswichtige« Proteine sitzen, sind alkoholhaltige Desinfektionsmittel in der Lage, diese Hülle aufzulösen. Auf diese Weise wird das Virus inaktiviert. Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel sind nahezu immer auf Alkoholbasis und daher gut für die Inaktivierung behüllter Viren wie das Coronavirus geeignet. Wer sich also bislang Sorgen gemacht hat, dass die Desinfektionsmittel, die in

Experiment 2: Wirkung von Desinfektionsmitteln auf Viren

den meisten Geschäften zur Verfügung stehen, aufgrund ihrer begrenzt viruziden Eigenschaften keinen ausreichenden Schutz bieten, kann unbesorgt sein.

Dennoch dürfte bislang nicht klar sein, wieso begrenzt viruzide Desinfektionsmittel dann nicht ausschließlich aus Alkohol bestehen, sondern zusätzlich ungefähr 20 bis 25 % Wasser enthalten. Neben den fettlösenden Eigenschaften sind Alkohole zusätzlich in der Lage, Proteine zu denaturieren, also zu zerstören. Diese Eigenschaft und der Begriff »denaturieren« werden im folgenden Kapitel genauer unter die Lupe genommen. Da auch das Coronavirus auf seiner Oberfläche Proteine besitzt, könnten Alkohole diese Proteine leicht zerstören. Dies würde in diesem Falle aber eine Verklumpung der Proteine bedeuten, welche als Präzipitation bezeichnet wird. Dadurch können schnell viele Viren miteinander verklumpen, die nicht alle vollständig inaktiviert werden könnten. Das Wasser dient hier als Vermittler, damit die Viren voneinander getrennt werden und keine Präzipitation möglich ist. Möglicherweise entstehende Präzipitate können durch das Wasser getrennt werden, wodurch einzelne Viren wieder freigelegt werden. Diese können dann vom Alkohol inaktiviert werden. Durch die Zusammensetzung des Desinfektionsmittels kann auf diese Weise sichergestellt werden, dass keine Viren vereinzelt aktiv bleiben (Abbildung 10.5).



Abbildung 10.5: Durch Alkohol bedingte Präzipitation von Viren. Durch diese Verklumpung können einzelne aktive Viren in einem Präzipitat zurückbleiben.

Durch den Wassergehalt von 20 bis 25 % im Desinfektionsmittel entsteht noch ein zweiter Vorteil: Das Desinfektionsmittel verdunstet langsamer auf der Haut, sodass der Alkohol länger einwirken kann. Die Wahrscheinlichkeit, nahezu alle Viren auf der Haut zu inaktivieren, steigt dadurch an.

Da auch Seifen in der Lage sind, das Virus zu inaktivieren, muss abschließend noch geklärt werden, wieso (mit Ausnahme von Sanitär-

Kapitel 10 | Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

anlagen) nicht ausschließlich Seifen in Geschäften verwendet werden, sondern auf Desinfektionsmittel zurückgegriffen wird. Dies liegt vorrangig an der Handhabung von Seife und Desinfektionsmitteln. Seifen sind nur dann wirksam, wenn sie zusammen mit Wasser eingesetzt werden. Eine Desinfektion mit Seife erfordert also immer noch Zugang zu bestmöglicherweise fließendem Wasser und folglich einer Möglichkeit, sich die Hände abzutrocknen. Desinfektionsmittel hingegen können ohne weitere Hilfsmittel verwendet werden. Da ein Großteil des Alkohols auch nach einiger Zeit verdunstet (und ein anderer Teil in die Haut einzieht), ist hier ein Abtrocknen der Hände nicht mehr von Nöten. Dies stellt sowohl einen organisatorischen als auch einen hygienischen Vorteil dar. In sanitären Anlagen wird demnach auf Seifen zurückgegriffen, da sie neben der viruziden Wirkung die Hände auch von Schmutz und unangenehmen Gerüchen befreien.

Desinfektionsmittel bieten also einen guten Schutz vor dem Coronavirus. Da sie allerdings nur die auf der Hand befindlichen Viren inaktivieren können, müssen sie jedes Mal neu aufgetragen werden, wenn mögliche Viren auf der Haut entfernt werden sollen. Ob der innerliche Einsatz von Desinfektionsmitteln (beispielsweise durch Trinken) oder eine Injektion von Desinfektionsmitteln in den Körper einen dauerhaften Schutz vor Coronaviren ermöglichen, wird im nächsten Kapitel thematisiert.

Quellen:

- Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA). (2020). Allgemeinverfügung zur Zulassung 2-Propanol-haltiger und Ethanolhaltiger Biozidprodukte zur hygienischen Händedesinfektion zur Abgabe an und Verwendung durch berufsmäßige Verwender und Verbraucher sowie zur Zulassung 1-Propanol-haltiger Biozidprodukte. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin. Abgerufen von https://www.baua.de/DE/Angebote/Kataloge/Meldungen/2020/pdff/Allgemeinverfuegung-Handdesinfektion.pdf__blob=publicationFile&v=6
- Weltgesundheitsorganisation (WHO). (2010). Guide to Local Production: WHO-recommended Handrub Formulations. WHO. Abgerufen von https://www.who.int/gpsc/5may/Guide_10_Local_Production.pdf

Begrenzt viruzide Desinfektionsmittel bekämpfen das Coronavirus nicht!

Europäische Kommission, & Europäisches Parlament. (2012). Verordnung (EU) Nr. 528/2012 des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 22. Mai 2012 über die Bereitstellung auf dem Markt und die Verwendung von Biozidprodukten. EU.

v. Rheinbaben, F., & Wolff, M. H. (2002). Handbuch der viruswirksamen Desinfektion. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA). (2020). Händewaschen. Infektionsschutz.de. Abgerufen von https://www.infektionsschutz.de/handwaschen/#6357

Carter, J., & Saunders, V. (2007). Virology: Principles and Applications (2nd ed.). West Sussex, England: John Wiley & Sons Ltd.

Flint, J., Racaniello, V. R., Rall, G. F., Skalka, A. M., & Enquist, L. W. (2015). Principles of Virology, Volume II: Pathogenesis and Control (4th ed.). Washington D.C., USA: American Society for Microbiology.

Modrow, S., Falke, D., Truyen, U., & Schürz, H. (2010). Molekulare Virologie (3rd ed.). Heidelberg: Springer Spektrum.

Bundesministerium für Gesundheit. (2020). Coronavirus SARS-CoV-2: Chronik der bisherigen Maßnahmen. Bundesministerium für Gesundheit. Abgerufen von https://www.bundesgesundheitsministerium.de/coronavirus/chronik-coronavirus.html



Injektion von Desinfektionsmittel 11

«And then I see the disinfectant, where it knocks it out in a minute. One minute. And it there a way we can do something like that, by injection inside or almost a cleaning. Because you see it gets in the lungs and it does a tremendous number on the lung. So it would be interesting to check that.»
Donald J. Trump, 23. April 2020

«Ich denke an die Desinfektionsmittel, die es (das Virus) innerhalb einer Minute ausknocken. Gibt es da einen Weg, so etwas in der Art zu machen – durch eine Injektion in den Körper oder fast etwas wie eine Reinigung? Sie sehen, es (das Desinfektionsmittel) gelangt dann in die Lunge und zickt dort eine gewaltige Nummer durch, das wäre interessant, das zu überprüfen». Dieser Satz stammt aus dem Mund von Donald Trump, dem am 03. November 2020 abgewählten Präsidenten der Vereinigten Staaten. Am 24. April 2020 schlug er in einer Pressekonferenz unter anderem vor, Desinfektionsmittel zu injizieren (also zu spritzen), um an COVID-19 erkrankte Personen zu heilen.

113

Kapitel 11 | Injektion von Desinfektionsmittel

Schnell meldeten sich weltweit ÄrztInnen und WissenschaftlerInnen zu Wort, die von der Idee abrieten und diese sogar als lebensgefährlich bezeichneten.

Doch wieso gab es nahezu unmittelbar einen solchen Aufschrei? BefürworterInnen der Idee Trumps führen an, dass es ja schließlich auch genügend andere Medikamente gäbe, die per Injektion verabreicht werden. Bereits in Kapitel 10 wurde über die Wirkungsweise von Desinfektionsmitteln gesprochen. Diese sind – kurz zusammengefasst – in der Lage, die Hülle (Lipidmembran), die viele Viren besitzen, aufzulösen beziehungsweise zu inaktivieren. Dadurch kann das Andocken und letztlich auch ein Eindringen der Viren in die Wirtszellen verhindert werden. Es scheint daher sinnvoll, Desinfektionsmittel in die Blutbahn zu spritzen, damit diese im ganzen Körper verteilt werden können. Weitergedacht könnte dies bedeuten, dass Desinfektionsmittel auch dann wirksam sind, wenn eine Person bereits mit dem Virus infiziert ist. Das in der Blutbahn zirkulierende Mittel könnte folglich die Vermehrung von Viren verhindern und so zur Genesung des Patienten beitragen.

Um die Frage beantworten zu können, ob das Spritzen von Desinfektionsmitteln einen sinnvollen Bestandteil einer Therapie für COVID-19-erkrankte PatientInnen darstellt, ist allerdings die ausschließliche Betrachtung der Wirkungsweise von Desinfektionsmitteln gegen Viren nicht ausreichend. Vielmehr muss auch in Betracht gezogen werden, welchen Einfluss Desinfektionsmittel auf den menschlichen Körper, insbesondere die Blutbahn nehmen können.

Blut ist die sicherlich bekannteste Körperflüssigkeit, die bei fast allen Tierarten und auch beim Menschen vorkommt. Es erfüllt zahlreiche Zwecke, der wichtigste und bekannteste davon ist der Sauerstofftransport aus der Lunge zu den Körperzellen. Darüber hinaus ist das Blut maßgeblich an der Immunabwehr, der Wärmeregulation des Körpers, dem Transport verschiedener Nährstoffe, Proteine und Hormone und der Wundheilung (Blutgerinnung) beteiligt. Die rote Körperflüssigkeit kann diesen gänzlich verschiedenen Aufgaben nur nachkommen, da es aus verschiedenen Bestandteilen besteht, die in einem genau eingestellten Verhältnis zueinander stehen. Das Blut besteht (grob unterteilt) aus zellulären Bestandteilen und aus Blutplasma. Die zellulären Bestandteile, die auch als Hämatokrit bezeichnet werden, machen dabei beim Menschen circa 45 % des Blutes aus, das Plasma circa 55 %. Letzteres wiederum besteht zum Großteil aus Wasser (90 %) sowie aus Proteinen (circa 7 %; auch Eiweiße genannt), Salzen und

114

Injektion von Desinfektionsmittel

weiteren kleinen Molekülen wie Zucker. Im Plasma finden sich darüber hinaus gelöste Gase, Nährstoffe wie Fette, Vitamine, Stoffwechsel- und Abfallprodukte.

Für den Sauerstofftransport sind im Blut die roten Blutkörperchen verantwortlich, die sogenannten Erythrozyten. Sie gehören zu den zellulären Bestandteilen und enthalten den roten Blutfarbstoff Hämoglobin. Das Hämoglobin, welches bei nahezu allen Wirbeltieren vorkommt, ist eines der zahlreichen Proteine im Organismus. Es enthält ein Eisen-Ion, welches in der Lage ist, Sauerstoff reversibel zu binden. Das bedeutet, dass die roten Blutkörperchen mit dem enthaltenen Hämoglobin in der Lunge eingatmeten Sauerstoff aufnehmen, über die Arterien zu den verschiedenen Organen transportieren und schließlich wieder abgeben. Anschließend fließen die roten Blutkörperchen über die Venen zurück zum Herzen und von dort aus wieder zur Lunge, um neuen Sauerstoff aufzunehmen. Neben dem Hämoglobin enthält Blut noch zahlreiche weitere Proteine. Hierzu zählen vorrangig die Albumine und Globuline. Während Albumine den korrekten Zelldruck einstellen, um ein Platzen von Zellen zu verhindern, sind Globuline für den Transport verschiedener wasserlöslicher Stoffe verantwortlich. Hierzu zählen einige Hormone oder auch Vitamin D. Weiterhin sind einige Globuline wichtiger Bestandteil des Immunsystems und dienen oft dem Körper selbst als Reservekohlenstoff. Zusammengefasst erfüllen die Proteine, die im Blut vorkommen, lebenswichtige Aufgaben.

AMINOSÄUREN:

Aminosäuren werden oft als der Ursprung des Lebens bezeichnet. Die chemisch relativ simplen Verbindungen, die immer Kohlenstoff, Wasserstoff-, Sauerstoff- und Stickstoffatome enthalten, besitzen ein einheitliches Grundgerüst, über das die Aminosäuren zu langen Ketten verknüpft werden können. Neben dem Grundgerüst verfügen Aminosäuren auch über eine Seitenkette. Erst die Seitenkette sorgt dafür, dass sich die Moleküle chemisch und biologisch voneinander unterscheiden.

115

Alle Lebewesen machen sich diese Eigenschaft zunutze, indem sie Aminosäuren anhand eines Bauplans ähnlich eines Baukastensystems auf verschiedene Arten und Weisen verknüpfen. Dadurch entsteht eine riesige Vielfalt an Molekülen, die als Peptide bzw. Proteine bezeichnet werden. Der Bauplan, dem die Verknüpfung zugrunde liegt, ist die Erbinformation des Lebewesens, seine DNA. Ein kleines Rechenbeispiel zeigt die unfassbare Vielfalt, mit welcher sich Aminosäuren verbinden können: Der menschliche Körper greift auf 21 verschiedene, sogenannte proteinogene Aminosäuren zurück. Werden lediglich zehn Aminosäuren miteinander verknüpft, gäbe es hierfür bereits 21^{10} Möglichkeiten. Als ausgeschriebene Zahl sind dies 16.679.880.978.201, also ungefähr 16,7 Billionen. Bedenkt man, dass die in Lebewesen vorkommenden Proteine aus mindestens 100 Aminosäuren bestehen, ist zu erkennen, welche riesige Vielfalt allen Organismen durch das einfache Verknüpfen relativ simpler Moleküle gegeben ist.

Dass Proteine diese vielfältigen Aufgaben im menschlichen Körper erfüllen können, ist Verdienst ihres Aufbaus. Proteine, die auch als Polypeptide bezeichnet werden, bestehen aus (21 verschiedenen) Aminosäuren, die sich zu langen Ketten zusammenschließen. Kleine Proteine bestehen dabei aus einer Kette von knapp über 100 Aminosäuren, während das größte Protein, das im menschlichen Körper vorkommt, aus über 30.000 aneinandergereihten Aminosäuren zusammengesetzt ist. Die Anordnung der verschiedenen Aminosäuren im Protein wird als Primärstruktur bezeichnet. Da alle Aminosäuren verschiedene chemische Eigenschaften besitzen, spielt auch deren Anordnung eine für die Funktion entscheidende Rolle. Diese auch als Aminosäuresequenz bezeichnete Struktur bedingt darüber hinaus die räumliche Anordnung der Aminosäuren im Protein. Proteine sind dreidimensionale Gebilde, die bestimmte Strukturelemente aufweisen können. Dazu zählen beispielsweise Helices oder Faltsblätter. Erst durch diese räumlichen Strukturelemente, die als Sekundärstrukturen bezeichnet werden, erhält das Protein seine Funktion. Die Sekundärstrukturen in ihrer Gesamtheit machen folglich die räumliche Struktur des gesamten Proteins aus und werden als Tertiärstruktur bezeichnet. Einige Proteine lagern sich zu größeren Proteinverbänden zusammen, was mithilfe des Begriffes Quartärstruktur bezeichnet wird (Abb. 11.1).

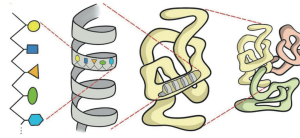
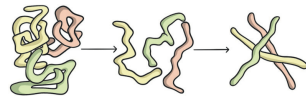


Abbildung 11.1: Primär-, Sekundär-, Tertiär- und Quartärstruktur von Proteinen

Für Proteine ist daher unabdingbar, dass sie sich im Raum korrekt anordnen können, was als native Faltung bezeichnet wird. Da ausschließlich komplett richtig gefaltete Proteine die gewünschte Funktion erfüllen, ist die Proteinfaltung ein vom Körper genau überwachter Prozess. Die Umgebung, in der sich das Protein befindet (also beispielsweise im Blutplasma) muss genaue Bedingungen aufweisen, um eine korrekte Faltung zu ermöglichen. Besitzt ein solches Protein die korrekte Faltung, ist es im Blutplasma gelöst. Dazu muss das Blut den richtigen pH-Wert besitzen und einen bestimmten Kochsalzgehalt aufweisen. Wird einer dieser Parameter verändert, kann es dazu kommen, dass das Protein seine native Faltung verliert und sich die Kette entfaltet. Zusammen mit anderen entfalten Proteinen können sich dann Protein-Knäuel bilden, die nicht mehr im Blutplasma löslich sind. Die Primärstruktur der Proteine bleibt also im Gegensatz zur Sekundär- und Tertiärstruktur erhalten. Dieser als Denaturierung bezeichnete Vorgang geht gleichzeitig mit dem vollständigen Funktionsverlust der betroffenen Proteine einher und kann für den Menschen schnell lebensbedrohlich werden (Abb. 11.2). Neben der Änderung des pH-Wertes oder eines zu geringen Salzgehaltes im Blutplasma kann auch eine zu starke Temperaturerhöhung (über 40 °C) oder die Zugabe verschiedener Fremdstoffe zur Proteindenaturierung führen. Die Gefahr, die beispielsweise von einem Fieber ausgeht, liegt in der Denaturierung der Proteine durch die zu hohe Körpertemperatur begründet. Auf der anderen Seite wird die Proteindenaturierung beispielsweise beim Braten von Spiegeleiern bewusst ausgenutzt. Hier werden die im Eiklar (und Eigelb) gelösten Proteine denaturiert, wodurch sie ausfallen und sich das Eiklar weiß verfärbt und hart wird.

Abbildung 11.2: Denaturierung von Proteinen



Ob und wie Desinfektionsmittel Einfluss auf die Proteinfaltung nehmen, soll mit folgendem Experiment gezeigt werden.

Experiment: Desinfektionsmittel im Blut

DO IT YOURSELF

Im Experiment soll die Wirkungsweise von Desinfektionsmitteln auf das Blut untersucht werden. Dazu wird mithilfe von Eiweiß, Wasser und Kochsalz ein Blutplasma-Modell erstellt. Dieses wird mit Alkohol beziehungsweise Desinfektionsmittel versetzt.

Was Du benötigst:

- Einen Messbecher
- Drei Wassergläser (bestenfalls komplett durchsichtig)
- Ein Hühnerrei
- Einen Löffel zum Umrühren
- Kochsalz
- Wasser
- Desinfektionsmittel und Spiritus

Durchführung:

Trenne von einem Hühnerrei Eiweiß und Eigelb ab, indem Du das Ei aufschlägst und das Eigelb zwischen den Schalenhälften hin und her gleiten lässt. Das Eiweiß fängst Du in dem darunter befindlichen Messbecher auf. Falls vorhanden, bietet sich ein durchsichtiger Messbecher an, um den Füllstand besser sehen zu können. Fülle den Messbecher nun mit Leitungswasser auf ungefähr 250 Milliliter auf. Die vorliegende Lösung ist milchig-weiß. Gib anschließend solange unter Rühren Kochsalz hinzu, bis die Lösung wieder klar wird. Dies gelingt am besten, wenn Du mehrfach einen halben Teelöffel Salz hinzugibst. Ein paar Schlieren sind kein Problem! Verteile die Eiweißlösung zu gleichen Mengen auf drei Wassergläser. Das erste Wasserglas soll als

Vergleich dienen. In das zweite Glas gibst Du ungefähr 10 Milliliter Spiritus, in das dritte ungefähr 10 Milliliter Desinfektionsmittel.

Beobachtungen:

Nach Zugabe des Wassers zum Eiklar entsteht eine trübe milchige Suspension (das heißt, dass feste Stoffe ungelöst in einer Flüssigkeit vorliegen). Durch Zugabe von Kochsalz wird die zuvor trübe Suspension wieder klar. Nach Umfüllen der Lösung in drei Gläser siehst der Inhalt aller drei Gläser zunächst identisch aus. Durch Zugabe von Spiritus im zweiten Glas trübt sich die Lösung schlagartig und es fällt eine weiße, milchige Substanz aus. Auch bei Zugabe von Desinfektionsmittel in Glas drei lässt sich diese Beobachtung feststellen. Lässt man die Gläser einige Zeit stehen, setzt sich die weiße Substanz oben am Glas ab.

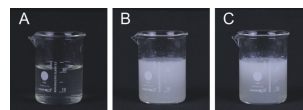


Abbildung 11.3: Beobachtungen des Versuchs. A Eiweißlösung ohne Zusatz (Blindprobe) B Eiweißlösung mit Alkohol (Kontrolle) C Eiweißlösung mit Desinfektionsmittel

Erklärung:

Proteine (Eiweiß) sind auf eine genau eingestellte Umgebung angewiesen, um ihre korrekte Faltung und damit auch Funktion beibehalten zu können. Leitungswasser stört diese empfindliche Umgebung, sodass einige Proteine denaturieren. Dies ist an der Trübung im Glas zu erkennen. Durch Zugabe von Kochsalz renaturieren einige Proteine, sie nehmen also ihre korrekte (native) Faltung wieder ein und lösen sich im Wasser. Dies entspricht auch näherungsweise einem guten Modell des Blutplasmas, das zum größten Teil aus Wasser, aber auch aus Proteinen und Salzen besteht. Die drei Gläser stellen daher ein gut eingestelltes Blutplasma dar. Durch Zugabe von Spiritus, also reinem Alkohol, werden schlagartig Proteine denaturiert. Die Beobachtungen des zweiten Glases lassen sich auf die des dritten übertragen. Auch Desinfektionsmittel, genauer gesagt: der darin enthaltene Alkohol, führt zu einer Denaturierung der Proteine.

Kapitel 11 | Injektion von Desinfektionsmittel

Desinfektionsmittel enthalten als Grundchemikalie zumeist Alkohole, da diese in der Lage sind, die Virushülle zu zerstören und das Virus so unschädlich zu machen (siehe Kapitel 10). Die Wirkung der Desinfektionsmittel, die uns einerseits vor einer Infektion mit Viren schützt, kann uns allerdings bei Injektion von Desinfektionsmitteln zum Verhängnis werden. Gelangen Desinfektionsmittel in unser Blut, werden die überlebenswichtigen Plasmaproteine irreversibel denaturiert. Dies resultiert in einem Funktionsverlust dieser Eiweiße und kann darüber hinaus dazu führen, dass die sich bildenden Eiweißgerinnsel die Venen verstopfen. Bei Injektion einer ausreichend großen Menge an Desinfektionsmitteln führt dies unweigerlich zum Tod.

Desinfektionsmittel können jedoch im Gegensatz zur Injektion in die Blutbahn gefahrlos auf die Haut aufgetragen werden. Dies ist über die Schutzmechanismen der Haut zu erklären, wodurch das Eindringen von Fremdstoffen in tiefere Hautschichten durch einen Säuremantel sowie eine Fettschicht verhindert wird. Doch auch dieser Schutz ist begrenzt. Da Alkohole bedingt auch fettlösende Eigenschaften besitzen, führt das häufige Desinfizieren, beispielsweise der Hände, schnell zu einer spröden und rissigen Haut, die dann keinen vollständigen Schutz mehr gewährleistet. Die Gefahr, dass dann aber Desinfektionsmittel in die Blutgefäße gelangen, ist dennoch ausgeschlossen.

Donald Trumps Idee, Desinfektionsmittel gegen COVID-19 zu spritzen, führte – nur wenige Stunden, nachdem er sie auf einer Pressekonferenz preisgegeben hatte – zu einem weltweiten Aufschrei vieler MedizinerInnen, die eindringlich vor einer solchen Maßnahme warnen. Desinfektionsmittel schützen durch äußerliche Anwendung temporär vor der Infektion mit verschiedenen Krankheitserregern wie zum Beispiel dem Coronavirus, sind allerdings für die innere Anwendung gänzlich ungeeignet. Das in den USA nach Trumps Aussage die Anrufzahlen in den Gift- und Notzentralen schlagartig um ein Vielfaches anstiegen, hängt vermutlich auch mit dem Versuch vieler US-Amerikaner zusammen, sich durch Injektion oder aber das Trinken von Desinfektionsmitteln vor dem Coronavirus zu schützen. Die Anwendung von Desinfektionsmitteln ist, wie das Experiment gezeigt hat, ausschließlich auf die Haut zu begrenzen.

Quellen:
The White House. (2020). Remarks by President Trump, Vice President Pence, and Members of the Coronavirus Task Force in Press Briefing. <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2020/03/11/20200311-remarks-president-vice-president-pence-coronavirus-task-force-press-briefing-31/>

120

Injektion von Desinfektionsmittel

Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., Reece, J. B., & Campbell, N. A. (2019). *Campbell Biologie* (11th ed.; A. Paululat & J. J. Heinisch, Hrsg.). München: Pearson Studium (Pearson Deutschland).

Kohse, K. P. (2019). *Taschenrechner Klinische Chemie und Hämatologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

Jankowicz, M. (2020, April 24). Doctors are lining up to attack Trump for suggesting that injecting disinfectant might help fight the coronavirus. *Business Insider*. Abgerufen von <https://www.businessinsider.com/trump-coronavirus-inject-disinfectant-doctors-reject-2020-4?r=DE&IR=T>

121

12

Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

Das Virus wird schwächer

Diese Schlagzeile der BILD-Zeitung sorgte Mitte August 2020 für ein folgenreiches mediales Echo innerhalb Deutschlands. Die Schlagzeile bildet allerdings nur einen Auszug eines Interviews mit dem deutschen Virologen Prof. Dr. Ulf Dittmer ab: Corona sei bald «nur noch ein Schnupfen». Schnell entbrannte eine Debatte über eine mögliche Abschwächung des Coronavirus, die Gegenstand zahlreicher Fernsehsendungen, Podcasts und Zeitungsberichte wurde. Schlussendlich ordnete auch der zitierte Virologe seine Aussage in den ursprünglichen Gesamtkontext ein und fügte hinzu, dass wir Veränderungen von anderen Viren, die zur Abschwächung einer Erkrankung geführt haben, schon gesehen haben. Ob das auch bei SARS-CoV-2 passiert oder passieren wird, wissen wir noch nicht.

Sicher ist folglich, dass Viren sich während ihrer Verbreitung ständig verändern. Doch worin liegt eigentlich der Ursprung von Viren und wie entwickelten sich diese im Laufe der Zeit weiter? Dies soll im weiteren Verlauf des Kapitels im Kontext des Coronavirus thematisiert werden.

Es gibt unterschiedliche Annahmen, welchen Ursprung Viren haben. WissenschaftlerInnen gehen davon aus, dass sich Viren frühestens vor 3,9 Milliarden Jahren entwickelt haben, als es bereits andere Einzeller wie z. B. Bakterien gegeben hat. Diese Annahme ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass Viren keine Lebewesen im eigentlichen Sinne sind. Viren sind Parasiten, welche zum Überleben auf einen sogenannten Wirt angewiesen sind. Der Wirt wird von dem Parasiten befallen und geschädigt, wohingegen der Parasit Vorteile aus dieser Wechselwirkung zieht. Bei Viren stellen diese Vorteile die Möglichkeit

123

12

Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

Das Virus wird schwächer

Abbildung 12.1: Schlagzeile der Bildzeitung vom 18.08.2020 (Screenshot). Abgerufen am 26.10.2020 von <https://www.bild.de/bild-photos/gesund/wissenschaft/fragebogen-coronavirus-wird-schwacher-72444890-virus-conversion-toLe-gen.bild.html>

Diese Schlagzeile der BILD-Zeitung sorgte Mitte August 2020 für ein folgenreiches mediales Echo innerhalb Deutschlands. Die Schlagzeile bildet allerdings nur einen Auszug eines Interviews mit dem deutschen Virologen Prof. Dr. Ulf Dittmer ab: Corona sei bald «nur noch ein Schnupfen». Schnell entbrannte eine Debatte über eine mögliche Abschwächung des Coronavirus, die Gegenstand zahlreicher Fernsehsendungen, Podcasts und Zeitungsberichte wurde. Schlussendlich ordnete auch der zitierte Virologe seine Aussage in den ursprünglichen Gesamtkontext ein und fügte hinzu, dass wir Veränderungen von anderen Viren, die zur Abschwächung einer Erkrankung geführt haben, schon gesehen haben. Ob das auch bei SARS-CoV-2 passiert oder passieren wird, wissen wir noch nicht.

Sicher ist folglich, dass Viren sich während ihrer Verbreitung ständig verändern. Doch worin liegt eigentlich der Ursprung von Viren und wie entwickelten sich diese im Laufe der Zeit weiter? Dies soll im weiteren Verlauf des Kapitels im Kontext des Coronavirus thematisiert werden.

Es gibt unterschiedliche Annahmen, welchen Ursprung Viren haben. WissenschaftlerInnen gehen davon aus, dass sich Viren frühestens vor 3,9 Milliarden Jahren entwickelt haben, als es bereits andere Einzeller wie z. B. Bakterien gegeben hat. Diese Annahme ist insbesondere darauf zurückzuführen, dass Viren keine Lebewesen im eigentlichen Sinne sind. Viren sind Parasiten, welche zum Überleben auf einen sogenannten Wirt angewiesen sind. Der Wirt wird von dem Parasiten befallen und geschädigt, wohingegen der Parasit Vorteile aus dieser Wechselwirkung zieht. Bei Viren stellen diese Vorteile die Möglichkeit

123

Kapitel 12 | Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

der Verbreitung dar. Viren können sich ohne Wirt nicht vermehren, sondern sind auf Bestandteile der Zellen ihres Wirtes zur Produktion neuer Viren angewiesen. Da Viren sich nicht fortbewegen können, benötigen sie hierfür ebenfalls einen Organismus, z. B. Mensch oder Tier, der Viren in der Umwelt verbreiten kann.

Alle bekannten Viren haben einen gemeinsamen Vorfahren. Mit der Zeit verändern sich Viren und entwickeln sich weiter, sodass heute viele unterschiedliche Virusfamilien bekannt sind, die teils sehr diverse Eigenschaften aufweisen. Viren können unbehüllt oder behüllt sein. Letzteres bedeutet das Tragen einer Ferthülle, welche das Virus vor Einflüssen wie Temperaturschwankungen und Sonneneinstrahlung schützt. Zudem erleichtert die Hülle dem Virus, sich vor dem Immunsystem des Wirtes zu verstecken und zu Beginn der Infektion unbekannt zu bleiben. Darüber hinaus können sich Viren auch in dem Aufbau ihres Erbgutes (siehe Infobox Erbgut), also dem Bauplan des Virus, unterscheiden.

Aber wie kommen diese Unterschiede zustande? Alle Lebewesen sowie Viren sind wechselnden äußeren Einflüssen ausgesetzt. Diese Einflüsse üben einen Druck auf Viren aus und treiben ihre Entwicklung voran. Durch Zufall entstehen im Zuge der Vermehrung neue, vorteilhafte Merkmale, die die jeweilige Spezies weiterentwickelt. Dieser Prozess wird Evolution genannt und ist der grundlegende Prozess der Entwicklung des gesamten Lebens auf der Erde.



CHARLES DARWIN UND DIE EVOLUTIONSTHEORIE:

Mitte des 19. Jahrhunderts stellte der britische Naturforscher Charles Darwin die Theorie auf, dass die Natur sich allmählich weiterentwickelt und nicht schlagartig von Gott erschaffen wurde. Weiterführend beschrieb Darwin in seiner Theorie zur »Entstehung der Arten«, dass sich alles Leben der Erde aus verschiedenen Uniformen entwickelt hat, also zum Beispiel verschiedene Tierarten einen gemeinsamen Vorfahren besitzen. Diese stetige Weiterentwicklung der Arten ist die Folge einer »natürlichen Auslese« und folgt dem Prinzip des »Survival of the Fittest«, also das Überleben des am besten Angepassten. Ziel allen Lebens ist die erfolgreiche Vermehrung und ein Aufrechterhalten der eigenen Art. Da jeder Lebensraum aber nur begrenzt Ressourcen bietet, kann nicht jeder Organismus beziehungsweise jedes Virus überleben. Es werden immer mehr Nachkommen produziert, als im Normalfall zur Erhaltung der Spezies notwendig sind. Diese

Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

Nachkommen besitzen dem Zufall entsprechend vereinzelt eine leicht unterschiedliche Ausstattung an Merkmalen. Infolgedessen sind einige Nachkommen besser an die Umwelt angepasst als andere Individuen und können sich erfolgreicher vermehren. Das vorteilhafte Merkmal setzt sich innerhalb der Art automatisch durch und gemäß Darwin überlebt der am besten Angepasste. Sind getrennte Gruppen einer Art unterschiedlichen Umweltbedingungen ausgesetzt, wie es zum Beispiel auf nebeneinander liegenden Inseln der Fall sein kann, können sich die jeweiligen Nachkommen der getrennten Gruppen soweit unabhängig voneinander weiterentwickeln, dass sie sich nicht mehr miteinander fortpflanzen können. Zwei neue Arten sind aus einem gemeinsamen Vorfahren entstanden.

Die zugrunde liegenden Prozesse der Evolution sind bei Viren dieselben wie bei allen anderen Organismen. Für Viren bedeutet der Erwerb neuer Merkmale konkret, dass ein Befall weiterer Wirte ermöglicht wird. Resistenzen gegen Medikamente erworben werden der Veränderungen im Krankheitsverlauf auftreten können. Viren vermehren sich ohne Eindämmungsmaßnahmen exponentiell, das heißt, dass aus einem Virus eine Vielzahl neuer Viren entsteht. Dadurch steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens neuer Merkmale in der Viruspopulation. Im Gegensatz dazu vermehren sich die meisten Organismen, wie zum Beispiel Reptilien, Säugetiere und Vögel, deutlich langsamer, sodass bei ihnen die Ausprägung neuer Merkmale deutlich länger bedarf. Evolutionäre Veränderungen sind daher erst über große Zeiträume ersichtlich.

Es gibt zwei grundlegende Mechanismen, wie in Lebewesen und insbesondere in Viren neue Merkmale ausprägen werden können.

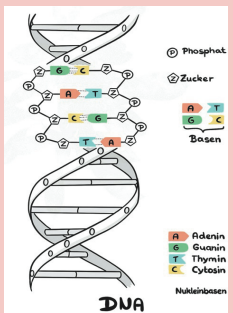
DAS ERBGUT:

Jedes Lebewesen und jedes Virus besitzen ein Genom (Erbgut), das den Bauplan für alle Zellen darstellt. Es gibt verschiedene Arten, in welchen die Erbinformation vorliegt kann. Die bekannteste Organisationsform ist die DNA (Desoxyribonukleinsäure, deutsch DNS), die bei allen vielzelligen Organismen ihre Anwendung findet. Bei Viren spielt darüber hinaus auch die RNA (Ribonukleinsäure, deutsch RNS) eine Rolle. So liegt beim Coronavirus das Erbgut in Form von RNA vor.



Kapitel 12 | Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

Alle lebenswichtigen Informationen sind in einer wechselnden Abfolge der vier verschiedenen Bausteine verschlüsselt. Sie werden Adenin, Guanin, Cytosin und Thymin genannt und bilden die sogenannten Nukleinbasen. Die Anordnung der Basen wird von Zucker- und Phosphat-Molekülen unterstützt, um einen stabilen und geordneten Aufbau des Erbgutes zu gewährleisten.



Auf Grundlage des Erbgutes erstellen alle Lebewesen und Viren Proteine. Bestimmte Teile des Genomes werden wie ein Code abgelesen und für die Herstellung von Proteinen bereitgestellt. Es gilt, dass immer drei aufeinander folgende Basen den Code für eine bestimmte Aminosäure, die Grundbausteine der Proteine, darstellen (vergleiche Infobox Aminosäuren Kapitel 11). Dies ist aber kein willkürlicher Prozess. Für bestimmte Proteine finden sich im Erbgut genau definierte Bereiche wieder. Obwohl die DNA nur aus vier simplen Bausteinen besteht, können auf diese

Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

Weise über 100.000 verschiedene Proteine hergestellt werden. Durch verschiedene Mechanismen des Körpers werden diese tagtäglich nahezu ohne jeden Fehler erstellt. Jedes Protein erfüllt dabei eine eigene Aufgabe.

Einen möglichen Mechanismus stellen die Mutationen dar. Wie eingangs erwähnt, benötigen Viren für ihre Vermehrung einen Wirtorganismus. Sie docken an die Zellen der Lebewesen an, schleusen ihr Erbgut ein und zwingen die Wirtszelle, neue Viren zu produzieren (Abbildung 12.2).

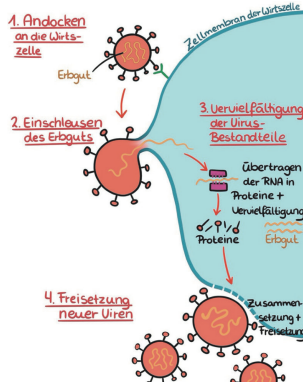


Abbildung 12.2: Vermehrungszyklus des Coronavirus mit Hilfe der Wirtszelle

Kapitel 12 | Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

Während der Nutzung des Vermehrungsapparates und des Kopierens von Viruserbgut kommt es immer wieder zu Fehlern. An einigen Stellen werden Basen, die die Bausteine unseres Erbgutes darstellen, falsch zusammengesetzt. Eine sogenannte Mutation liegt vor. Die kopierte Version des Erbgutes unterscheidet sich an einigen Stellen von ihrer Vorlage. Liegen diese Fehler in Genen vor, also Bauplanabschnitten, die als Vorlage für Proteine dienen, bilden sich neue Proteine und damit auch neue Virusmerkmale aus. Mutationen können somit entweder negative Auswirkungen auf die Lebensfähigkeit und Vermehrungsfähigkeit eines Organismus haben, sich aber auch durchaus als vorteilhaft erweisen, indem zum Beispiel (aus »Sicht des Virus) die Erkennung des Virus durch das Immunsystem des Wirtes erschwert wird. Zeigt sich eine Mutation als vorteilhaft für die Vermehrung der Viruspartikel im Wirt, kann sich das mutierte Virus zumeist schneller ausbreiten.

Eine weitere Möglichkeit, neue Virusmerkmale auszubilden, besteht in der Rekombination einzelner Abschnitte des Erbgutes. Diese Neu-Anordnung des Genoms spielt auch bei der menschlichen Fortpflanzung eine Rolle. Jedes Gen ist doppelt vorhanden: Eines wird vom Vater vererbt, das andere von der Mutter. Wenn Eizelle und Spermium im Rahmen der Befruchtung miteinander verschmelzen, entsteht die erste Zelle eines neuen Menschen. Das enthaltene Erbgut stellt somit eine Kombination zufällig ausgewählter Gene von Mutter und Vater dar und vereint die Erbinformationen beider Eltern – etwa Haarfarbe, Augenfarbe, Hautfarbe.

Wenngleich Viren sich nicht über die oben beschriebene geschlechtliche Fortpflanzung vermehren, tragen in der Evolution der Viren ebenfalls Rekombinationsereignisse zur Weiterentwicklung der Viren bei. Viren bringen ihr Erbgut in die Wirtszelle ein und nutzen die vorhandene Zellstruktur zur Produktion neuer Viren. Wenn jedoch zwei miteinander verwandte Virusarten ihr Erbgut in eine Wirtszelle einschleusen, kann es zu einer Kombination beider Genome kommen und die neu produzierten Viren vereinen Teile der beiden Virusarten. Da Viren zur Vermehrung die Wirtszelle nutzen, ist darüber hinaus der Einbau von Teilen des Erbgutes des Wirtes möglich. Im Rahmen der Produktion neuer Viren in der Wirtszelle kann versehentlich ein Stück des Erbgutes der Wirtszelle verdoppelt und in den Bauplan der neuen Virusgeneration integriert werden.

Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

Durch die Prozesse Rekombination und Mutation kann sich das Erbgut von Viren weiterentwickeln.

Das Genom von Viren verändert sich über die oben genannten Mechanismen im Vergleich zu anderen Lebewesen wie zum Beispiel Menschen deutlich schneller, da die Zeit der Vermehrung eines Virus, die sogenannte Generationszeit, mit wenigen Minuten deutlich kleiner ist. Konkurrieren zwei ähnliche Viren der gleichen Virustart miteinander, so setzt sich nach Charles Darwin die Art mit den gewinnbringendsten Eigenschaften durch. Doch was sind die Eigenschaften, die sich positiv auf die Ausbreitung des Coronavirus auswirken? Das Coronavirus ist tierischen Ursprungs. Durch die beschriebenen möglichen Veränderungen innerhalb des Bauplanes des Virus wird der Befall neuer Wirte ermöglicht. Infolge einer Mutation konnte eine neue Form des Coronavirus neben Tieren wie Fledermäusen oder Schuppentieren auch den Menschen befallen. Dadurch werden die Möglichkeiten der Verbreitung des Virus stark erweitert.

Obwohl das Virus seinen Wirt negativ beeinflusst, indem es ihn krank macht, darf der Wirt keinesfalls zu stark beeinträchtigt werden. Die Fähigkeit eines Krankheitserregers, eine Erkrankung hervorzurufen, wird auch Virulenz genannt. Je stärker der Wirt erkrankt, desto größer ist die Virulenz des Virus und umso unwahrscheinlicher wird eine weitere Verbreitung des Virus in der Bevölkerung (Abbildung 12.3).



Abbildung 12.3: Einfluss der Virulenz eines Virus auf dessen Verbreitung

Auch unter Einbezug von Erfahrungswerten anderer Virusarten ist es wahrscheinlicher, dass das Coronavirus eine bessere Übertragbarkeit

Kapitel 12 | Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

entwickelt und keine erhöhte Sterblichkeit. Eine Ausnahme besteht lediglich darin, wenn durch die erhöhte Todesrate indirekt eine verbesserte Übertragbarkeit erreicht werden kann.

In den Medien wurde bereits kurz nach Bekanntwerden des Coronavirus von Veränderungen im Erbgut berichtet. WissenschaftlerInnen begannen, entnommene Virusproben positiv getesteter PatientInnen zu analysieren und im Internet weltweit anderen Forschungsgruppen zur Verfügung zu stellen. Oftmals unterschied sich der Bauplan des Virus zwischen infizierten Personen lediglich in einigen wenigen Bausteinen. Zum einen konnte somit die Verbreitung des Virus nachvollzogen werden, indem bereits bekannte Elemente im Erbgut mit neu aufgetretenen Veränderungen in der Infektionskette verglichen wurden. Zum anderen zeigten Vergleiche der Datensätze auf, dass sich innerhalb weniger Wochen nach Auftreten der Pandemie unabhängig voneinander, also ohne direkte Infektionskette, überall auf der Welt gleiche Mutationen im Erbgut des Coronavirus ausgebildet haben.

Neben der bereits bewiesenen Veränderung im Erbgut des Coronavirus werden auch dessen mögliche Folgen vielfach medial diskutiert. Insbesondere der Mythos »Das Coronavirus wird im Verlaufe der Pandemie schwächer« erfährt hier außerordentliche Bedeutung. So wurde in den letzten Monaten ausgiebig im Rahmen einiger Experteninterviews sowie in den NDR-Podcasts mit dem Virologen Christian Drostens eine Abschwächung des Coronavirus erörtert. Hierbei können mehrere Ursachen beschrieben werden, die eine fortschreitende Schwächung des Virus vermuten lassen. Im Vergleich zum Frühjahr 2020 hat sich die Altersstruktur der COVID-19-Infizierten weiter verschoben. Es stecken sich vermehrt junge Leute mit dem Virus an, was sich zum Teil auch auf das derzeit angewandte Kohortenprinzip in Schulen rückführen lässt. Des Weiteren ist die Zahl der durchgeführten Tests stark angestiegen, da auch bei leichten Verdachtsfällen sowie größeren, lokalen Ausbrüchen umfassend getestet wird. Es werden somit im Gegensatz zum Beginn der Pandemie vermehrt PatientInnen mit leichten oder gar keinen Symptomen erfasst und in die Statistik mit aufgenommen. Bei einem Vergleich zwischen der Gesamtanzahl an COVID-19-Erkrankten sowie den aufgrund von COVID-19 stationär oder intensivmedizinisch behandelten PatientInnen ergibt sich somit eine weitestgehend geringere Hospitalisationsrate.

Doch lässt sich hieraus schlussfolgern, dass sich das Coronavirus mit der Zeit abschwächt? Um hier eine eindeutige Prognose zu geben, ist

Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

der gegenwärtige Stand der Forschung bezüglich des neuartigen SARS-Virus noch nicht ausreichend. Mehrere Virologen stehen dieser Annahme geschlossen entgegen und bewerten es kritisch, zum jetzigen Zeitpunkt eine Abschwächung des Virus festzustellen. Christian Drostens schätzte in seinem NDR-Podcast und auf Twitter eine Abschwächung und grundlegende Veränderung des Coronavirus Ende September 2020 als unwahrscheinlich ein (Abbildung 12.4).



Abbildung 12.4: Auszug aus einem Twitter-Fraud von Christian Drostens (Screenshot). Abgerufen von www.twitter.de am 26.10.2020

Auch der Virologe Hendrik Sneeck sagte Ende August 2020, dass das Virus zwar offenbar mutierte, eine Aussage bezüglich einer potenziellen Abschwächung jedoch frühestens rückblickend in 2 bis 3 Jahren getroffen werden kann.

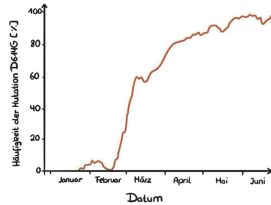
Eine Abschwächung des Coronavirus erscheint insbesondere aus evolutionärer Sicht als sehr wahrscheinlich. Mutmaßlich könnte sich eine Abschwächung insofern äußern, dass das Virus vermehrt den oberen Rachen und Halsbereich befallt und sich dort verstärkt einnistet. Somit würde sich der Infektionsherd im Körper in Richtung der oberen Atemwege verlagern, wodurch sich kürzere Infektionswege einstellen. Die Verbreitung des Virus, insbesondere über Husten und Niesen, wird stark gefördert und die Infektion weiterer Personen grundlegend erleichtert.

Wenngleich eine Abschwächung des Coronavirus bis dato noch nicht bestätigt werden konnte, publizierten Forschergruppen, wie oben erwähnt, signifikante Änderungen der Virushülle von SARS-CoV-2. Bereits zu Beginn der Pandemie ließen sich Veränderungen in den Oberflächenproteinen der Virushülle beobachten. Diese sogenannten »Spikes« ermöglichen dem Virus neben dem Verstecken vor dem

Kapitel 12 | Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

Immunsystem des Wirts den Eintritt in die Zellen und ein Einschleusen des Erbguts zur Virusvermehrung. Die Proteine auf der Virushülle bestehen, wie unter anderem in Kapitel 11 beschrieben, aus verketteten Aminosäuren, die letztendlich eine genau definierte dreidimensionale Struktur einnehmen. So ist auch die korrekte Struktur der »Spikes« für ein erfolgreiches Eindringen in die Wirtszelle und die Vermehrung des Virus unerlässlich.

Abbildung 12.5: Globale Verbreitung der Mutation D614G in den Oberflächenproteinen des Coronavirus



Die von WissenschaftlerInnen festgestellte Veränderung der »Spikes« im Zeitraum von Dezember 2019 bis April 2020 wurde durch eine Mutation im Genom des Virus verursacht und zeigte sich in dem Austausch einer einzigen Aminosäure. Es wurde folglich im Bauplan des Virus lediglich an einer Stelle ein Baustein ausgetauscht, sodass anstatt der Aminosäure Asparat neuerdings die Aminosäure Glycin in das Protein eingebaut wurde. Die Struktur der Oberflächenproteine veränderte sich. BiologInnen benannten die Mutation nach der nummerierten Position der Mutation in der Aminosäurekette und den betroffenen Aminosäuren »D614G« (»D« ist die Kurzschreibweise von Asparat, »G« für Glycin). Da das Coronavirus mit dieser neuen Mutation bereits im April weltweit nachgewiesen werden konnte, sind sich WissenschaftlerInnen einig, dass die Mutation positive Folgen für das Virus hatte. Der neue Virusstyp war nun entsprechend der Postulate Charles Darwins besser angepasst und stellte, so vermuten Forschergruppen, eine leichter übertragbare Form von SARS-CoV-2 dar. Konkret bestehen die Vorteile des Austausches der Aminosäure in den

Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

Oberflächenproteinen und der somit leicht veränderten Struktur der »Spikes« in einem leichteren Eintritt der Viren in die Wirtszellen. Dem Coronavirus wird es somit vereinfacht, eine Vielzahl an Wirtszellen zu befallen und sich schneller zu vermehren.

Wenngleich die Wissenschaft derzeit noch keinerlei gesicherte Aussagen über eine mögliche Abschwächung des Coronavirus treffen kann, ist sicher, dass auch SARS-CoV-2 den biologischen Prinzipien der Evolution folgt. Von zahlreichen bekannten Viren, wie zum Beispiel den Influenzaviren, die Jahr für Jahr Grippewellen auslösen, sind umfassende Veränderungen im Bauplan der Viren bekannt. Dies hat beispielsweise zur Folge, dass Grippeimpfungen stetig an die neuen Formen der Influenzaviren angepasst werden müssen und der Impfschutz jährlich aufgefrischt werden sollte.

Bereits jetzt sind auch beim Coronavirus bekannte Mutationen aufgetreten, die sich unter anderem in dem verbesserten Befall von Wirtszellen äußern und weltweit Ausbreitung finden. Doch nicht alle Mutationen sind gewinnbringend, sodass eine Vielzahl an Veränderungen in einer schlechter angepassten Virusform resultieren und sich nicht durchsetzen werden. Es wird mit großer Sicherheit auch in Zukunft neue Formen von SARS-CoV-2 geben, die für eine verbesserte Verbreitung sorgen und im Regelfall unter evolutionären Gesichtspunkten in einer verringerten Virulenz münden werden. Diese Vermutungen basieren aber größtenteils auf bisherigen Erkenntnissen der Virologie. Der aktuelle Forschungsstand des neuen Coronavirus ist noch sehr jung, sodass weitere Untersuchungen zwingend notwendig sind.

Quellen:

- Klostermann, R. (2020, 18. August). Experte macht Hoffnung: Das Virus wird schwächer. *BILD-Plus*. Abgerufen von <https://www.bild.de/bild-plus/angeber/wissenschaft/angeber/coronavirus-wird-schwacher-72444890.view-conversion.tol.ogin.bild.html>
- Krawczyk, K. (2020, 28. August). Markus Söder lässt Maischberger abprallen – Virologe warnt. *Die-Plus*. Abgerufen von <https://www.ike-online.de/haber/forscher/soeder-maischberger-ard-talk-streck-id230266132.html>
- Korber, B., Fischer, W. M., Gnanakaran, S., Yoon, H., Theiler, J., Abfalterer, W., Hengartner, N., Giorgi, E. E., Bhattacharya, T., Foley,

Kapitel 12 | Wird das Coronavirus im Laufe der Zeit schwächer?

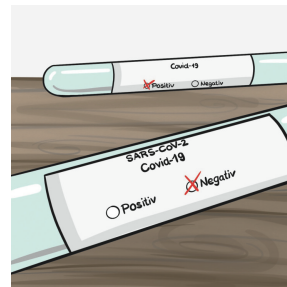
B., Haste, K. M., Parker, M. D., Partridge, D. G., Evans, C. M., Freeman, T. M., de Silva, T. L., on behalf of the Sheffield COVID-19 Genomics Group, McDanal, C., Perez, L. G., Tang, H., Moon-Walker, A., Whelan, S. P., La Branche, C. C., Sapphire, E. O., Montefiori, D. C. (2020). Tracking Changes in SARS-CoV-2 Spike: Evidence that D614G Increases Infectivity of the COVID-19 Virus. *Cell*, 182(4), 812-827.e19. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.06.043>

Yurkovetskiy, I., Wang, X., Pascal, K. E., Tomkins-Tinch, C., Nyalile, T., Wang, Y., Baum, A., Diehl, W. E., Dauphin, A., Carbone, C., Veinotte, K., Egri, S. B., Schaffner, S. E., Lemieux, J. E., Munro, J., Rafique, A., Barve, A., Saberi, P. C., Kyrtatos, C. A., Dudkina, N., Shen, K., Luban, J., Structural and Functional Analysis of the D614G SARS-CoV-2 Spike Protein Variant. *Cell*(2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.09.032>.

Grubaugh, N. D., Hanage, W. P. & Rasmussen, A. L. (2020). Making Sense of Mutation: What D614G Means for the COVID-19 Pandemic Remains Unclear. *Cell*, 182(4), 794-795. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2020.06.040>

Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es Infizierte gibt

13



Titel wie »Neue Pannen in Bayern mit Corona-Tests und Masken« oder »Pannen bei Corona-Tests in Bayern – Keine Zeit für ewigen Rückbau« zielen Ende August Berichte vom Spiegel und der taz. Mit der Einführung der Testpflicht für Reisende/kehrInnen aus Risikogebieten ab dem 08. August 2020 nahm die Anzahl der durchgeführten Tests stark zu. Dies führte vielerorts zur zwischenzeitlichen Überlastung von Laboren und somit zu Fehlern und Verzögerungen in der Datenermittlung. Die Situation hat sich nach der Einführung der Testpflicht in wenigen Wochen laufend verbessert. Inzwischen könn-

Kapitel 13 | Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

nen in Deutschland wöchentlich über eine Millionen Tests durchgeführt und ausgewertet werden. Das Testen auf das neuartige Coronavirus ist ein essentieller Bestandteil im Kampf gegen die Corona-Pandemie. Durch das Testen können Anzahl und Verteilung von infizierten Personen in Deutschland schnell und präzise erfasst werden, wodurch Infektionsketten erkannt und unterbrochen werden können. So soll das Gesundheitssystem vor einer Überlastung geschützt werden.

Bevor die Testverfahren näher betrachtet werden, stellen sich jedoch zunächst noch einige Fragen: Wer und wann wird getestet? Wie wird getestet?

Ob eine Kontrolle auf das neuartige Coronavirus durchgeführt wird, hängt jedoch von vielen verschiedenen Faktoren ab. Daher ist das zielgerichtete Vorgehen bei deren Anwendung essentiell. In Deutschland werden aus diesem Grund »nur« Personen aus folgenden Gruppen getestet (Stand November 2020):





-  Personen mit akuten, für COVID-19 typischen Symptomen.
-  Kontaktpersonen, also Personen, die mit einer positiv-getesteten Person Kontakt haben oder hatten, beispielsweise Mitglieder desselben Haushalts.
-  Alle Bewohner von Betreuungseinrichtungen, Patienten und Personal eines Krankenhauses oder Ähnlichem, wenn es in diesem einen bestätigten COVID-19-Fall gab. Das Personal sollte zudem regelmäßig getestet werden.
-  Bei Ausbrüchen in Gemeinschaftseinrichtungen wie Kindergärten, Schulen, Justizvollzugsanstalten, Notunterkünften, etc. sollten sich Personen in den Einrichtungen testen lassen.

Abbildung 13.1: Kategorien von zu testenden Personen

Die wohl am häufigsten im Zusammenhang mit der Testung auf das Coronavirus genannten Nachweisverfahren sind der Polymerase-Kettenreaktions-Test (kurz PCR-Test für Englisch *Polymerase Chain Reaction*) und der Antikörpertest. Während beide Tests seit vielen Jahren integraler Bestandteil biologischer und medizinischer Forschung sind, kommt in letzter Zeit immer öfter Kritik an den Testverfahren auf. Den PCR-Tests wird unterstellt, dass sie nicht aussagekräftig seien, da sie viel zu viele falsch-positive Ergebnisse bringen würden. Dies bedeu-

Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

ter, dass bei einer Erhöhung des Testaufkommens anteilig mehr Personen fälschlicherweise als positiv getestet werden würden, obwohl sie nicht mit dem Virus infiziert sind. Dadurch läge die Zahl der positiv Getesteten deutlich höher als die tatsächliche Zahl der Infizierten. Der Grund hierfür sei, so die Kritiker, dass der PCR-Test nicht nur das für die COVID-19 Pandemie verantwortliche Virus SARS-CoV-2 nachweisen würde, sondern unspezifisch verschiedene Virusinfektionen ermittelte. Darüber hinaus sei ein Anstieg der Infektionszahlen lediglich auf ein gestiegenes Testaufkommen, nicht aber auf einen gestiegenen Anteil tatsächlich Infizierter zurückzuführen. Wie die am häufigsten eingesetzten Verfahren ablaufen, wie genau oder ungenau die Tests wirklich sind und welche Grenzen und Möglichkeiten sie haben, wird in diesem Kapitel erläutert.

Eine Methode, das Virus nachzuweisen, ist das PCR-Verfahren. Um mit dem PCR-Verfahren einen direkten Test auf das Coronavirus durchführen zu können, muss von den zu testenden Personen Probenmaterial entnommen werden. Um eine Probe zu erhalten, wird ein steriler Abstrichröhrchen, der nach dem Abstrich verschlossen und transportiert werden kann, benötigt.



Abbildung 13.2: Entnahme einer Probe von der Rachenhinterwand durch die Nase

Mit dem Abstrichröhrchen werden Zellen der oberen Schleimhautschicht an der Rachenhinterwand entnommen. Dazu wird der Abstrichröhrchen durch den Mund oder tief durch die Nase eingeführt. Nach dem Einführen des Röhrchens wird mit wenig Druck an der Schleimhaut der Rachenhinterwand gerieben, um Zellen abzutragen und auf den Tipfer zu geben. Die Entnahme erfolgt bei Verdacht auf eine Infektion durch einen Rachenabstrich, da sich das Virus in der ersten Woche

Kapitel 13 | Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

besonders dort vermehrt und somit eine hohe Virenkonzentration vorfinden ist. Die hohe Virenkonzentration ist essentiell für eine optimale Testung. In der zweiten Woche des Krankheitsverlaufes ist das Virus in hoher Konzentration vor allem in der Lunge vorhanden und die Menge an Viren im Rachen ist stark verringert. Eine Alternative stellt also die Schleimprobe aus der Lunge dar. Bei dem auch Sputumprobe genannten Verfahren wird abgestaubtes Material untersucht. Die entnommenen Proben werden anschließend gesammelt, gekühlt gelagert und zur Auswertung in ein Labor transportiert.

Mit der Probe wird im Labor anschließend ein PCR-Test durchgeführt. Durch den PCR-Test kann das virale Erbgut des Coronavirus, sofern es in der Probe vorhanden ist, vervielfältigt und somit nachgewiesen werden. So kann überprüft werden, ob die getestete Person aktuell das Coronavirus in sich trägt, also ob eine Infektion vorliegt.

PCR-Tests sind seit ihrer Erfindung in den 1980er-Jahren eine der wichtigsten molekularbiologischen Methoden. Die Polymerase-Kettenreaktion wird dann angewendet, wenn Erbgut in Form von DNA vervielfältigt werden muss. Prominente Beispiele für das Anwenden der PCR sind die Vervielfältigung von DNA-Spuren an einem Tatort, der Vaterschaftstest oder aber das Aufdecken von Erbkrankheiten. Die PCR wird dazu genutzt, um Erbgut, welches meistens nur in sehr geringen Mengen vorliegt, gezielt zu vervielfältigen, um es anschließend sichtbar machen zu können. Die PCR kann auch zur Vervielfältigung von viralem Erbgut verwendet werden, wofür allerdings zwei zusätzliche Schritte vonnöten sind:

Um das Erbgut des Virus freizulegen, muss zunächst das Kapsid, die Proteinhülle des Virus, aufgebrochen werden. Dies geschieht mit sogenannten Proteasen – Enzymen, die in der Lage sind, Proteine zu zerstören. Diese lösen das Kapsid auf und setzen so das Erbgut frei. Bevor die eigentliche PCR stattfinden kann, muss noch ein zweiter Schritt vollzogen werden. Da das virale Erbgut des Coronavirus in Form der sogenannten Ribonukleinsäure (RNA) vorliegt, eignet es sich nicht für die PCR. Für diese muss das Erbgut als sogenannte Desoxyribonukleinsäure (DNA) vorhanden sein. Mithilfe des Enzyms Reverse Transkriptase (RT) wird die RNA daher in die DNA umgewandelt. Dies lässt sich modellhaft wie eine Übersetzung in eine andere Sprache vorstellen. Die im Erbgut enthaltenen Informationen bleiben die gleichen, es bedarf lediglich einer anderen Methode, diese zu lesen und zu verstehen. Aufgrund der Übersetzung von der RNA in

Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

die DNA, die bei der gewöhnlichen PCR nicht von Nöten ist, wird diese Variante als Reverse-Transkriptase-PCR oder kurz RT-PCR bezeichnet.

Da das virale Erbgut in Form der DNA umgeschrieben wurde, kann es nun in der eigentlichen PCR vervielfältigt werden. Dies geschieht in einem sogenannten Thermocycler. Thermocycler sind Laborgeräte, die bestimmte Temperaturen genau einstellen und verschiedene Temperaturstufen zyklisch wiederholen können, was für diese Methode unabdingbar ist. Die PCR selbst läuft in einem dreischrittigen Prozess ab, bei dem jeder Schritt bei einer spezifischen Temperatur abläuft. Da die DNA als Doppelstrang vorliegt (Abbildung 13.3), in welchem sie nicht weiter genutzt werden kann, muss sie im ersten Schritt in zwei Einzelstränge zerlegt werden. Dieser Schritt läuft bei ungefähr 95 °C ab und wird »Schmelzen« (Denaturierung) genannt.

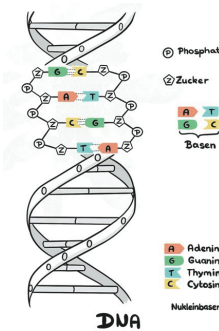


Abbildung 13.3: Aufbau der DNA. Die beiden Stränge lagern sich in Form einer Doppelhelix zum DNA-Doppelstrang zusammen.

Kapitel 13 | Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

In einem zweiten Schritt kann nun an die einzelnen DNA-Stränge ein Primer angelagert werden. Der Primer bindet an eine für das Coronavirus spezifische Stelle im Erbgut und kann nicht am Erbgut anderer Viren oder anderer Organismen binden. Auf diese Weise kann gewährleistet werden, dass im weiteren Verlauf der PCR nur das Erbgut des Coronavirus vervielfältigt wird. Aus diesem Grunde ist der PCR-Test für das Coronavirus spezifisch. Der Primer besteht selbst aus einer kurzen Abfolge von DNA-Bausteinen (Nukleotide) und dient als Startpunkt für die Vervielfältigung. Der zweite Schritt wird als »Anlagerung« (Annealing) bezeichnet und findet zwischen 55 und 65 °C statt.

Für den dritten Schritt wird ein Enzym benötigt, welches als Polymerase bezeichnet wird (daher der Name Polymerase-Kettenreaktion). Es bindet an den Primer und führt auf dem DNA-Strang wie auf einer Schiene entlang. Dabei setzt die Polymerase DNA-Bausteine so an den Einzelstrang, dass wieder ein DNA-Doppelstrang entsteht. Dieser stellt nun eine exakte Kopie des ursprünglichen Doppelstrangs dar. Das Erbgut wurde auf diesem Wege erfolgreich verdoppelt. Der dritte Schritt wird als »Verlängerung« (Elongation) bezeichnet und läuft bei ungefähr 70 °C ab.

Im Folgenden kann der Prozess von vorne ablaufen. Zunächst werden die Doppelstränge aufgetrennt, dann können Primer angelagert und schließlich der DNA-Strang durch die Polymerase »kopiert« werden. Die Schritte werden dabei lediglich durch die korrekte Einstellung der Temperaturen durch den Thermocycler reguliert.

Da in jedem Zyklus das Erbgut verdoppelt wird, wurden nach zehn Zyklen von einem DNA-Doppelstrang bereits 1024 Kopien angefertigt. Nach 20 Zyklen liegen sogar schon 1.048.576 Kopien des Virus-erbgutes vor. In den meisten Fällen werden zwischen 30 und 40 Zyklen durchgeführt, bis genug Erbmateriale für eine weitere Untersuchung vorhanden ist. Der allgemeine Ablauf der Polymerase-Kettenreaktion wird in Abbildung 13.4 verdeutlicht.

Nachdem das Erbgut des Coronavirus (sofern es in der Probe vorliegt) vervielfältigt wurde, muss es anschließend sichtbar gemacht werden. Dies ist strenggenommen kein Bestandteil der PCR selbst, findet aber zusammen mit dem Verfahren als sogenannter PCR-Test Einzug. Zu dem Erbgut wird nun ein Farbstoff gegeben, der nur an DNA binden kann. Wird dieser Farbstoff mit UV-Licht beleuchtet, leuchtet er rötlich (Fluoreszenz). Befinden sich in der zu untersuchenden Probe Coronaviren, so wurde ihr Erbgut durch die PCR vervielfältigt und

140

Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

kann nun durch UV-Licht sichtbar gemacht werden. In einer Probe, in der keine Coronaviren enthalten sind, kann also auch kein Erbgut des Coronavirus vervielfältigt worden sein und dementsprechend nicht sichtbar gemacht werden. Wie bereits erwähnt, ist dies »Verdienst« der eingesetzten Primer: Sie binden ausschließlich an die DNA, die aus der RNA von SARS-CoV-2 übersetzt wurde. Da ohne die Primer eine Vervielfältigung nicht möglich ist, sind falsch positive Ergebnisse eine absolute Ausnahme.

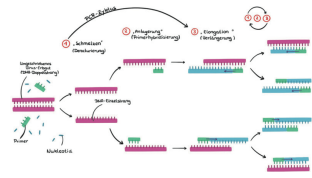


Abbildung 13.4: Schematischer Ablauf der Polymerase-Kettenreaktion

Dieses Verfahren nimmt derzeit etwa vier bis fünf Stunden in Anspruch. Hierzu wird noch die Transportzeit ins Labor, die Vorbereitungszeit im Labor und die Zeit zur Übermittlung der Daten nach der Auswertung addiert. Das Ergebnis liegt insgesamt meistens innerhalb von 24 Stunden vor.

SARS-CoV-2 UND SARS-CoV-1:

Als Coronaviren werden strenggenommen nicht nur die Viren bezeichnet, die für die COVID-19-Pandemie verantwortlich sind. Vielmehr stellen die Coronaviren eine Gruppe von Viren dar, die zwar eng miteinander verwandt sind und daher auch ähnliche Krankheiten auslösen, aber eben nicht exakt gleich sind. So gehört zur Familie der Coronaviren auch das Virus SARS-CoV-1, das in den Jahren 2002 und 2003 eine weltweite Epidemie auslöste. Das Virus, das COVID-19 auslöst, wird als SARS-CoV-2 bezeichnet. Da seit Beginn der Pandemie vereinfacht von »Corona« oder dem »Coronavirus« gesprochen wird, ist klar, dass zumeist SARS-CoV-2 gemeint ist. Für eine genauere Betrachtung – zum Beispiel um



141

Kapitel 13 | Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

zwischen verschiedenen Coronaviren zu unterscheiden – kann es allerdings von Nöten sein, das Virus mit seinem vollständigen Namen SARS-CoV-2 zu bezeichnen. SARS-CoV-2 heißt dabei ausgeschriebenes *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2*.

Ein weiteres Testverfahren stellen die Antikörpertests dar, die hier am Beispiel des ELISA-Verfahrens (Enzyme-linked Immunosorbent Assay) erklärt werden. Antikörpertests sind indirekte Labortests. Das heißt, dass nicht das Virus direkt nachgewiesen wird, sondern die Antikörper, also Abwehrstoffe, die der Körper gegen das Virus bei einer Infektion ausbildet. Somit lässt sich eine COVID-19-Erkrankung frühestens zwei Wochen nach der Infektion nachweisen, da die Ausbildung der Antikörper mindestens so lange benötigt. Die Antikörpernachweise dienen aktuell vor allem der Untersuchung von Infektionsketten und dem Fortschritt des Verarbeitungsgrades des Coronavirus in der Bevölkerung. Um diese Antikörper nachweisen zu können, muss eine Blutprobe der betroffenen Person in einem Labor untersucht werden.

Erkrankt ein Mensch an COVID-19, bildet das Immunsystem im Verlauf der Krankheit spezifische Antikörper gegen das Coronavirus aus. Die Antikörper helfen, die Krankheit zu bekämpfen. Auch nach dem Ende der Erkrankung bleiben die spezifischen Antikörper im Blut des genesenen Menschen, um eine erneute Infektion direkt bekämpfen zu können. Die gebildeten Antikörper reagieren ausschließlich mit den Viren, gegen deren Bekämpfung sie gebildet wurden. Dies bedeutet, dass nur Personen, die mit dem Coronavirus infiziert sind oder waren, spezifische Antikörper für dieses Virus besitzen. Genau das macht sich das ELISA-Verfahren zunutze.

Beim ELISA-Verfahren werden zunächst Antigene auf einer Platte ausgetragen. Als Antigene werden die Proteine auf der Hülle von Viren (oder anderen Krankheitsregenern und Allergenen) bezeichnet, an die Antikörper spezifisch binden. Im Falle des ELISA-Verfahrens zum Nachweis von Coronaviren (oder genauer von SARS-CoV-2) werden Antigene genutzt, die genau und ausschließlich so auf der Oberfläche von SARS-CoV-2 vorkommen. Zu dieser mit Antigenen bestückten Platte wird in einem zweiten Schritt die Blutprobe der zu untersuchenden Person gegeben. Enthält diese Antikörper für das Coronavirus, binden diese fest an die Antigene auf der Platte. Die Platte wird nun gründlich ausgewaschen, um alle Bestandteile, die nicht fest an die

142

Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

Antigene gebunden haben, zu entfernen. Dazu gehören beispielsweise auch andere Antikörper, die gegen andere Krankheiten wie die Grippe oder andere Coronaviren (wie zum Beispiel SARS-CoV-1) wirksam sind. Anschließend wird ein Nachweistoff (Substrat) hinzugegeben, welcher an die Antikörper binden kann. Nur wenn dieser Nachweistoff an Antikörper binden kann, wechselt er seine Farbe. Durch diesen Farbwechsel kann also eindeutig die Anwesenheit von Antikörpern nachgewiesen werden (Abbildung 13.5). Da nur bei Personen, die mit dem Coronavirus infiziert waren, noch Antikörper auf der Platte vorhanden sein können, findet ein Farbwechsel auch nur bei diesen Proben statt. Bei nicht infizierten Personen ändert sich die Farbe hingegen nicht.

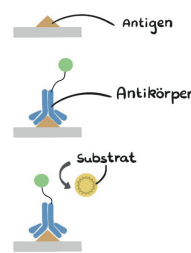


Abbildung 13.5: Schematischer Ablauf des ELISA-Verfahrens

Ein drittes Testverfahren stellt der sogenannte Antigenestest dar. Dieses Verfahren befindet sich aktuell jedoch noch in der Erprobungsphase. Der Test basiert wie der PCR-Test auf einem direkten Erregernachweis. In dem Verfahren sollen Proteine (Antigene) auf der Virusoberfläche nachgewiesen werden. Hierfür werden ebenfalls Proben von der Rachenhinterwand entnommen. Der Test selbst kann schnell und einfach durchgeführt werden. Das Probenmaterial wird auf den (Schnell-)Teststreifen gegeben und liefert innerhalb kurzer Zeit ein

143

Kapitel 13 | Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

Ergebnis. Das Verfahren ist jedoch nicht so zuverlässig wie die laborbasierten Testmethoden des PCR-Tests und des Antikörpertests. Aktuell wird diese Methode vor allem in der Forschung und im Rahmen von Studien eingesetzt. Virologen zeigen sich aber zuversichtlich, dass die Tests mit fortlaufender Entwicklung eine höhere Sensitivität und Spezifität erreichen werden. Die Antigentests könnten nach hinreichender Validierung und bei Erreichen der benötigten Leistungsfähigkeit ein guter Zusatztest zu der PCR-Diagnostik sein. Auch die Dauer bis zum Erhalt der Diagnose könnte dadurch stark verringert werden.

Aktuell werden von verschiedenen Firmen Antikörpertests auf das Coronavirus für Zuhause angeboten. Diese Tests sind jedoch noch nicht hinreichend auf ihre Wirksamkeit geprüft. Bisherige Studien zeigen große Unterschiede in der Wirksamkeit der angebotenen Sets. Um als aussagekräftig eingestuft zu werden, müssen die Tests für Zuhause einige Gütekriterien erfüllen. Die wichtigsten Testkriterien sind die Spezifität und die Sensitivität. Die Spezifität misst die Genauigkeit eines Testes, also ob alle nicht infizierten Personen auch als nicht infiziert erkannt werden. Dieser Fall nennt sich »richtig negativ«. Wenn eine nicht infizierte Person fälschlicherweise positiv getestet wird, wird dies »falsch positiv« genannt. Die Sensitivität misst die Genauigkeit, ob infizierte Personen auch als infiziert erkannt werden. Dies wird als »richtig positiv« bezeichnet. Wird eine infizierte Person negativ getestet, wird dies »falsch negativ« genannt (Tabelle 13.1). Je höher die Spezifität und je höher die Sensitivität, desto bessere Ergebnisse liefert das Testverfahren.

Tabelle 13.1: Mögliche Ergebnisse von Testverfahren

	Infiziert	Nicht infiziert
Test positiv	Richtig positiv	Falsch positiv
Test negativ	Falsch negativ	Richtig negativ

Bei einigen der bisher zugelassenen ELISA-Verfahren werden Spezifitäten von bis zu 99 % erreicht. Das heißt, dass von 1000 getesteten nicht Infizierten 990 auch als nicht infiziert erkannt werden. Die Sensitivität hingegen ist jedoch sehr variabel und vor allem vom Zeitpunkt der Probenentnahme abhängig. Wird die Probe beispielsweise eine Woche nach der Infektion entnommen und untersucht, kann die Sensitivität für einen Antikörpertest sehr gering sein, da häufig noch keine oder nur sehr wenige Antikörper gebildet wurden. Daher werden viele Infizierte nicht als solche erkannt, also falsch negativ getestet. Wird die

Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

Probe drei Wochen nach der Infektion entnommen und untersucht, ist die Menge an richtigen Ergebnissen wesentlich höher. Zu diesem Zeitpunkt ist die Antikörper-Menge sehr hoch und somit erreicht das Verfahren eine sehr hohe Genauigkeit.

Die Sensitivität und Spezifität des PCR-Verfahrens werden aktuell noch in verschiedenen Studien genau untersucht. Muss eine Person aufgrund eines direkten Kontaktes (oder aus anderen Gründen) in Quarantäne, werden inzwischen zumeist zwei PCR-Tests durchgeführt, sollte der erste negativ sein. Dadurch erhöht sich die Spezifität des Tests drastisch. Angenommen, die Spezifität eines PCR-Tests liege bei 99 %, so werden 990 von 1000 nicht infizierten Personen richtig negativ getestet. Dies lässt sich durch eine Rechnung zeigen. Wichtige Grundlage dieser Rechnung ist, dass Prozentzahlen aus mathematischer Sicht als Dezimalzahl zwischen 0 und 1 dargestellt werden. Beispielsweise entsprechen 50 % daher der Dezimalzahl 0,5. In diesem Falle ist zu beachten, dass 99 % der Tests richtig ausgewertet werden, was im Gegenzug bedeutet, dass 1 % der Tests falsch ausgewertet werden. Dies entspricht der Dezimalzahl 0,01. Um zu ermitteln, wie viele Personen richtig getestet werden, muss daher die Anzahl der falsch getesteten von der Gesamtzahl der Testpersonen abgezogen werden.

$$1000 - (0,01 \times 1000) = 990$$

Werden zwei Tests pro Person durchgeführt, multiplizieren sich die Spezifitäten, sodass die Rechnung nun wie folgt lautet:

$$1000 - (0,01 \times 0,01 \times 1000) = 1000 - (0,01^2 \times 1000) = 999,9$$

Dies bedeutet, dass von 1000 getesteten Personen über 999 richtig negativ getestet werden.

Verschiedene wissenschaftliche Studien zeigen jedoch ein Auftreten falsch positiver Testergebnisse mit einer Wahrscheinlichkeit von ungefähr 2,3 % (die Spezifität liegt also bei 97,7 %). Werden nun 1000 nicht infizierte Personen doppelt getestet, ergibt sich folgende Rechnung:

$$1000 - (0,023^2 \times 1000) = 999,5$$

Daraus lässt sich schließen, dass auch mit einer Spezifität von 97,9 % bei doppeltem Testen von 1000 nicht Infizierten über 999 richtig negativ getestet werden.

Kapitel 13 | Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

Das wohl jedoch ausschlaggebendste Kriterium für ein richtiges Ergebnis eines Tests sind die korrekte und fachmännische Durchführung und Verwendung der richtigen Materialien. Die Tests sollten beispielsweise in Testzentren für COVID-19 von dafür ausgebildetem Fachpersonal durchgeführt werden. Schon beginnend mit der Probenentnahme können Laien viele Dinge falsch machen. Des Weiteren sind nicht alle Materialsätze ideal zum Durchführen der Tests. Auch hier kann schon die Wahl des Abstrichpuffers das Testergebnis beeinflussen, da diese die Viren beim Abstrich verschieden stark aufzunehmen können. Daher sollte auch aus diesem Grund auf das selbstständige Durchführen von Abstrichen verzichtet werden.

Die hohe Spezifität und die hohe Sensitivität der PCR-Tests und Antikörpertests führen dazu, dass die Quote der falsch positiven oder falsch negativen Ergebnisse sehr gering ist. Diese Tests stellen also ein wichtiges Instrument in der Eindämmung und der Bekämpfung der Coronapandemie dar. Durch die Weiterentwicklung und Forschung an den Antigentests steht vielleicht schon bald ein weiteres Testverfahren zur Verfügung, das das Testen auf das Coronavirus stark erleichtern würde.

Quellen:

- NDR Info (2020). Coronavirus-Update. NDR. Abgerufen von <https://www.ndr.de/nachrichten/infocoronaskept174.pdf>
- Robert Koch-Institut (2020). Hinweise zur Testung von Patienten auf Infektion mit dem neuartigen Coronavirus SARS-CoV-2. Robert Koch-Institut. Abgerufen von https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Vorl_Testung_nCoV.html
- Bundesministerium für Gesundheit (2020). Wann und wie werden Tests gemacht. Zusammen gegen Corona. Abgerufen von <https://www.zusammengegenkorona.de/lesetipps/wann-und-wie-werden-tests-gemacht/>
- Gillissen, Adrian (2020). Übersicht zu Sensitivität und Spezifität des SARS-CoV-2-Nachweises mittels PCR. *Praetorio News*, 12, 21-23. doi:10.1007/s15033-020-1912-4
- Corman, V. M., Landr, O., Kaiser, M., Molenkamp, R., Meijer, A., Chu, D. K. W., Blecker, T., Brünink, S., Schneider, J., Schmidt, M. L., Mulders, D. G. J. C., Haagmans, B. L., Van Der Veer, B., Van Den

Durch den PCR-Test werden viel mehr Menschen positiv getestet als es infizierte gibt

Brink, S., Wijsman, L., Goderski, G., Romette, J. L., Ellis, J., Zambon, M., ... Drost, C. (2020). Detection of 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) by real-time RT-PCR. *Eurosurveillance*, 25(3), 1-8. <https://doi.org/10.2807/1560-7917.ES.2020.25.3.2000045>

Xiang, E., Wang, X., He, X., Peng, Z., Yang, B., Zhang, J., Zhou, Q., Ye, H., Ma, Y., Li, H., Wei, X., Cai, P., & Ma, W. L. (2020). Antibody Detection and Dynamic Characteristics in Patients with COVID-19. *Clinical Infectious Diseases: An Official Publication of the Infectious Diseases Society of America*. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa461>



Reproduktionszahlen sind out... 14

Die Reproduktionszahl beschreibt, wie viele Menschen eine infizierte Person im Mittel ansteckt. Sie kann nicht alleine als Maß für Wirksamkeit/Notwendigkeit von Maßnahmen herangezogen werden. Wichtig sind außerdem u.a. die absolute Zahl der täglichen Neuinfektionen sowie die Schwere der Erkrankungen.
(Robert Koch-Institut, Oktober 2020)

Sinkende COVID-19-Infektionszahlen ließen die Hoffnung zu, dass Deutschland im Sommer 2020 das Schlimmste geschafft habe: Schulen und Kindergärten, aber auch Altenheime würden wieder geöffnet, Familien dürfen sich wieder treffen, Freunde konnten sich wieder besuchen, Urlaub und Sport waren wieder begrenzt möglich. Erste größere Veranstaltungen in Sport und Kultur dürfen nach dem Lock-

149

Kapitel 14 | Reproduktionszahlen sind out...

down wieder stattfinden. Trotz dieser Lockerungen stecken sich nur wenige mit dem Coronavirus an – abgesehen von einigen lokal begrenzten Ausbrüchen. Seit August aber steigt landesweit die Zahl der Neuinfektionen deutlich. Es treten bundesweit zahlreiche COVID-19 bedingte Infektionen auf: Viele dieser Ausbrüche werden insbesondere im Zusammenhang mit Feiern im Familien- und Freundeskreis beobachtet sowie beispielsweise in Alten- und Pflegeheimen, Krankenhäusern, bei religiösen Veranstaltungen, in Sammelunterkünften für AsylbewerberInnen, in fleischverarbeitenden Betrieben und in Verbindung mit Reisen beziehungsweise ReiserückkehrerInnen, die in vielen Bundesländern für einen Anstieg der Corona-Infektionen gesorgt haben. Seit Ende August nimmt aber der Anteil der RückkehrerInnen unter den positiv Getesteten wieder ab.

Die gefürchtete zweite Welle ist seit Oktober 2020 im Anmarsch. Und wieder rücken die Lageberichte des Robert Koch-Instituts in den Fokus des öffentlichen Interesses und beschreiben mit der Bekanntheit des R-Wertes, der 7-Tage Inzidenz und der aktiven Fälle sowie weiteren Kennzahlen wie der Übersterblichkeitsrate das Infektionsgeschehen.

AKTIVE FÄLLE:
Die Zahl der Menschen, die aktuell an COVID-19 erkrankt sind. Sie ergibt sich aus der Gesamtzahl aller COVID-19-Infektionen, davon werden die Zahl der Verstorbenen und die Anzahl der wieder gesunden Menschen subtrahiert. Die Anzahl der wieder Gesunden ist allerdings nicht meldepflichtig und wird abgeschätzt.

NEUINFESTUNGEN:
Anzahl der Menschen, die sich neu angesteckt haben. Darunter ist nicht die Gesamtzahl der Krankheitsfälle zu verstehen. Diese Zahl bildet die aktuelle Zahl der bestätigten COVID-19-Fälle ab. Sie ist wichtig für die Ermittlung der 7-Tage-Inzidenz.

ÜBERSTERBLICHKEIT:
Die Übersterblichkeit kennzeichnet die Zahl an Menschen, die mehr verstorben sind als statistisch zu erwarten ist. Sie errechnet

150

Reproduktionszahlen sind out...

sich aus der Differenz der Zahl der Verstorbenen zu einem durchschnittlichen Wert der vergangenen Jahre. Die Übersterblichkeit ist wahrscheinlich eine der wenigen Kennzahlen, die im Rückblick zeigen, wie stark das Virus eine Region getroffen hat – das wird aber erst nach einigen Jahren der Fall sein.

Steigt oder sinkt der R-Wert? In den (täglichen) Lageberichten des Robert Koch-Instituts wird unter anderem die **Reproduktionszahl R** verkündet, denn sie gilt als eine wichtige Kenngröße und gibt an, wie viele Menschen ein an beispielsweise COVID-19-Infizierter ansteckt – statistisch gesehen.

Die Reproduktionszahl ist das Ergebnis einer eher komplexen Rechenoperation, weil sie von etlichen Einflüssen abhängig ist. Nur wenn die Zahl der Neuinfektionen niedrig ist, können Kontaktpersonen schneller ermittelt werden und auch eine ausreichende Anzahl von Intensivbetten vorgehalten werden. Allerdings ist wichtig zu wissen, dass es nicht nur eine, sondern (mindestens) zwei R-Zahlen gibt.

Die **Basisreproduktionszahl R_0** beschreibt den ansteckenden Charakter pauschal. Am Anfang einer Pandemie steht die Basisreproduktionszahl R_0 ein Startwert, und benennt, wie viele Menschen eine infizierte Person ansteckt, wenn

- ▶ niemand aus der Bevölkerung immun ist,
- ▶ kein Impfstoff vorhanden ist
- ▶ keine Schutzmaßnahmen eingeleitet worden sind.

Die mit Abstand größte Basisreproduktionszahl R_0 ist die für Masern: Sie beträgt zwischen 12 und 18 Menschen je Infiziertem (vergleiche

151

Abbildung 14.1:
 R_0 Werte verschiedener Infektionskrankheiten (nach <https://flexikon.doccheck.com/de/Basisreproduktionszahl>), Abgerufen am 11.10.2020.

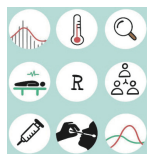
Abbildung 14.1 und Tabelle 14.1), die Masern breiten sich (in der umgimpften Bevölkerung) rasant aus.

Tabelle 14.1:
R₀-Werte: Bei der Spanischen Grippe 1918 lag also der Wert R₀ ähnlich hoch wie bei der COVID-19-Pandemie, bei den Masern aber deutlich höher (Quelle: RKI und Fleckton).

Erkrankung	R ₀
Saisonale Influenza	0,9–2,1
Ebola	1,5–2,5
Grippepandemie 1918/1919 (Spanische Grippe)	2–3
COVID-19	RKI: 3,3–3,8 (Robert Koch-Institut) CDC: 3,8–8,9 (Center of Disease Control and Prevention)
Pocken	6
Kinderlähmung	6
Diphtherie	7
Keuchhusten	14
Masern	12–18

Bei der COVID-19-Pandemie liegt R₀ zwischen 3,3 und 3,8 (siehe Tabelle 14.1). Im Durchschnitt steckt also jeder Infizierte ungefähr 3 bis 4 Menschen an (RKI). Ohne Infektionsschutzmaßnahmen würde die Zahl der Infektionen exponentiell ansteigen und erst dann stoppen, wenn ungefähr 70 % der Bevölkerung immunisiert sind und sich deshalb das Virus nicht mehr weiter verbreiten kann (vergleiche Kapitel 15 zum Thema Simulationen).

Abbildung 14.2:
Kennzahlen rund um R (© Moment RF/Getty Images)



In der Realität hat wird die Basisreproduktionszahl R₀ selten als Richtwert genutzt. Angegeben wird die (berechnete) effektive Reproduktionszahl R (R) und über die Zeit verfolgt. Sie gibt dann das sich verändernde Infektionsgeschehen auf Grundlage der erfassten Daten, aber auch der ergriffenen Maßnahmen wie Home-Office, Altersheim- und Schulschließungen, Zurückfahren der Wirtschaft (Lockdown) wieder. Durch Infektionsschutzmaßnahmen kann die Reproduktionszahl verringert werden. Es gilt:

- Ist die Reproduktionszahl > 1, dann steigt die Anzahl täglicher Neuinfektionen.
- Ist die Reproduktionszahl = 1, dann bleibt die Anzahl täglicher Neuinfektionen konstant.
- Ist die Reproduktionszahl < 1, dann sinkt die Anzahl täglicher Neuinfektionen.

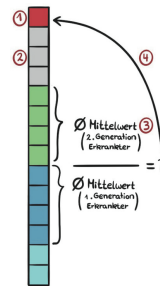


Abbildung 14.3:
1) Die Reproduktionszahl soll an diesem Tag ermittelt werden.
2) Die Anzahl an Infizierten der letzten drei Tage ist sehr unsicher, da hier noch einige Nachmeldungen geringe werden. Sie werden deshalb nicht berücksichtigt.
3) Es werden zwei Mittelwerte der Infizierten über jeweils einen Zeitraum von 4 Tagen gebildet. Die ersten vier Tage bilden die 1. Generation, welche die Infizierten der 2. Generation ansteckt. Das Teil man diese beiden Mittelwerte durcheinander, so erhält man die Reproduktionszahl R.
4) Bei den vorangegangenen Schritten sind stets mit dem Erkrankungsbeginn gerechnet. Daher gilt die ermittelte Zahl R für einen Zeitraum von sechs Tagen, da die Erkrankten erst nach und nach Symptome entwickeln. Die so ermittelte Reproduktionszahl ist somit zum Ermittlungszeitpunkt bereits 8 bis 14 Tage alt.

Die durchaus viel diskutierte Reproduktionszahl R kann – basierend auf aktuellen Zahlen – nach einem statistischen Modell nur mit einer

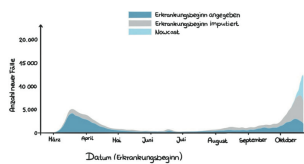
Verzögerung von circa 10 Tagen geschätzt werden. Die Reproduktionszahl R beschreibt das Infektionsgeschehen also nicht ausreichend genau und nicht zeitnah. Um die bestmöglichen Vorhersagen auch im Voraus liefern zu können, wurden sogenannte Nowcasting-Verfahren entwickelt, die mit hoher Aktualisierungsrate erstellt werden (Abbildung 14.4).



NOWCASTING-VERFAHREN:

Ursprünglich kommt dieses Verfahren aus der Meteorologie. Dazu schreibt der Deutsche Wetterdienst DWD auf seiner Homepage: »Um die bestmöglichen Vorhersagen auch für Vorhersagezeiten von Minuten bis zu wenigen Stunden im Voraus liefern zu können, werden sogenannte Nowcasting-Verfahren entwickelt, die auf den zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Beobachtungsdaten basieren und mit hoher Aktualisierungsrate erstellt werden. [...] Sie nutzen die jeweils aktuellen Beobachtungsdaten und extrapolieren die darin enthaltene Information unter Berücksichtigung der Ergebnisse der letzten Vorhersagemodelle in die Zukunft.«

Abbildung 14.4:
Darstellung der von der RKI übermittelten COVID-19-Fälle mit bekanntem Erkrankungsbeginn (blau), bei fehlenden Aussagen über Krankheitsbeginn wird dieser imputiert, das meint aus vorhandenen Werten ermittelt und ergänzt. (grün) und geschätzter Verlauf der noch nicht übermittelten Fälle (Nowcast, hellblau).



Bei SARS-CoV-2 ist das Ziel aller Maßnahmen, die Reproduktionszahl stabil bei beziehungsweise unter 1 zu halten. Das RKI errechnet mit den von den Gesundheitsämtern übermittelten Daten zu den bestätigten Fällen die zeitabhängige Reproduktionszahl. Aus dieser sollen die Schwankungen, die aufgrund einiger weniger Hotspots in Deutschland entstehen, herausgerechnet werden. Da es einen gewissen Meldelag gibt, wird ein statistisches Verfahren, das so genannte

Nowcasting zur Anwendung gebracht. Das Nowcasting erstellt eine Schätzung des Verlaufs der Anzahl von bereits erfolgten SARS-CoV-2-Erkrankungsfällen in Deutschland unter Berücksichtigung des Diagnose-, Melde- und Übermittlungsverzugs. Aufbauend auf dem Nowcasting kann eine Schätzung der zeitabhängigen Reproduktionszahl R durchgeführt werden (vergleiche Abbildung 14.4).

R-Wert und Inzidenz-Wert:

Seit Mai 2020 werden weitere Reproduktionszahlen kommuniziert. Zum einen ist das der so genannte sensitive R-Wert, der zeitnah den Trend der Anzahl von Neuerkrankungen abbildet und auf mögliche Trendänderungen hinweist. Er reagiert empfindlich auf kurzfristige Änderungen der Fallzahlen – was bei lokalen Ausbrüchen geschieht. Dies kann besonders bei insgesamt kleineren Anzahlen von Neuerkrankungen zu verhältnismäßig großen Schwankungen führen. Daher gibt das RKI seit Mai zusätzlich zu diesem sensitiven R-Wert eine weitere, stabilere Reproduktionszahl, den sogenannten 7-Tage-R-Wert an. Dieser Wert bezieht sich auf einen längeren Zeitraum und unterliegt deshalb tagesaktuellen Schwankungen weniger stark. Der 7-Tage-R-Wert bildet Trends zuverlässiger ab, bezieht sich dabei aber auf ein Infektionsgeschehen, das etwas länger zurückliegt als beim bisherigen sensitiven R-Wert, so das RKI. Der sensitive R-Wert bildet also das Geschehen vor 8 bis 12 Tagen ab, der 7-Tage-R-Wert bildet das Infektionsgeschehen weiter zurück liegender Zeit (von 8 bis 16 Tage) ab (Abbildung 14.5).

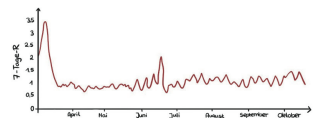


Abbildung 14.5:
Entwicklung der Reproduktionszahl (7-Tage-R-Wert, Stand 8. Oktober 2020) (Deutschlandradio / Andrea Kampmann)

Nicht zu verwechseln mit dem 7-Tage-R-Wert ist die 7-Tage-Inzidenz. Sie gibt die Zahl der Neuinfektionen pro 100.000 Einwohner in den letzten sieben Tagen an und ist ausschlaggebend dafür, ob Maßnahmen zur Eindämmung des Virus ergriffen werden oder nicht.



SIEBEN-TAGE-R-WERT:

Der Wert bezieht sich auf einen längeren Zeitraum und unterliegt daher weniger tagesaktuellen Schwankungen. Er zeigt das Infektionsgeschehen von vor acht bis 16 Tagen.



INZIDENZ:

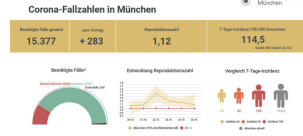
Die Inzidenz (von lateinisch incidere = hineingeraten) ist eine Messgröße und gibt die Anzahl der Neuerkrankungen an einer bestimmten Krankheit in einer definierten Bevölkerungsgruppe während eines bestimmten Zeitraums an.

Eine Häufung von mehr als 35 Fällen gilt nach einer Vereinbarung zwischen Bund und Ländern als kritisch (Signalwert), spätestens bei mehr als 50 Neufällen pro 100.000 Einwohner innerhalb einer Woche soll ein regionaler Lockdown in Betracht gezogen werden. Um diese Raten besser miteinander vergleichen zu können, wird die Zahl der Fälle pro 100.000 Einwohner angegeben. Die 7-Tage-Inzidenz ermöglicht es, aktuelle Hotspots in der COVID-19-Epidemie zu identifizieren und mögliche Risiken für die Bevölkerung besser bewerten zu können. Dazu wird die Zahl der Neufälle der letzten sieben Tage addiert. Die Summe wird durch die Einwohnerzahl geteilt. Dieser Wert wird mit 100.000 multipliziert – ein relativ einfaches Verfahren. So lässt sich errechnen, wie groß die absoluten Zahlen sein müssen, damit die Region an den gefährlichen Wert von 50 heranrückt. Damit ist eine relativ simple Methode gefunden, um das Infektionsgeschehen zu beobachten. Dazu ein Beispiel:

7-Tage-Inzidenz für München:

Die Stadt München gibt den 7-Tage-Inzidenzwert für München am 25. Oktober 2020 mit 114,5 bekannt. Sie entspricht der Anzahl der für München während der letzten sieben Tage neu gemeldeten Fälle pro 100.000 Einwohnern und wird vom zuständigen Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL) für Bayern ermittelt. Um lokale Ausbrüche schneller in den Griff zu bekommen, gilt ein Schwellenwert von 50, der Signalwert liegt bei 35. Weitere Maßnahmen werden ergriffen, sobald der Wert über 100 steigt (Abbildung

14.6. Die Reproduktionszahl liegt bei 1,12, statistisch gesehen stecken 100 Infizierte 112 Menschen neu an.



Das Beispiel zeigt, dass für die Interpretation von R eher weniger die absoluten Werte wichtig sind, sondern ihr Trend. Die Situation ist dynamisch, immer wieder müssen die Daten und ihre Interpretation überprüft und auch angepasst werden. Der R-Wert ist dabei ein Maß für die Entwicklung des Infektionsgeschehens, ist aber schwerer zu berechnen und kann durch wöchentliche Schwankungen verzerrt werden.

Warum gibt das RKI für Deutschland nur einen R-Wert an, nicht für einzelne Städte oder Landkreise? Das ist der Tatsache geschuldet, dass R nicht einfach aus den Meldedaten abgelesen werden kann: Je kleiner die Fallzahlen sind, desto größere Unsicherheiten gibt es bei der Berechnung von R, weshalb der Wert dann stark schwanken kann. Für kleinere Einheiten, in denen aktuell nicht viele Menschen erkrankt sind, lässt sich R kaum seriös berechnen. Vielleicht glaubt mancher, dass die Reproduktionszahl deshalb »out« ist!

Wie wichtig die Reproduktionszahl R zur Beurteilung des Infektionsgeschehens ist, zeigt der Lagebericht des RKIs vom 26. Oktober 2020: Die Reproduktionszahl R ist in Deutschland auf 1,30 gestiegen. Diese Zahl gibt ja an, wie viele Menschen ein Infizierter im Durchschnitt ansteckt – also aktuell im Schnitt 1,3 Menschen. Wie schon gesagt: Ist $R > 1$, so verbreitet sich das Virus exponentiell (vergleiche Kapitel 15). Die Reproduktionszahl R ist also ein Maß dafür, wie sich die Infektionen (regional) entwickeln und zeigt, wie alarmierend die Situation Mitte Oktober 2020 ist – allerdings mit einem gewissen Zeitverzug!

Quellen:

Robert Koch-Institut (2020). SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19). Robert Koch-Institut. Abgerufen von https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html

Robert Koch-Institut (2020). Corona in Zahlen. Allgemeine Informationen und Erklärungen. Robert Koch-Institut. Abgerufen von https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Fallzahlen.html

Robert Koch-Institut (2020). COVID-19-Dashboard. Robert Koch-Institut. Abgerufen von <https://experience.arcgis.com/experience/478220a4c454480a823b17327b26f1d4>

ZEIT Online (2020). Wissen: Coronavirus: Alles zu SARS-CoV-2. zeit.de Abgerufen von <https://www.zeit.de/thema/coronavirus>

Kampmann, A. (2020). Coronavirus in Zahlen. Deutschlandfunk. Abgerufen von https://www.deutschlandfunk.de/coronavirus-in-zahlen-wa-die-neuinfektionen-fuer-die-2897.de.htm?ednam:article_id=472799#reproduktionszahl

Stadt München (2020). Update 26.10.: Entwicklung der Coronavirus-Fälle in München. Nachrichten München. Abgerufen von <https://www.nachrichten-muenchen.com/update-26-10-entwicklung-der-coronavirus-faelle-in-muenchen/1378366>

Eine unberechenbare Zukunft?

15



In die Vergangenheit zu schauen und diese zu bewerten, ist vermeintlich einfach. Dennoch gab es in Folge der Diskussionen über die Notwendigkeit beschlossener Maßnahmen bereits zahlreiche, teils gewaltsame Ausschreitungen in Deutschland. Eine viel schwerer zu beantwortende Frage bezieht sich jedoch nicht auf die Vergangenheit: Wie schaut es in der Zukunft aus? Lassen sich überhaupt Vorhersagen über den weiteren Verlauf der Pandemie und die Notwendigkeit weiterer Maßnahmen treffen?

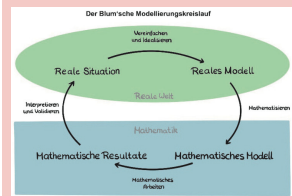
An dieser Stelle kommt die Mathematik ins Spiel. Mithilfe mathematischer Modelle und Simulationen ist es möglich, in die Zukunft zu schauen – zumindest begrenzt.

MATHEMATISCHE MODELLE UND SIMULATIONEN:

Mit mathematischen Modellen werden reale Fragestellungen und Situationen in die Sprache der Mathematik übersetzt, um mithilfe mathematischer Werkzeuge Antworten und Lösungen auf diese



Fragstellungen zu finden. Die mathematischen Resultate werden im Anschluss wieder in Bezug auf die reale Situation interpretiert und bewertet.



Im Rahmen dieses Prozesses kann niemals die gesamte reale Welt in ein mathematisches Modell einbezogen werden – vielmehr wird nur ein Ausschnitt der beobachtbaren, realen Welt vereinfacht in einem realen Modell dargestellt und anschließend in die Sprache der Mathematik übersetzt. Deshalb lassen sich mithilfe mathematischer Modelle zwar Prognosen über die Zukunft machen, jedoch keine eindeutigen Vorhersagen.

Als Simulation wird in diesem Kontext die Anwendung eines mathematischen Modells in einem computergestützten Experiment verstanden, welches ein reales System mit seinen dynamischen Prozessen nachbildet. Simulationen ermöglichen es, verschiedene Faktoren und Bedingungen zu verändern und die Auswirkungen auf das System zu beobachten, um zu Erkenntnissen zu gelangen, welche wiederum auf die Realität übertragen werden können. Mit Simulationen können bereits bekannte Szenarien verstanden, aber auch unbekannt Szenarien prognostiziert werden. So können beispielsweise Wettervorhersagen getroffen, aber auch Verläufe einer Pandemie unter Berücksichtigung der gemachten Vereinfachungen vorausbestimmt werden.

Das SI-Modell zur Beschreibung einer Pandemie:

Das SI-Modell ist das elementarste mathematische Modell zur Beschreibung einer Pandemie. In diesem Modell wird vereinfacht davon ausgegangen, dass es in der Gesamtbevölkerung nur zwei Gruppen (sogenannte Kompartimente) gibt: Nicht-Infizierte S (Susceptible) und Infizierte I (Infected). Aus den Anfangsbuchstaben dieser beiden Kompartimente leitet sich der Name des Modells ab. Durch eine Infektion können Menschen aus dem Kompartiment der Nicht-Infizierten in das Kompartiment der Infizierten übergehen. Das wird in dem folgenden Graphen des Modells durch einen Pfeil dargestellt (siehe Abbildung 15.1).



Abbildung 15.1: SI-Modell einer Pandemie

Eine weitere, vereinfachte Annahme ist, dass jeder Infizierte in einem bestimmten Zeitschritt einen Nicht-Infizierten ansteckt. Die Anzahl der Infizierten verdoppelt sich damit in dieser sogenannten Verdopplungszeit. Am 22. März 2020 (dem Tag, an dem erstmals die erweiterten Leitlinien zur Beschränkung sozialer Kontakte beschlossen wurden) verdoppelte sich die Anzahl der erfassten infizierten Personen in Deutschland entsprechend der Angaben der Johns Hopkins University innerhalb von etwa 3,5 Tagen. Unter diesen Annahmen verlief die Ausbreitung des Coronavirus mit einer zu Anfang infizierten Person wie folgt:

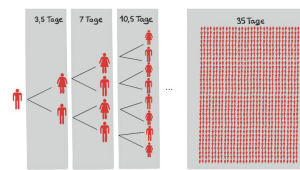


Abbildung 15.2: Exponentielle Ausbreitung des Virus (in Rot dargestellt: infizierte Personen)

Schon nach 10 Schritten, also in 35 Tagen, wären nach diesem Modell 1024 Personen infiziert. Diese Art von Wachstum wird exponentielles Wachstum genannt. Wird die Anzahl der infizierten Personen (in Rot dargestellt) und nicht-infizierten Personen (in Blau dargestellt) über einen längeren Zeitraum berechnet, ergibt sich folgender Verlauf. Nach etwa 115 Tagen wäre die gesamte Weltbevölkerung (etwa 7,8 Milliarden Personen) erkrankt.

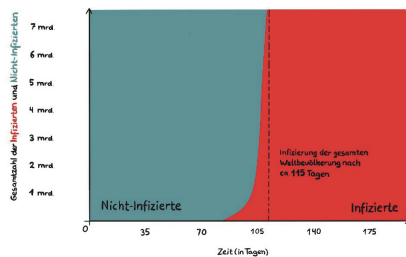
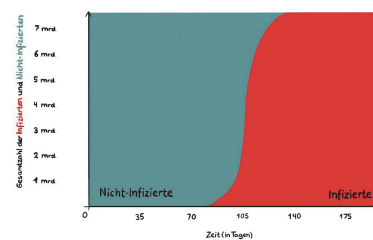


Abbildung 15.3: Verlauf der Pandemie bei einem exponentiellen Wachstum im SI-Modell

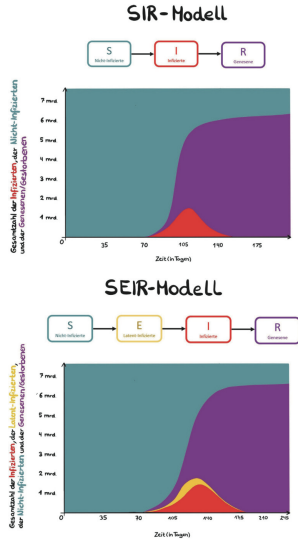


Komplexere Kompartimentmodelle zur Beschreibung einer Pandemie:

Neben nicht-infizierten Menschen S und infizierten Menschen I gibt es darüber hinaus auch das Kompartiment R (Recovered/Removed) der genesenen beziehungsweise gestorbenen Menschen (mit diesen eingeschlossen ergibt sich das SIR-Modell), welche die gemeinsame Eigenschaft haben, keine weiteren Menschen infizieren sowie selbst nicht mehr infiziert werden zu können. Werden zudem die sogenannten latent infizierten Menschen E (Exposed) in die Modellierung einbezogen, welche zwar schon infiziert, aber noch nicht infektiös sind, resultiert das sogenannte SEIR-Modell, in welchem Berechnungen weitaus komplexer sind als hier für das SI-Modell aufgeführt. Ganz wesentlich zur Berechnung der Pandemie-Verläufe dieser beiden Modelle sind beispielsweise die Basisreproduktionszahl R_0 sowie die effektive Reproduktionszahl R_{eff} (siehe Kapitel 14). Im Folgenden sind die Graphen sowie exemplarische Pandemie-Verläufe für beide Modelle dargestellt.

Abbildung 15.4: Verlauf der Pandemie bei einem logistischen Wachstum im SI-Modell

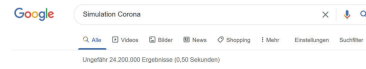
Abbildung 15.5: Verlauf der COVID-19-Pandemie im SIR-Modell und im SEIR-Modell



164

Und auch diese Modelle geben nur eine ungefähre Vorstellung des Pandemieverlaufs, da weitere Bedingungen der realen Welt (zum Beispiel Sterblichkeits- und Immunitätsraten, Krankenhauskapazitäten oder Altersabhängigkeiten) sowie weitere Kompartimente (zum Beispiel Unterscheidung zwischen gestorbenen und genesenen Personen, Schwere der Erkrankung und so weiter) in die Modellierungen einbezogen werden müssen. Deshalb sind die Modelle, welche von der Politik herangezogen werden, um Entscheidungen für die Zukunft zu treffen, deutlich komplexer und differenzierter.

Um den Verlauf der Pandemie bei Einhaltung verschiedener Maßnahmen zu veranschaulichen und zu verstehen, können computerbasierte Simulationen herangezogen werden. In diesen werden verschiedene Szenarien wie zum Beispiel die Schließung von Grenzen oder Kontaktpersonen simuliert.



Im Internet ist eine Vielzahl an Simulationen zur COVID-19-Pandemie zu finden (vergleiche Abbildung 15.6) – an dieser Stelle wird exemplarisch eine Simulation der Universität Hohenheim herangezogen, in welcher der Infektionsverlauf in einer virtuellen Stadt mit etwa 400 BewohnerInnen bei Einhaltung verschiedener Maßnahmen simuliert wird. Ihr liegt ein erweitertes SEIR-Modell zugrunde, in dem die Bevölkerung den folgenden Kompartimenten zugeordnet wird: Nicht-Infizierte, Ausgesetzte (latente oder präsymptomatisch), Infizierte (normal, schwer oder kritisch erkrankt), Genesene oder Verstorbene. Doch welche Schlussfolgerungen für den weiteren Verlauf der Pandemie und die möglichen Maßnahmen lassen sich aus dieser Simulation ziehen? Um diese Fragestellung geht es in dem folgenden, zugegebenermaßen etwas anderen Experiment. Anstelle eines klassischen naturwissenschaftlichen Experimentes steht bei der Überprüfung dieses Mythos eine digitale Simulation im Mittelpunkt.

Abbildung 15.6: Suche nach Simulationen zur COVID-19-Pandemie (Screenshot). Abgerufen von google.de.

165

Digitales Experiment: Das Coronavirus im virtuellen Politiklabor



Bei diesem Experiment nimmst Du die Rolle eines Politikers oder einer Politikerin ein, der/die Entscheidungen für eine virtuelle Stadt treffen muss. In dieser Stadt spielt sich zunächst ein ganz normales Leben ab: Die meisten Erwachsenen gehen morgens zur Arbeit, die Kinder zur Schule und zum Sport. Im Anschluss und am Wochenende werden Geschäfte und Erholungsgebiete besucht. In der übrigen Zeit halten sich die BürgerInnen überwiegend in ihrer Wohnung auf. Nur eine Person, die zu Anfang der Pandemie latent infiziert ist, bringt dieses Leben durcheinander und setzt eine Reihe von weiteren Infektionen in Gang. Du als PolitikerIn kannst mithilfe einer Simulation verschiedene Maßnahmen beschließen und die Auswirkungen auf das Infektionsgeschehen, differenziert nach verschiedenen Altersgruppen, beobachten. Die Simulation läuft jeweils 100 Tage und kann schrittweise beliebig fortgeführt werden. Nimm im Folgenden an, dass die Pandemie nach 500 Tagen durch einen Impfstoff eingedämmt wird (Achtung! Dieser Wert ist willkürlich gesetzt und entspricht nicht zwangsläufig der Realität). Bis dahin liegt die Verantwortung über die Stadt in Deiner Hand.

- Was Du benötigst:
- Ein Smartphone, ein Tablet oder einen PC
 - Internetzugang

Durchführung:

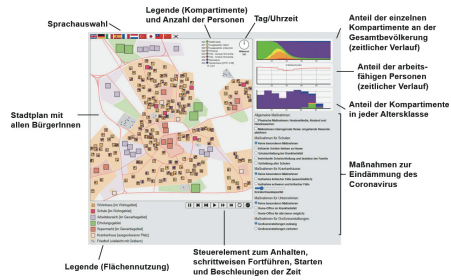
Schritt 1: Kennenlernphase:



Mache Dich als PolitikerIn zuerst mit Deiner virtuellen Stadt und dem Alltagsgeschehen der BewohnerInnen vertraut. Die virtuelle Stadt kannst Du unter folgendem Link besuchen: <https://tms.uni-hohenheim.de/corona>. Über einen Link am Ende der Seite gelangst Du direkt zur Simulation, welche Du mit einem Klick auf die ent-

166

sprechende Flagge in eine Sprache Deiner Wahl übersetzen kannst. Die Simulation ist wie folgt aufgebaut:



Beobachte nun zuerst das Geschehen in der virtuellen Stadt, ohne einzugreifen. Wenn Du die Simulation dafür anhaltst, schrittweise fortführen oder beschleunigen möchtest, kannst Du das Steuerelement im unteren Bereich nutzen. Über dieses Steuerelement kannst Du die Simulation außerdem wiederholen sowie eine neue Simulation mit zufällig ausgewählten, veränderten Startbedingungen (zum Beispiel Anzahl der BewohnerInnen, Altersstruktur, zusammenlebende Personen) starten. Um eine Übersicht über die Simulation, die gesellschaftlichen Zusammenhänge und den Verlauf der Epidemie zu erhalten, können folgende Fragen und Tipps eine Orientierung geben.

Abbildung 15.7: Aufbau der Simulation der Universität Hohenheim (Screenshot von <https://tms.uni-hohenheim.de/corona-modell>, mit eigenen Beschriftungen ergänzt)

167

Kapitel 15 | Eine unberechenbare Zukunft?

1. Welche Gebäude (Wohnhäuser, Supermärkte, Schulen, Arbeitsbereiche, ...) sind in der virtuellen Stadt vorhanden und wann werden diese von den BürgerInnen besucht? Wo befinden sich Krankenhäuser und Friedhöfe, die im weiteren Verlauf der Pandemie wichtig werden?

2. Wie verläuft die Krankheit einer Person, die latent infiziert ist? (Tipp: Skoppe hierfür die Animation nun wieder – die Person wird regelmäßig in das Wohnhaus zurückkehren, sodass Du hier den Verlauf der Krankheit beobachten kannst)

3. Was passiert, wenn sich verschiedene Personengruppen (z. B. infizierte und nicht-infizierte) in einem Gebäude, z. B. einem Wohnhaus, aufhalten? (Tipp: Suche auch hier zuerst eine latent infizierte Person in einem Wohnhaus und beobachte nun, was mit weiteren Personen in diesem Wohnhaus passiert)

4. An welchen Orten ist eine schnelle Verbreitung des Virus besonders wahrscheinlich? (Tipp: Betrachte die Karte und die Zeitstrahlansicht des Stadtplans, um einen Vergleich zur restlichen Stadt eine besonders hohe Infektionsdichte vorliegt)

5. Wie entwickeln sich die Fallzahlen (oberes Diagramm) ohne Dein Eingreifen? Wie hoch ist der Anteil erwerbstätiger Personen (das sogenannte Arbeitsvolumen, mittleres Diagramm) im Laufe der Zeit? Welche Altersgruppen werden überwiegend infiziert, genesen oder sterben (unteres Diagramm)?

6. Wie viele Personen sind nach 100 bzw. 500 Tagen nicht-infiziert, genesen oder gestorben? (Tipp: Die Simulation stoppt nach 100 Tagen! Du kannst sie über das Steuerungsfeld für jeweils weitere 100 Tage weiter laufen lassen. Notiere die Fallzahlen, dann die Endo. Diese eigene Gesundheitspolitik vergleichen und bewerten kannst)

Schritt 2: Probephase

Nachdem Du nun die virtuelle Stadt und das Infektionsgeschehen ohne Durchsetzung von Gegenmaßnahmen beobachten konntest, steht der nächste Schritt an. Du kannst mithilfe der Simulation verschiedene Maßnahmen ausprobieren und die Auswirkungen auf den Verlauf der Pandemie beobachten. Am Anfang ist es übersichtlicher, nur einzelne Maßnahmen zu verändern. Sobald Du die Auswirkungen einzelner Maßnahmen beobachten konntest, kannst Du auch verschiedene Maßnahmen kombinieren. Um die Notwendigkeit und Effektivität der Maßnahmen zu bewerten, können verschiedene Kriterien herangezogen werden, schließlich werden von vielen Interessensgruppen unterschiedliche Herausforderungen an Dich herangetragen. Stell Dir vor, folgende Aussagen erhältst Du von den BürgerInnen in einer Pressekonferenz. Für welchen Kompromiss und welche Maßnahmen entscheidest Du Dich?

Tipp: Du findest den dynamischen Stadtplan und die Diagramme zu unübersichtlich? Völlig verständlich! Du kannst die Simulation bei

168

Digitales Experiment: Das Coronavirus im virtuellen Politiklabor

jeder Änderung der Maßnahmen neu starten und warten, bis diese nach 100 Tagen automatisch stoppt. Nun kannst Du verschiedene Beobachtungen notieren: Wie viele Personen sind nach 100 Tagen nicht-infiziert, infiziert, genesen oder gestorben? Wie hoch ist das Arbeitsvolumen Deiner Stadt im Verlauf der Infektionswelle? Welche Altersgruppen sind besonders stark betroffen? Mit einem Klick auf den Start- oder Beschleunigungsknopfen kannst Du die Simulation im Anschluss jeweils für weitere 100 Tage weiterlaufen lassen, sodass Du nach 500 Tagen erneut Deine Beobachtungen notieren kannst.

Landwirte und Landwirtinnen: „Ein totaler Lockdown oder Home-Office? Wie soll das denn gehen, unsere Ernte geht komplett verloren. Wollen Sie verhungern?“

Ärzt*innen, Krankenhauspersonal: „Wir müssen so früh wie möglich Maßnahmen ergreifen, damit unsere Kapazitäten im Gesundheitssystem ausreichen - wer soll Ihnen sonst helfen?“

Wirtschaft: „Ein totaler Lockdown hilft vielleicht kurzfristig. Langfristig werden jedoch zahlreiche Unternehmensformen insolvent ansetzen, werden Sie nur ab... Das Arbeitsvolumen muss so hoch wie möglich bleiben!“

Familien: „Home-Office und geschlossene Schulen – das passt doch niemals parallel... Wie hat sich das denn überlegt? Entscheiden Sie sich gefälligst für eine der beiden Maßnahmen.“

Alten- und Pflegeheim: „Wir dürfen auch die kranken und schwachen Personen nicht verlassen. Wirtschaftlich ist Deutschland stark genug, um den finanziellen Schaden auszugleichen. Leben retten geht nun vor.“

Fühler Du Dich nun vorbereitet für einen letzten Durchlauf?

Schritt 3: Entscheidungsphase

Entscheide Dich für eine Gesundheitsstrategie und starte die Simulation ein letztes Mal. Du kannst die von Dir beschlossenen Maßnahmen entweder über den gesamten Zeitraum umsetzen oder zwischenzeitlich anpassen. In dieser Phase hast Du jedoch nur eine Chance, denn auch im richtigen Leben kannst Du bisherige Ereignisse nicht rückgängig machen. Notiere nach 100 bzw. 500 Simulationstagen, wie viele Personen nicht-infiziert, infiziert, genesen oder gestorben sind und beobachte, wie hoch das Arbeitsvolumen während der Pandemie bleibt. Wie würdest Du Deine Politik insgesamt bewerten?

169

Kapitel 15 | Eine unberechenbare Zukunft?

Beobachtungen:

Über die Simulation der Universität Hohenheim lassen sich insgesamt 360 verschiedene Maßnahmenkombinationen simulieren – hinzu kommt die Variation der Krankenhauskapazität. Im Folgenden werden exemplarisch die Beobachtungen von drei verschiedenen Maßnahmenpaketen dargestellt. Die Ergebnisse basieren dabei auf einem zufällig festgelegten Startsetting – daher können Deine Ergebnisse auch bei Beschluss der gleichen Maßnahmen etwas abweichen.

1. Maßnahmenpaket – Immer locker bleiben?

Keine Maßnahmen werden ergriffen.

Das Arbeitsvolumen fällt im Laufe der Zeit kurzzeitig auf ca. 80 % zurück und steigt im Anschluss wieder. Nach 100 Tagen sind 20 Personen gestorben, 393 Personen genesen und 37 Person noch nicht infiziert, weitere Personen befinden sich im infizierten Stadium. Nach 500 Tagen sind bereits 33 Personen gestorben und alle weiteren 422 Personen genesen. Da keine Person mehr in dem Kompartiment der Nicht-Infizierten ist, kann die Pandemie vor der Bereinstellung eines Impfstoffes in Deiner Stadt als beendet erklärt werden.

2. Maßnahmenpaket – Ein gesunder Kompromiss?

Physische Maßnahmen (Hustenetikette, Abstand und Händewaschen) werden eingehalten, infizierte SchülerInnen und Arbeitende bleiben zu Hause/im Home-Office.

Unter Beschluss dieser Maßnahmen kann das Arbeitsvolumen über den gesamten Zeitraum auf mindestens 95 % gehalten werden. Nach 100 Tagen sind drei Personen gestorben, dieser Wert erhöht sich nach 500 Tagen auf 16 Personen. Darüber hinaus sind nach 500 Tagen 186 Personen nicht-infiziert und 255 Personen genesen, weitere befinden sich im infizierten Stadium. Der Impfstoff kann die Pandemie danach erfolgreich eindämmen.

3. Maßnahmenpaket – Nicht locker(n) lassen?

Physische Maßnahmen werden eingehalten, interregionale Reisende werden abgelehnt, Schulen werden geschlossen, Ausschließlich kritisch Erkrankte werden in den Krankenhäusern aufgenommen, Home-Office wird für alle angeordnet und Großveranstaltungen werden verboten.

170

Digitales Experiment: Das Coronavirus im virtuellen Politiklabor

Das Arbeitsvolumen sinkt über die gesamte Zeit auf etwa 80 %, nach 100 Tagen sind fünf Personen genesen, alle übrigen Personen sind nicht-infiziert. Diese Werte bleiben über die gesamte Zeit konstant. Keine Person stirbt. Sobald nach 500 Tagen ein Impfstoff vorhanden ist, können die Maßnahmen gelockert werden.

Erklärung:

Verschiedene Maßnahmen können, wie die mathematische Simulation der Universität Hohenheim zeigt, ganz unterschiedliche Auswirkungen auf den Verlauf einer Pandemie haben. Dabei ist die Entscheidung, welche Maßnahmen notwendig sind, zwangsläufig ein Kompromiss zwischen vielen Anforderungen verschiedener Interessensgruppen. Simulationen dienen dabei als Entscheidungshilfe und liefern mathematische Resultate wie beispielsweise Prognosen über Fallzahlen oder das Arbeitsvolumen im Laufe der Zeit. Die Interpretation der Simulationsergebnisse sowie die Entscheidungsfindung obliegen schlussendlich den verantwortlichen Personen.

So zeigt die Simulation der Universität Hohenheim, dass bereits aus dem Beschluss weniger Maßnahmen (physische Maßnahmen, zu Hause bleiben infizierter Personen) geringere Todesfälle unter Beibehaltung eines hohen Arbeitsvolumens resultieren. Sollten jedoch ohne Rücksicht auf die Wirtschaft härtere Maßnahmen ergriffen werden, um weitere Menschenleben zu retten? Diese und weitere ethische Fragen können durch die Simulation selbst nicht beantwortet werden. Außerdem gilt weiterhin, dass Simulationen niemals die gesamte Realität, sondern nur einen Teil ebendieser abbilden und daher nur eine Orientierung geben können.

Die Zukunft exakt vorherzusagen kann niemand – auch nicht in Bezug auf Corona. Dennoch ist es möglich, mithilfe mathematischer Modelle und Simulationen Prognosen über den weiteren Verlauf der Pandemie zu machen und verschiedene Maßnahmen sowie Kombinationen ebendieser auf den Prüfstand zu stellen. Die Ergebnisse dieser Simulationen können von PolitikerInnen herangezogen werden, um begründete Entscheidungen für die Zukunft zu treffen. Ob diese Prognosen tatsächlich eintreten, lässt sich nicht zu 100 % sicherstellen, dennoch bieten sie eine gute Orientierung. Neil Ferguson, mathematischer Epidemiologe am Imperial College London, bewertet Simulatio-

171

Kapitel 15 | Eine unberechenbare Zukunft?

nen daher so: »Wir bauen die Realität in vereinfachten Versionen nach. Modelle sind keine Kristallkugeln« (2020). Die Simulationen zur COVID-19-Pandemie lassen sich in gewisser Weise mit dem Wetterbericht vergleichen: Wenn in diesem mit einer Wahrscheinlichkeit von 90 % Regen angekündigt wird, würden die meisten sicherlich auch einen Regenschirm oder eine Jacke mitnehmen. Gleiches gilt für die COVID-19-Pandemie, wobei statt Regen beispielsweise höhere Infektionszahlen prognostiziert und statt der Regenjacke ein Mund-Nase-Schutz empfohlen werden. Im Zweifelsfall gilt: Vorsicht ist besser als Nachsicht.

Quellen:

Vermulen, B., Pylka, A. & Müller, M. (2020). Ein Politiklabor zum Test unterschiedlicher gesundheitspolitischer Instrumente zur Eindämmung der COVID-19 Epidemie. *Universität Hohenheim*. Abgerufen von <https://info.uni-hohenheim.de/corona-modell>
 an der Heiden, M., Buchholz, U. (2020). Modellierung von Beispielen der SARS-CoV-2-Epidemie 2020 in Deutschland. *Robert Koch-Institut*. Abgerufen von https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Modellierung_Deutschland.pdf__blob=publicationFile.
 Johns Hopkins University & Medicine (2020). COVID-19 Dashboard by the Center for Systems Science and Engineering (CSSE) at Johns Hopkins University (JHU). *Johns Hopkins University & Medicine*. Abgerufen von <https://coronavirus.jhu.edu/map.html>
 Donsimoni, J. R., Glawion R., Plachter, B. & Wälde, K. (2020). Projecting the Spread of COVID-19 for Germany. IZA DP, 13094. <http://ftp.iza.org/dp13094.pdf>
 Li, M. Y. (2018). *An Introduction to Mathematical Modeling of Infectious*. Cham: Springer International Publishing AG.
 Kaiser, G.; Blum, W.; Borromeo Ferri, R. & Grefrath, G. (2015). Anwendungen und Modellieren. In R. Bruder, L. Hefendehl-Hebeker, B. Schmidt-Thieme & H.-G. Weigand (Hrsg.), *Handbuch der Mathematikdidaktik*. Berlin, Heidelberg: Springer Spektrum.
 Adam, D. (2020). Simulationen, die Regierungen lenken. *Spektrum.de*. Abgerufen von <https://www.spektrum.de/news/simulationen-die-regierungen-lenken/1720164>

Flatten the curve

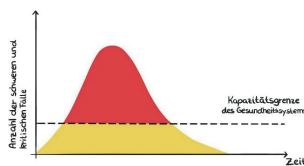
16



»Flatten the curve« ist das Motto des Jahres 2020 und der Corona-Krise geworden. Nicht nur in Zeitungen und Nachrichten, sondern insbesondere in den sozialen Medien verbreiten sich Beiträge hierzu wie ein Lauffeuer. Doch welche Strategie steckt eigentlich hinter diesem Motto und ist »Flatten the curve« der Weg aus der Corona-Krise? Warum Strategien wie »Flatten the curve« notwendig sind, wird deutlich, wenn der Verlauf der Corona-Pandemie ohne Durchsetzung von Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitung modelliert wird (vergleiche Kapitel 15). Die Anzahl der Personen, die in Folge einer COVID-19-Erkrankung eine medizinische Behandlung benötigen, würde die Kapazität des Gesundheitssystems in Deutschland über einen langen Zeitraum um ein Vielfaches überschreiten (vergleiche Abbildung 16.1).

Kapitel 16 | Flatten the curve

Abbildung 16.1: Überlastung der Kapazitäten des Gesundheitssystems durch die COVID-19-Pandemie ohne Umsetzung von Maßnahmen zur Eindämmung der Ausbreitung

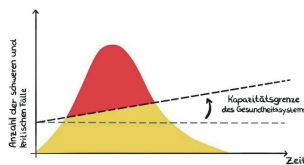


Um dieser Überlastung des Gesundheitssystems entgegen zu wirken, sind mit einem ersten Blick auf Abbildung 16.1 zwei Strategien von Bedeutung:

Raise the line – Die Linie anheben:

Die Kapazitäten des Gesundheitssystems werden gesteigert. In Abbildung 16.2 ist diese Steigerung durch das Anheben der gestrichelten Linie, also der Kapazitätsgrenze, zu erkennen. Folglich reduziert sich die Anzahl der schwer und kritisch erkrankten Personen, welche über der Kapazitätsgrenze des Gesundheitssystems liegen und nicht mehr ausreichend behandelt werden können.

Abbildung 16.2: Raise the line – Erhöhung der Kapazitäten des Gesundheitssystems



Engpässe im Gesundheitssystem treten insbesondere in der intensivmedizinischen Betreuung auf. Diese können reduziert werden, indem unter anderem technische Ausstattungen für Intensivbetten ange-

Flatten the curve

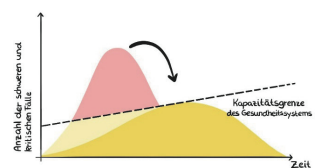
schaft und personelle Ressourcen (IntensivpflegerInnen und ÄrztInnen) erhöht werden. Darüber hinaus ist eine kontinuierliche Erfassung der aktuellen Belegungssituation intensivmedizinischer Bereiche in Deutschland notwendig, um die PatientInnen bestmöglich verteilen zu können. Diese Erfassung wird in Deutschland durch das DIVI-Intensivregister der Deutschen Interdisziplinären Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin und des RKI umgesetzt. So kann mittelfristig die Kapazitätsgrenze des Gesundheitssystems angehoben werden.

Jedoch können viele Ressourcen nicht von jetzt auf gleich erhöht werden und trotz einer Steigerung würde die Kapazität des Gesundheitssystems vielerorts massiv überschritten werden. Daher wird eine weitere Zielsetzung fokussiert.

Flatten the curve – Die Kurve abflachen:

Mithilfe zahlreicher Maßnahmen wie Kontaktreduzierung durch Schulschließungen und Home-Office, Tragen eines Mund-Nase-Schutzes, Einhaltung der Hust- und Niesetikette, etc. soll die Verbreitung des Virus so stark verlangsamt werden, dass die Anzahl der medizinisch zu behandelnden Personen unter die Kapazitätsgrenze fällt (siehe Abbildung 16.3).

Abbildung 16.3: Flatten the curve – Verlangsamung der Verbreitung des Coronavirus



Doch wo liegt diese Kapazitätsgrenze und welche Maßnahmen müssten über welchen Zeitraum aufrecht erhalten bleiben, um unter diese Grenze zu gelangen? Diese Frage lässt sich nicht eindeutig beantworten – komplexe mathematische Modellierungen können jedoch helfen, ebendiese unbekannteren Werte abzuschätzen. Im Folgenden wird

die Anzahl der Intensivbetten als limitierender Faktor des Gesundheitssystems betrachtet. In verschiedenen Modellierungen wird davon ausgegangen, dass 2 bis 6 % der Infizierten auf einer Intensivstation behandelt werden müssen. Darüber hinaus bleibt jede intensivpflichtige COVID-19-erkrankte Person im Durchschnitt 16 Tage hospitalisiert, fünf Tage davon sind für eine Intensivbehandlung notwendig. In Deutschland gibt es aktuell (Stand November 2020) etwa 29.000 Intensivbetten, von denen circa 75 % belegt sind. Innerhalb einer Woche könnten fast 13.000 weitere Intensivbetten aufgestellt werden. Damit die resultierende Gesamtanzahl an Intensivbetten ausreicht, müsste die effektive Reproduktionszahl über einen langen Zeitraum auf einen Wert sehr nahe an 1 (1 bis 1,2) reduziert werden, wie verschiedene Modellierungen, unter anderem der deutschen Gesellschaft für Epidemiologie zeigen. Weitere limitierende Faktoren wie beispielsweise das Personal im Gesundheitswesen wurden an dieser Stelle noch gar nicht beachtet. Um einen solchen Wert über lange Zeit zu halten, empfehlen viele WissenschaftlerInnen eine strikte Kontaktreduzierung durch das Schließen von Schulen, Home-Office sowie das Einhalten der AHA-Regeln.

Sind »raise the line« und »flatten the curve« also die Lösung für die Corona-Pandemie? Ohne die Verfolgung weiterer Strategien könnte die Auslastung der Gesundheitssysteme zwar reduziert werden, jedoch würde sich die Zeit bis zu einer natürlichen Herdenimmunität um ein Vielfaches verlängern.



HERDENIMMUNITÄT:

Wenn ein Großteil der Bevölkerung immun gegen einen bestimmten Krankheitserreger ist, kann sich eine Krankheit nicht weiter ausbreiten und auch nicht-immune Personen sind vor der Krankheit geschützt. Dieser Effekt wird Herdenimmunität genannt. Die Zahl der akut Infizierten ist bei einer Herdenimmunität mindestens gleichbleibend, bei einer ausreichend hohen Immunitätsrate können Krankheiten sogar ausgerottet werden. Eine Immunität kann dabei beispielsweise infolge einer Infektion oder durch eine Impfung erlangt werden. Für Personen, die nicht geimpft werden können, ist eine Herdenimmunität als Schutz vor der Krankheit besonders bedeutend.

Wie funktioniert eine Herdenimmunität? Ab einem bestimmten Schwellenwert immuner Personen können sich vereinzelt auftre-

tende Infektionen kaum noch verbreiten, denn infizierte Personen treffen in ihrer Umgebung hauptsächlich auf immune Personen. Dadurch ist eine Übertragung der Krankheit sehr unwahrscheinlich.



Die sogenannte Herdenimmunitätsschwelle HI_{min} , bei welcher eine Herdenimmunität eintritt, hängt von der Basisreproduktionszahl R_0 eines Krankheitserregers ab (vergleiche Kapitel 14) und berechnet sich wie folgt:

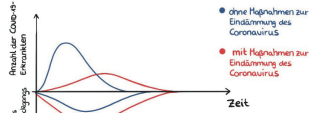
$$HI_{min} = 1 - \frac{1}{R_0}$$

Liegt die Herdenimmunitätsschwelle nach dieser Berechnung beispielsweise bei 0,7, so müssten mindestens 70 % der Personen immun gegen einen Krankheitserreger sein, damit sich die Krankheit nicht weiter ausbreitet und eine Herdenimmunität eintritt. Für verschiedene Krankheiten ergeben sich damit folgende Grenzwerte:

Krankheit	Basisreproduktionszahl R_0	Herdenimmunitätsschwelle HI_{min}
Masern	ca. 15	ca. 93 %
Keuchhusten	ca. 14	ca. 93 %
Kinderlähmung	ca. 6	ca. 83 %
Pocken	ca. 6	ca. 83 %
COVID-19	3,3 – 3,8	70 – 74 %

Bis zum Erreichen der Herdenimmunität müssten weitreichende Maßnahmen zur Eindämmung des Coronavirus beibehalten werden. Die ökonomischen Negativeffekte dieses Szenarios wären von gewaltigem Ausmaß. Kurz gesagt: Je härter die Maßnahmen zur Eindämmung des Virus sind, desto stärker kommt die Wirtschaft zum Erliegen und desto größer ist der wirtschaftliche Konjunkturrückgang. Abbildung 16.4 verdeutlicht diesen Effekt. Während die Anzahl der akut COVID-19-Erkrankten durch Maßnahmen zur Eindämmung des Virus reduziert werden kann (rote Kurve im oberen Diagrammbereich), verstärken sich gleichzeitig die ökonomischen Negativeffekte, wenn strikte Maßnahmen wie beispielsweise Kontaktbeschränkungen über einen langen Zeitraum aufrecht erhalten werden (rote Kurve im unteren Diagrammbereich).

Abbildung 16.4: Flatten the curve – Wirtschaftliche Negativeffekte (Abbildung angelehnt an Baldwin & Weder di Mauro, 2020)



Daher sind sich viele WissenschaftlerInnen und PolitikerInnen einig, dass »flatten the curve« und »raise the line« als alleinige Strategien nicht ausreichen, um das Virus zu bekämpfen. Um zeitnah zur Normalität zurückzukehren und die wirtschaftlichen Schäden zu reduzieren, werden daher weitere Strategien herangezogen und kombiniert. Übergordnetes Ziel dieser Strategien ist es, durch umfangreiches Testen und Isolieren von infizierten Personen und deren Kontaktpersonen eine Ausbreitung des Virus effektiv zu kontrollieren und so die Belastung des Gesundheitssystems deutlich zu reduzieren. Bei diesem Szenario könnten wirtschaftliche Abläufe bereits kurz nach Ausbruch der Pandemie in einen kontrollierten Normalzustand überführt werden, wobei über einen langen Zeitraum eine kontinuierlich hohe Wachstumsrate beibehalten werden muss.

Dieses Vorgehen wird im Nationalen Pandemieplan sowie den Ergänzungen für die Bewältigung des COVID-19-Geschehens in Deutschland genauer erläutert. Es gliedert sich im Wesentlichen in drei Phasen, die in Bezug auf COVID-19 jedoch nicht strikt voneinander getrennt werden und fließend ineinander übergehen können.

»Containments« – Eindämmungsstrategie:

Beim Auftreten einzelner Fälle und kurzer Infektionsketten wird in Deutschland die sogenannte Containment-Strategie verfolgt. Ziel ist es, die Ausbreitung des Virus sehr stark zu verlangsamen und dadurch Zeit zum Beispiel für die Impfstoffentwicklung oder die Stärkung des Gesundheitssystems zu gewinnen. In dieser Phase sollen Infektionen so früh wie möglich erkannt und Kontaktpersonen nachverfolgt und isoliert werden. Somit können Infektionsketten sehr schnell durchbrochen und die Ausbreitung des Virus effektiv eingedämmt werden – bei gleichzeitigem Aufrechterhalten des gesellschaftlichen Lebens und der Wirtschaft. Diese Phase der Bewältigung des COVID-19-Geschehens kann jedoch nur beibehalten werden, wenn Infektionen größtenteils im Zusammenhang mit einem Aufenthalt in einem Risikogebiet oder in lokalen Clustern auftreten – andernfalls ist eine Nachverfolgung der Infektionsketten nur schwer und mit immens hohem Testaufwand möglich.



»Protections« – Schutzstrategie:

Sobald die Eindämmungsstrategie nicht mehr umgesetzt und eine Verbreitung des Coronavirus nicht mehr aufgehalten werden können, wird die Bekämpfungsstrategie erweitert. Der Fokus wird in dieser Phase auf Personen gelegt, bei denen schwere Krankheitsverläufe zu erwarten sind, also die sogenannten Risikogruppen angehören. Daher stehen Einrichtungen wie beispielsweise Altenpflegeheime oder Krankenhäuser zunehmend im Mittelpunkt. Ziel ist es, diese Einrichtungen vor Infektionen zu schützen sowie über den gesamten Zeitraum eine ausreichende personelle Besetzung sicherzustellen. Daher werden nicht nur PatientInnen in den Einrichtungen, sondern auch das medizinische und Pflegepersonal unter besonderen Schutz gestellt.





»Mitigation« – Folgenminderungsstrategie

Breitet sich das Coronavirus noch weiter in der Gesellschaft aus, werden weitreichendere Maßnahmen eingeleitet, welche die Folgen der COVID-19-Pandemie mindern sollen. In dieser Phase müssen insbesondere schwere Krankheitsverläufe und Krankheitsspitzen, bei denen das Gesundheitssystem massiv überlastet wäre, verhindert werden.

Daher steht »flatten the curves« im Mittelpunkt dieser Phase und entsprechende Maßnahmen werden festgelegt: Home-Office und Schulschließungen sowie Regelungen zur Kontaktbeschränkung sind in dieser Phase nach Ansicht vieler WissenschaftlerInnen und PolitikerInnen notwendig.

»Flatten the curve« ist also nicht der einzig mögliche Weg aus der Corona-Krise, sondern eine von vielen Strategien, die zur Bewältigung der Pandemie notwendig sind. Bis eine Herdenimmunität durch die Entwicklung und Bereitstellung eines Impfstoffes möglich ist, muss daher weiter wachsam geblieben und stetig regional, aber auch national und international entschieden werden, welche Strategien zur Bewältigung der COVID-19-Pandemie fokussiert werden. Eine besondere Rolle nimmt dabei das umfangreiche Testen, Nachverfolgen und Isolieren von Kontaktpersonen ein.

Alle Strategien haben jedoch eins gemeinsam: Ohne die Unterstützung der Bevölkerung durch Kontaktreduktion, Einhaltung der Hygienekonzepte und eigenverantwortliches Handeln lässt sich die derzeitige Situation nicht ohne große Verluste bewältigen.

Quellen:

Deutsche Gesellschaft für Epidemiologie (2020). Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Epidemiologie (DGEpi) zur Verbreitung des neuen Coronavirus (SARS-CoV-2). *Deutsche Gesellschaft für Epidemiologie*. Abgerufen von https://www.dgepi.de/asset/StellungnahmeStellungnahme2020Corona_DGEpi-21032020-v2.pdf

Hill, A. (2020). Modeling COVID-19 Spread vs Healthcare Capacity. Abgerufen von <https://alhill.shinyapps.io/COVID19beta/>

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (2020). Wie wir COVID-19 unter Kontrolle bekommen. *Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat*. Abgerufen von <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/download/DE/veroeffentlichungen/2020/coronalszenarienpapier-covid-19.html>

180

Berlmann Stiftung, Jacques Delors Centre (ed.), Hainbach, N., Redeker, N. (2020). Flattening the Recession Curve. Comparing Initial Fiscal Responses to the Corona Crisis Across the EU. *Berlmann Stiftung*. Abgerufen von <https://www.berlmann-stiftung.de/en/publications/publication/did/policy-paper-flattening-the-recession-curve-all>

Robert Koch-Institut (2020). SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19). *Robert Koch-Institut*. Abgerufen von https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html

Robert Koch-Institut & Deutsche Interdisziplinäre Vereinigung für Intensiv- und Notfallmedizin (2020). DIVI-Intensivregister. Aktuelle Belegungssituation intensivmedizinischer Bereiche der Krankenhausstandorte Deutschlands. *intensivregister.de*. Abgerufen von <https://www.intensivregister.de/#intensivregister>

Baldwin, R. & Weder di Mauro, B. (2020). *Mitigating the COVID Economic Crisis: Act Fast and Do Whatever It Takes*. London: Centre for Economic Policy Research.

Krickeberg, K., Van Trong, P. & Thi My Hanh, P. (2019) *Epidemiology. Key to Public Health* (Second Edition). Cham: Springer Nature Switzerland AG.

181

Winterzeit ist Grippezeit. Im Sommer wird das Coronavirus von alleine verschwinden!

17



Jeder kennt das Phänomen, dass er oder sie im Winter verschlupft oder kränklich ist. Mit Einbrechen der Temperaturen scheint auch die Wahrscheinlichkeit einer Erkrankung durch Viren und andere Erreger größer zu werden. Für Influenzaviren ist dies bereits gut erforscht. Sie treten saisonal auf, was bedeutet, dass sich Infektionen vermehrt zu einer bestimmten Jahreszeit ausbreiten. Auch Viren aus der Familie der Coronaviren zeigen eine solche Saisonalität. Die Fallzahlen sinken über den Sommer hinweg auf ein Minimum und steigen erst im Winter wieder an. Wenn angenommen werden kann, dass für das derzeitige Coronavirus das Gleiche gilt, liegt der Schluss nahe, dass Schutzmaßnahmen gegen Corona im Sommer heruntergefahren werden können, um sie im Winter wieder zu erhöhen. Um beurteilen zu können, ob diese Maßnahme sinnvoll erscheint, sollte zunächst einmal

183

Kapitel 17 | Winterzeit ist Grippezeit. Im Sommer wird das Coronavirus von alleine verschwinden!

geklärt werden, welche Bedingungen im Sommer eine Infektion erschweren und sie im Winter sogar begünstigen.

Der offensichtlichste Unterschied zwischen Sommer- und Wintermonaten ist die Temperatur. Die Durchschnittstemperatur in Deutschland lag im Sommer (Juni bis August) 2019 bei 19,2 °C, im Winter (Dezember bis Februar) 2019/2020 betrug diese lediglich 4,1 °C. Während sich im Sommer also bei warmen Temperaturen und Sonnenschein vermehrt draußen getroffen wird, finden Treffen im Winter vor allem drinnen bei geschlossenen Fenstern und Türen statt.

Bereits in Kapitel 6 wurde die Verbreitung von Aerosolen thematisiert. Um Infektionen zu vermeiden, sind zwei Dinge von besonderer Bedeutung: Das Einhalten von Mindestabständen und eine gute Durchlüftung der Umgebung. Denn beim Husten, Niesen oder Sprechen werden kleinste Tröpfchen freigegeben, die in der Luft schweben. Sie bewegen sich gemäß der Schwerkraft langsam Richtung Boden. Beim Sitzen im Freien ist es aufgrund der verfügbaren Fläche zumeist viel einfacher, weit genug auseinander zu sitzen, sodass die Aerosole bereits an Oberflächen haften, bevor sie eingeatmet werden und zur Infektion führen können. Des Weiteren werden die feinen Schwebeteilchen vom Luftstrom mitgerissen, wodurch eine Anreicherung von Viren in der Luft und damit die Erhöhung der Viruslast verringert werden. Fehlt eine solche Luftumwälzung mangels Lüftung im Winter, sammeln sich die Aerosole im geschlossenen Raum an. Die Wahrscheinlichkeit eines vermehrten Einatmens von Viruspartikeln steigt und damit auch die Wahrscheinlichkeit einer Infektion mit dem Erreger. Ein erster Grund für eine Saisonalität liegt also bereits in dem veränderten Sozialverhalten der Menschen. Wäre dies der einzige Grund, müssten alle Erreger im Winter Hochsaison haben. Es gibt aber Gegenbeispiele: Das Rhinovirus, welches die klassische Erkältung auslöst, besitzt zum Beispiel keine Saisonalität, führt im Winter also nicht gehäuft zu Infektionen. Im Gegensatz zu Influenza- und Coronaviren sind Rhinoviren unbekleidet. Doch welchen Zusammenhang hat das Vorhandensein einer Hülle mit der Saisonalität?

Die Änderung der Umgebungstemperatur hat Einfluss auf die Struktur der Lipidhülle, die manche Viren umgibt. Dies wurde bereits in Kapitel 8 deutlich, denn Mund-Nase-Schutzmasken lassen sich durch hohe Temperaturen sterilisieren. Durch Erhöhung der Temperatur wird die Struktur der Hülle zerstört, das Virus stirbt ab. Bei einer durchschnittlichen Umgebungstemperatur von 4,1 °C im Winter ist

Winterzeit ist Grippezeit. Im Sommer wird das Coronavirus von alleine verschwinden!

die Proteinstruktur der Virus-hülle stabil und das Virus kann sich gut verbreiten. Steigt nun im Sommer die Temperatur stark an, kann es bei einzelnen Viren vorkommen, dass sich die Proteine der Hülle bereits so schnell bewegen, dass die Struktur der Hülle aufgelöst und damit letztendlich der Schutzmechanismus der Viren zerstört wird.

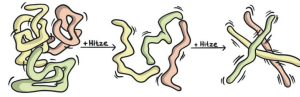
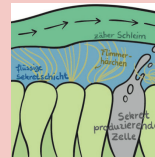


Abbildung 17.1: Proteinketten, denen Hitze zugeführt wird, beginnen zu schwingen. Ist die Schwingungsenergie größer als die Anziehungskraft, wird die Proteinstruktur zerstört.

Die Konzentration an intakten Viren innerhalb der Aerosole nimmt also mit steigender Temperatur ab und damit auch die Wahrscheinlichkeit einer Infektion. Bei niedrigen Temperaturen sind Viren deutlich stabiler. Zusätzlich dazu schwächt Kälte unser Immunsystem. Die Wahrscheinlichkeit einer Infektion ist erhöht.

MUKOZILIÄRE REINIGUNG:



Die Schleimhäute in den Atemwegen sind wie ein Förderband, auf dem Schmutz, Staub und Krankheitserreger aus der Lunge in den Rachen transportiert werden. Die Zellen der Schleimhäute produzieren ein Atemwegssekret, welches aus zwei Schichten besteht. In der unteren, flüssigen Schicht können sich die feinen Flimmerhärchen, sogenannte Zilien, frei bewegen. Auf ihr



Kapitel 17 | Winterzeit ist Grippezeit. Im Sommer wird das Coronavirus von alleine verschwinden!

aufgelagert ist eine zweite, zähflüssige Schicht. Gelangen nun Fremdkörper wie Staub oder Viren durch Einatmen in den Rachen- oder Nasenraum, bleiben sie an der oberen Schleimschicht hängen. Durch rhythmische Bewegung der Flimmerhärchen bewegt sich diese Schleimschicht immer weiter Richtung Rachenraum und zieht die Fremdkörper mit sich. Im Rachen angelangt, können die Fremdkörper dann verschluckt oder ausgehustet werden. Beim Verschlucken werden Fremdkörper durch die Magensäure abgetötet und anschließend verdaut.

Bei Kälte verengen sich die Blutgefäße in unserem Körper. Durch die engeren Gefäße wird der Blutfluss erschwert. Die geklemmte Durchblutung sorgt dafür, dass die Schleimhäute im Nasen- und Rachenbereich weniger Atemwegssekret produzieren. Die natürliche Immunabwehr der Atemwegs-schleimhäute ist also geschwächt. Gelangt ein Erreger in den hinteren Rachenbereich, bleibt er dort haften, ohne abtransportiert zu werden. Er kann sich leichter verbreiten und seinen Wirt befallen. Einen ähnlichen Einfluss auf die Durchblutung hat die tatsächliche Infektion mit einem Virus. Der Körper beginnt, das Virus zu bekämpfen und das Immunsystem wird wie nachfolgend dargestellt aktiv. Zur Abwehr wird die Kernkörpertemperatur erhöht. Dies geschieht über Steuerung der Durchblutung in Richtung des Körperinneren und weg von Extremitäten und dem Körperkern. In Folge dessen kommt es zu einem Kältegefühl, auch Frosteln genannt. Dieses Kälteempfinden führt häufig zu dem Irrglauben, man habe sich aufgrund der Kälte angesteckt. Doch hierbei wird lediglich eines der Symptome mit der eigentlichen Krankheitsursache verwechselt: Zu einer COVID-19-Infektion kommt es in den meisten Fällen durch eine klassische Tröpfcheninfektion, welche erst zum Frösteln führt. Kälte kann zwar unser Immunsystem kurzzeitig schwächen, löst aber niemals direkt die eigentliche Infektion aus.

Neben ihrem Einfluss auf die Temperatur hat die Sonneneinstrahlung darüber hinaus noch eine direkte Auswirkung auf Viren. Durch die UV-Strahlung, die Bestandteil des Sonnenlichtes ist, können Viren, die durch Tröpfchen in der Luft übertragen werden, inaktiviert werden. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die UV-Strahlung das Erbgut des Virus zerstört, wodurch das Virus nicht mehr infektiös ist. Da die Sonneneinstrahlung im Sommer deutlich höher als im Winter ist, ist das Virus diesem Einfluss im Sommer stärker ausgesetzt.

Winterzeit ist Grippezeit. Im Sommer wird das Coronavirus von alleine verschwinden!

Eine Infektion wird im Winter zusätzlich durch einen weiteren Faktor begünstigt: die Luftfeuchtigkeit. Durch die Sonneneinstrahlung verdunstet aus Seen, Flüssen und den Meeren immer eine gewisse Menge des Wassers und gelangt so als Wasserdampf in die Atmosphäre. Die Konzentration beziehungsweise Menge an Wasserdampf, also gasförmigen Wasser in der Luft, wird als Luftfeuchtigkeit bezeichnet. Je mehr Wasserdampf in der Luft enthalten ist, desto höher ist die Luftfeuchtigkeit. Da die Strahlungsintensität der Sonne im Winter wesentlich geringer ist als im Sommer, verdunstet weniger Wasser aus Gewässern. Die Luft im Winter ist daher deutlich trockener als im Sommer.

VERDAMPFUNGSWÄRME

Die Verdampfungswärme beschreibt das Phänomen, dass beim Übergang vom flüssigen zum gasförmigen Zustand der Umgebung Wärme entzogen wird und diese somit abkühlt. Umgangssprachlich wird auch von Verdunstungskälte gesprochen. Der Körper macht sich dieses Phänomen beim Schwitzen zunutze. Die Schweißdrüsen sondern den flüssigen Schweiß ab. Das Wasser im Schweiß verdunstet und entzieht dabei dem Körper Energie in Form von Wärme, er kühlt also ab. Die Luftfeuchtigkeit nimmt dabei um den Körper herum kurzzeitig zu. Die Luft kann nur eine gewisse Menge an gasförmigen Wasser aufnehmen. Je mehr Wasser zu gasförmigen Wasserdampf wird, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass die gasförmigen Wassermoleküle wieder zu flüssigem Wasser kondensieren. Dies liegt daran, dass sich beim Kondensieren gasförmige Teilchen zusammenlagern und wieder zu flüssigem Wasser wenden. Die Wahrscheinlichkeit, dass sich mehrere Teilchen zusammenlagern, steigt mit der zunehmenden Zahl an Teilchen im Raum. Es findet also immer gleichzeitig ein Übergang vom flüssigen zum gasförmigen Aggregatzustand und umgekehrt statt.



Je geringer die Luftfeuchtigkeit ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich genügend Wassermoleküle nah genug kommen, um sich gegenseitig anzuziehen und in die flüssige Phase überzugehen. Daher findet vermehrt die umgekehrte Reaktion statt und flüssiges Wasser verdunstet – solange, bis die Konzentration von gasförmigen Molekülen so groß ist, dass sich vermehrt Wassermoleküle anziehen. Es stellt sich auf Dauer ein Gleichgewicht ein. Dass in trockenerer Luft Wasser leichter verdampfen kann, lässt sich auch im Alltag erkennen. Befindet sich eine schwitzende Person in einem Windzug, so nimmt das Kälteempfinden zu. Der Windzug sorgt dafür, dass die gasförmigen Wassermoleküle verweht werden und trockenere Luft an die Körperoberfläche gelangt. In diese kann dann wieder leicht Wasser verdampfen, dem Körper wird mehr Wärme entzogen und das Kältegefühl nimmt zu. Durch das Abkühlen des Körpers wird wiederum das Immunsystem geschwächt, was eine Erkältung oder Erkrankung wahrscheinlicher macht. Aus diesem Grund wird häufig empfohlen, nicht mit nassen Haaren bei kalten Temperaturen nach draußen zu gehen.

Insgesamt lässt sich also sagen, dass in trockenerer Luft mehr Wasser und andere Flüssigkeiten verdampfen als in feuchter.

In der trockenen Winterluft verdunstet das Wasser aus dem Atemwegssekret auf den Schleimhäuten. Hierdurch trocknen sie aus und die Immunabwehr ist behindert. Umgekehrt hält die erhöhte Luftfeuchtigkeit im Sommer die Schleimhäute feucht und unterstützt so die Abwehrfunktion.

Doch nicht nur der Aufbau eines Virus und die damit verbundene Stabilität in kühler Umgebung oder die Schwächung unseres Immunsystems durch kalte, trockene Luft spielen bei der Frage, ob es jahreszeitenabhängige Schwankungen des Infektionsgeschehens gibt, eine Rolle. Auch die Verbreitung der Viren durch Aerosole ist von entscheidender Bedeutung, wie bereits in Kapitel 6 erklärt wurde. Um zu überprüfen, inwieweit die Luftfeuchtigkeit einen Einfluss auf die Verbreitung von Aerosolen hat, bietet sich folgendes Experiment an.

Experiment: Aerosole in feuchter und trockenerer Luft

Im Experiment soll erforscht werden, wie sich Aerosole bei Änderung der Luftfeuchtigkeit verhalten. Hierzu wird wie bei anderen Experimenten in diesem Buch Wasser aus Zerstäubern als Aerosolmodell unter Grünlicht beobachtet (vergleiche Kapitel 7). Die Luftfeuchtigkeit wird durch einen Wasserkocher oder Kochtopf erhöht.



Was Du benötigst:

- Eine Zerstäuber-Spritzflasche
- Taschenlampe mit grünem Licht
- Einen Wasserkocher oder einen Kochtopf mit Wasser
- Einen Hocker oder Ähnliches mit temperaturbeständiger Auflage
- Einen dunklen Hintergrund
- Eine Handykamera

Durchführung:

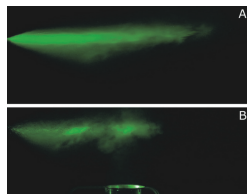
Das Experiment kann am besten zu zweit durchgeführt werden. Du solltest in einem möglichst dunklen Raum und vor einem dunklen Hintergrund experimentieren. Zudem muss der Boden leicht feucht werden dürfen. Vorsicht: Während und nach dem Experimentieren besteht Rutschgefahr!

Befülle die Zerstäuber-Spritzflasche mit Wasser. Bringe Wasser im Wasserkocher oder dem Kochtopf zum Kochen. Sobald das Wasser kocht und Dampf aufsteigt, stelle Du ihn auf den Hocker und sprühe mithilfe der Spritzflasche feine Tropfen durch den Wasserdampf. Richte dabei die grüne Taschenlampe auf den Sprühstrahl. Filme die Durchführung mit einer Handykamera und wiederhole das Experiment nun ohne Wasserdampf.

Beobachtungen:

Im grünen Licht der Taschenlampe ist der Wasserdampf als aufsteigender Nebel zu erkennen. Gelingt das gesprühte Wasser auf diese Nebelwand, werden die feinen Tropfen aufgehalten. Beim Vergleichen des Sprühens durch den Wasserdampf und durch Luft ohne Wasserdampf wird deutlich, dass die Aerosole von der Nebelwand aus Wasserdampf überwiegend zurückgehalten werden. Die Tropfen hinter der Nebelwand sind nicht mehr so fein wie zuvor.

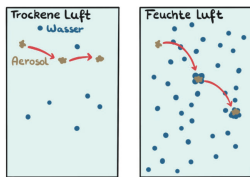
Abbildung 17.2:
A Sprühstrahl im Grünlicht durch trockene Luft. B Sprühstrahl durch feuchte Luft des Kochtopfs.



Erklärung:

Das zusätzliche Wasser in der Umgebungsluft sorgt dafür, dass sich die Aerosole mit diesen zu größeren Tropfen verbinden. In Kapitel 6 wurde bereits erforscht, dass die Flugweite der Aerosole mit ihrer Größe zusammenhängt. Je größer die Tropfen sind, desto geringer ist ihre Verweildauer in der Luft.

Abbildung 17.3:
Verhalten von Aerosolen in trockener und feuchter Luft.



Sie sinken zu Boden und können so nicht mehr eingeatmet werden. Im Sommer sind die Flugeigenschaften der Aerosole aufgrund der warmen, feuchten Luft schlechter. Im Gegensatz dazu bleiben die Schwebeteilchen in trockener Winterluft unverändert klein und schweben so

bedeutend länger durch die Luft. Die Wahrscheinlichkeit eines Einatmens wird größer.

In der Theorie spricht also einiges dafür, dass Coronaviren saisonal vor allem im Winter zu COVID-19 Erkrankungen führen. Auch in der Praxis lassen sich solche Tendenzen beobachten. Um entsprechende Aussagen zu tätigen, ist das Sammeln von vielen, repräsentativen Daten nötig. In einer Studie aus China wurden durchschnittliche Wetterdaten und R-Werte aus 100 chinesischen Städten im Zeitraum vom 19. März bis 6. April 2020 und 1005 US-amerikanischen Bezirken vom 15. März bis 6. April 2020 gesammelt. Sie wurden daraufhin untersucht, ob die unterschiedlichen klimatischen Gegebenheiten, in diesem Fall Temperatur und Luftfeuchtigkeit, mit dem R-Wert korrelieren, also gleichzeitig ansteigen, sinken oder gleichbleiben. Da der R-Wert ein Maß dafür ist, wie viele Personen im Schnitt eine virus-erkrankte Person ansteckt (vergleiche Kapitel 14), ließe sich eine Aussage darüber machen, ob bestimmte Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten zu einer höheren Ansteckungsgefahr führen. Tatsächlich ließ sich aus den chinesischen Werten schlussfolgern: Nimmt die Temperatur um 1 °C zu, sinkt der R-Wert um 0,023. Aus den US-amerikanischen Werten ergibt sich eine Senkung des R-Wertes um 0,02. Ähnliche Befunde lassen sich bei der Luftfeuchtigkeit feststellen: Steigt diese um 1 %, sinkt der R-Wert im Mittel der chinesischen Städte um 0,0078, in den USA um 0,008. Dies spricht erst einmal für eine mögliche Saisonalität. Allerdings bleibt auch hierbei einiges unklar. Welchen Einfluss hat die Bevölkerungsdichte in den einzelnen Regionen? Wie gut ist die Gesundheitsversorgung im Vergleich? Wie viele Krankenbetten gibt es? Welchen Einfluss haben generelle Lebensumstände der Erkrankten? Wie verbreitet sich das Virus in der Stadt im Vergleich zu ländlichen Regionen? Sind Menschen unterschiedlich resistent gegen die Viren? Gibt es eine große Immundanklaff? All diese Faktoren erschweren es, eine generelle Aussage treffen zu können. Eins ist allerdings sicher: Ein neuartiges Virus verbreitet sich anders als alte Bekannte Viren, da es sich grundsätzlich anderen Bedingungen für die Verbreitung in der Gesellschaft stellen muss.

Ein Großteil der Bevölkerung besitzt Antikörper gegen vielfach grassierende Grippeviren wie Influenza. Zudem gibt es hier Impfstoffe, die eine Immunität erhöhen. Eine Infektion im Sommer mit diesen ist

Kapitel 17 | Winterzeit ist Grippezeit. Im Sommer wird das Coronavirus von alleine verschwinden!

zwar nicht unmöglich, allerdings ist die Wahrscheinlichkeit durch eine hohe Immunität in der Bevölkerung ohnehin sehr gering. Damit es zu einer Infektion kommt, benötigt das Virus zur Ausbreitung optimale Bedingungen. Nur so kann die Infektionswahrscheinlichkeit so weit steigen, dass es zu vermehrten Infektionen bis hin zu einer Infektionswelle kommt.

Gegen das Coronavirus ist hingegen nur ein kleiner Teil der Bevölkerung immun. Selbst bei nicht optimalen Bedingungen ist die Wahrscheinlichkeit einer Infektion noch so hoch, dass sich ein Großteil der Bevölkerung anstecken kann. Ein Schutz vor Corona allein durch das Wetter ist eher nicht zu erwarten. Jedoch ist es gut möglich, dass Coronaviren im Sommer gehemmt sind und eine Saisonalität aufweisen. Dies zeigen nicht zuletzt die besonders in Europa rasant ansteigenden Infektionszahlen im Herbst 2020. Aufgrund einer fehlenden Immunität gegen das Coronavirus in der breiten Bevölkerung ist allerdings auch bei wärmeren Temperaturen eine Ausbreitung der Infektionen wahrscheinlich. Angesichts warmer Temperaturen und einer erhöhten Luftfeuchtigkeit auf bewährte Maßnahmen wie Mindestabstände und das Tragen eines Mund-Nase-Schutzes zu verzichten, wäre daher fatal. Dies zeigt sich auch an den oben genannten Ergebnissen. In der Studie wird deutlich gemacht: Sollten die Temperaturen vom Winter zum Sommer um 30 °C steigen und ebenfalls die Luftfeuchtigkeit um 25 % zunehmen, würde der R-Wert mit den Faktoren der Studie um 0,6 sowie 0,2 fallen. Der bereinigte Wert der anfänglichen R-Werte ohne Eindämmungsmaßnahmen zwischen 3 und 2,5 würde zwar vermindert, die Werte aber immer noch weit oberhalb der wichtigen Grenze von R = 1 liegen.

Dennoch sollen die oben genannten Erkenntnisse nicht unbeachtet gelassen werden. So empfiehlt es sich, im Winter zu versuchen, die Viruslast in geschlossenen Räumen durch gezieltes Stoßlüften so gering wie möglich zu halten. Zudem ist es möglich, den Raum durch das Lüften von Bonbons, Gurgeln oder Inhalieren feucht zu halten und so die natürliche Abwehrfunktion zu unterstützen. Zusätzlich ist eine Kontrolle der Luftfeuchtigkeit förderlich. Sie sollte im Winter idealerweise bei über 40 % liegen. Hierzu kann zum Beispiel ein feuchter Lappen auf den Heizkörper gelegt werden. Und weiterhin heißt es im Sommer wie im Winter: Die bewährten Mittel gegen das Virus sind Abstand, Hygiene und das Tragen eines Mund-Nase-Schutzes – nur, wenn sich alle an die Regeln halten und umsichtig bleiben,

Winterzeit ist Grippezeit. Im Sommer wird das Coronavirus von alleine verschwinden!

können die Infektionsraten gesenkt und die Auswirkungen des Coronavirus erträglich gehalten werden.

Quellen:

Ahluwar, A., Wiedensohler, A., Mishra, S.K. (2020). An overview on the Role of Relative humidity in Airborne transmission of SARS-CoV-2 in Indoor Environments. *Aerosol and Air Quality Research*, 20, 1856-1861. doi:10.4209/aaqr.2020.06.0302

Kudo, E., Song, E., Yockey, L.J., Rakib, T., Wong, P.W., Homer, R.J., Iwasaki, A. (2019). Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *PNAS*, 116 (22), 10905-10910. doi:10.1073/pnas.1902840116

Wang, J., Tang, K., Feng, K., Lin, X., Lv, W., Chen, K., Wang, F. (2020). High Temperature and High Humidity Reduce the Transmission of COVID-19. *SSRN*. doi:10.2139/ssrn.3551767

Price, R.H.M., Graham, C. & Ramalingam, S. (2019). Association between viral seasonality and meteorological factors. *Sci Rep* 9, 929. doi:10.1038/s41598-018-37481-y

Kistler, S.M., Tedijanto, C., Goldstein, E., Grad, Y.H., Lipsitch, M. (2020). Projecting the transmission dynamics of SARS-CoV-2 through the postpandemic period. *Science*, 368 (6493), 860-868. doi:10.1126/science.abb5793

Lipsitch, M. (2020). Seasonality of SARS-CoV-2: Will COVID-19 go away on its own in warmer weather?. *Center for Communicable Disease Dynamics, Harvard*. Abgerufen von <https://ccdd.hgh.harvard.edu/will-covid-19-go-away-on-its-own-in-warmer-weather/>

Rucinski, S.L., Binnicker, M.J., Thomas, A.S., Patel, R. (2020). Seasonality of Coronavirus 229E, HKU1, NL63, and OC43 From 2014 to 2020. *Mayo Clinic Proceedings*, 95 (8), 1701-1703. doi:10.1016/j.mayocp.2020.05.032

K. H. Chan, J. S. Malik Peiris, S. Y. Lam, L. L. M. Poon, K. Y. Yuen, W. H. Seto (2011). The Effects of Temperature and Relative Humidity on the Viability of the SARS Coronavirus. *Advances in Virology*, 2011, 734690. doi:10.1155/2011/734690

Danksagung

Vor nicht einmal vier Monaten wurde die Idee, dieses Buch zu schreiben, in einem Chat zwischen Professor und Doktorand um 2 Uhr nachts geboren und der erste Aufbau geplant. Nur wenige Tage später stand ein Team von MitautorInnen fest, die Experimente entwickelten, für ihre jeweiligen Kapitel recherchiert, Ideen ausgetauscht und Texte geschrieben haben. Ohne die tolle Zusammenarbeit im Team wäre es ganz sicher nicht möglich gewesen, ein solches Buch zu schreiben, in welchem neben dem Schreiben einzelner Kapitel auch viel Zeit in die Entwicklung, Planung und Durchführung von Experimenten geflossen ist. Ganz herzlich möchten wir uns daher bedanken:

Bei

- Frauke Brockhage
- Carina Jansen
- Nils Kreienhop
- Janet Luschmüller
- Hanno Penning
- Renate Peper-Bienzeisler und
- Johann Schmidt

Neben der Arbeit der AutorInnen sind für ein Buch auch weitere Personen unerlässlich, ohne die ein solches Projekt nicht möglich wäre. Wir bedanken uns daher auch bei

- Volker Bombien für seine zahlreichen Tipps und seine Erfahrung als Verleger
- Renate Peper-Bienzeisler für ihre Arbeit als Korrekturleserin (und Autorin) und
- Hubert Kreke für seine Arbeit als Korrekturleser.

Lars Orte und Marco Becken

Index

Die Zahlen im Index beziehen sich auf die Kapitel.

A	G
Abschwächung 12	Grippe/Grippevirus 5, 8, 9, 12, 13, 14, 17
Aerosol 4, 6, 7, 9, 17	
Alkohol 5, 9, 10, 11	
Allergik 6, 7, 8	H
Aminosäure 8, 11, 12	Handhygiene 4, 9, 10
	Handschuhe 4
B	Heft 5
Bargeld 4, 5	Herdenimmunität 16
Bisolid 10	Hydrophil 9
Blut 11, 13, 17	Hydrophob 9, 10
	I
C	Immunsystem 11, 12, 13, 17
Containment 16	Inzidenz-Werte 14
D	
Dekontamination 8	K
Denaturierung 8, 10, 11, 13	Kapsid 9, 13
Desinfektionsmittel 8, 9, 10, 11	Kontakinfektion 4, 5
Desoxyribonukleinsäure/DNA 11, 12, 13	Kontaktperson 4, 14, 16
Dispersion/Dispergieren 10	Kupfer 4, 5, 5
E	L
Emulsion/Emulgieren 9, 10	Logistisches Wachstum 15
Enzym 13	Luftfeuchtigkeit 4, 8, 17
Erbgut 9, 12, 13	
Erythrozyt 11	M
Evolution 12	Mathematische Modelle/Mathematische Simulationen 7, 15
Exponentielles Wachstum 12, 14, 15	Micelle 9
F	Mitigation 16
Face Shield 7	Mund-Nase-Schutze 7, 8, 15, 16, 17
Fers 9, 10, 11	Mutation 12
FFP-Masken 7, 8	
Flatten the curve 16	P
Fluoreszenz 4, 6, 13	Parasit 12
	PCR / Polymerase-Kettenreaktion / PCR-Test 13

Index


- pH-Wert 11
Polarität 9, 10
Präzipitation 10
Prognose 12, 15
Protection 16
Protein 8, 9, 10, 11, 12, 13, 17
- R**
Raise the line 16
Reproduktionszahlen/R-Werte 7, 14, 15, 16, 17
Reverse Transkriptase 13
Ribonukleinsäure / RNA 12, 13
- S**
Saisonalität 17
Schleimhäute 4, 7, 9, 13, 17
Schmierinfektion 4, 9, 10
Seife 9, 10
SEIR-Modell 15
SI-Modell 15
SIR-Modell 15
Subtilisin 4, 5, 17
- T**
Temperatur 4, 8, 11, 12, 13, 17
Tensid 9
Trennfaktor 13
Tropfcheninfektion 4, 6, 7, 17
- U**
Ultraviolettstrahlung 4, 9, 13
UV-Licht 6
- V**
Verbreitung 4, 6, 7, 8, 12, 13, 16, 17
Viruslast 12
Virushülle 4, 8, 9, 10, 11, 12, 17
- W**
Weltgesundheitsorganisation/WHO 4, 5, 10
Wirt/Wirtszelle 4, 6, 9, 11, 12, 17

Arbeitsmaterialien der Formate „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“

GreenLab OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 4.1: Fluoreszenzcreme herstellen



InfoBox:
Viren können über die Hände und Berührungen verteilt werden. Im folgenden Versuch kannst Du überprüfen, wie großräumig diese Verteilung sein kann. Um Spuren der Viren sichtbar zu machen, benötigst Du Fluoreszenzcreme. In diesem Versuch kannst Du sie selbst herstellen.

Materialien:

- Diät-Tonic-Water ohne Zucker
- Vaseline
- Kochtopf
- Glas oder eine Schüssel, ggf. Marmeladenglas
- Messbecher und Esslöffel
- kleiner Schneebesen

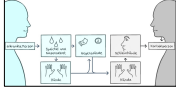
Versuchsdurchführung:
Im Kochtopf dampfst Du ca. 500 ml Tonic Water ohne Zuckerzusatz (auf höchster Stufe) so lange ein, bis nur noch ein bis höchstens zwei Esslöffel Tonic Water übrig geblieben sind. In den noch warmen Topf gibst Du 1/2 Esslöffel Vaseline dazu und verrührst alles mit einem kleinen Schneebesen zu einer einheitlichen Flüssigkeit. Die noch warme Masse gibst Du zum Abkühlen in eine kleine Schüssel oder ein Marmeladenglas mit großer Öffnung und verschließt die Schüssel oder das Marmeladenglas. Mit dieser Creme kannst Du weitere Versuche durchführen.
Hinweis: Manchmal muss nach dem Umfüllen noch ein zweites Mal gerührt werden, damit sich die Bestandteile zu einer Creme verbinden.

Beobachtungen / Auswertung:

GreenLab OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 4.2: Die Spur der Viren



InfoBox:
Viren können über die Hände und Berührungen verteilt werden. Im folgenden Versuch kannst Du überprüfen, wie großräumig diese Verteilung sein kann. Du verlegst also die Spuren des Virus! Dazu benötigst Du die selbsthergestellte Fluoreszenzcreme und die UV-Lampe.

Materialien:

- Fluoreszenzcreme oder käuflich im Onlinehandel zu erwerben
- selbstgestellte Fluoreszenzcreme
- UV-Lampe

Anmerkung: Die Lampe kann im gängigen Elektronikhandel für ca. 10 € gekauft werden. Unbedingt Sicherheitshinweise beachten!

- Verschiedene Oberflächen wie z. B. Türklinken und weitere Gegenstände, die Du anfassen kannst
- Kamera /Smartphone

Sicherheitshinweise:
UV-Lampe: Durch die Einwirkung von ultravioletter (UV) Strahlung können Schüler*innen an den Augen und an der Haut geschädigt werden. Es kann sowohl zu akuten Schäden (z. B. Hautrötung, Hornhaut- und Bindehautentzündung) als auch zu Spätschäden (z. B. Trübung der Augenlinse) kommen. Die Art der Schädigung wird von der Strahlenart, der Strahlungsintensität und der Einwirkungsdauer bestimmt. (Quelle: ffa)

VORSICHT UV-STRAHLUNG!
Bitte nicht direkt in die Lampe blicken!

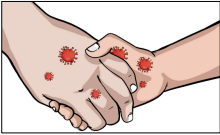
Versuchsdurchführung, Variante 1: Patient Null
Du bist der erste Patient, der sich die Viren eingefangen hat, alles in deinem Haushalt war zuvor virenfrei. Du fasst im Laufe des Tages ja viele Gegenstände an. Was dabei passiert, kannst Du mit der selbsthergestellten Fluoreszenzcreme und der UV-Lampe überprüfen. Dazu musst Du deine Hände eincremen und deinen Alltag simulieren: Du fasst Türklinken, Schränke, Geschirr, Kleidungsstücke, Schlüssel usw. an. Mit der UV-Lampe kannst Du dann deine Spuren sichtbar machen.
Willst Du Spuren in deinem Gesicht sichtbar machen, dann musst Du vorsichtig bei der Untersuchung mit den UV-Strahlen sein.
Wo hast Du Spuren der Fluoreszenzcreme entdeckt?

Beobachtungen / Auswertung:

GreenLab OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 5.1: Die Rolle des Bargelds bei der Virusübertragung



Materialien:

- UV-Lampe *Anmerkung:* Die Lampe kann im gängigen Elektronikhandel für ca. 10 € gekauft werden. Unbedingt Sicherheitshinweise beachten!
- selbstgestellte Fluoreszenzcreme
- ggf. Einmalhandschuhe
- Kamera /Smartphone

Sicherheitshinweise:
VORSICHT UV-STRAHLUNG!
Bitte nicht direkt in die Lampe blicken!

AHA-Regeln beachten!

Versuchsdurchführung, Variante 2: Ansteckende Höflichkeit

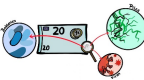
Dazu musst Du wieder deine Hände (bzw. die Handschuhe) eincremen. Jetzt kannst Du Besucher*innen und / oder Mitbewohner*innen und / oder deine Mitschüler*innen per Handschlag begrüßen. Mit der UV-Lampe kannst Du deine Spuren sichtbar machen.
Wo überall hast Du deine Spuren entdeckt?

Beobachtungen / Auswertung:

GreenLab OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 5.1: Die Rolle des Bargelds bei der Virusübertragung

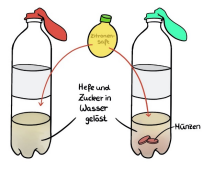


InfoBox:
Neben der Zahlung mit Geldscheinen werden auch Münzen zur Bezahlung genutzt. Im Vergleich zu Geldscheinen ist die Kontamination von Münzen mit Erregern noch wenig erforscht. Mit einem Modellversuch kannst Du das selbst untersuchen.
Willst Du diesen Versuch durchführen, musst Du ein bisschen mehr Zeit aufwenden.


Materialien:

- Haushaltszucker
- ein Päckchen Trockenhefe
- Zitronensaft oder Haushaltsessig
- warmes Wasser
- 30 Münzen (1, 2- oder 5-Cent)
- eine kleine Schüssel
- zwei Plastikflaschen (500 ml)
- einen Trichter
- einen Esslöffel
- zwei Luftballons
- zwei Gummibänder

Versuchsdurchführung:
Einige 1-, 2- oder/und 5-Cent-Münzen werden über Nacht in eine kleine Schüssel mit wenig Zitronensaft (oder Essig) gelegt.
Am nächsten Tag gibst Du zu etwa einem halben Liter handwarmes Wasser 1/2 Päckchen Trockenhefe sowie 2 Esslöffel Zucker und führst gut um. Mit einem Trichter gibst Du etwa die Hälfte dieser Suspension in je eine Flasche. In die erste Flasche gibst Du den Zitronensaft (auch mit den Münzen, so kannst Du beide Flaschen unterscheiden). In die andere Flasche gibst Du etwa dieselbe Menge an reinem Zitronensaft, wie Du bei der ersten Flasche verwendet hast. Über jede Flaschenöffnung wird ein geweiterter, luftleerer Luftballon gezogen und mit einem Gummiband fixiert.
In ungefähr zwei bis drei Stunden kannst Du das Versuchsergebnis ablesen und notieren.




Corona zwischen Mythos und Wissenschaft



Beobachtungen / Auswertung:

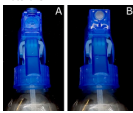
Corona zwischen Mythos und Wissenschaft



Versuch 6.1: Tröpfchenausstoß


Infobox:
Dieses Experiment ist ein sogenanntes Modellexperiment: Es wird das Ausstoßen von Tröpfchen und Aerosolen verschiedener Größen durch einen Menschen beim Reden oder Husten simuliert. Das heißt, dass die Beobachtungen nicht eins zu eins auf die Realität übertragen werden können. Das Experiment dient lediglich der Abbildung des Verhaltens ausgedehnter Tröpfchen beziehungsweise Aerosole sowie der Darstellung ihrer Verteilung. Dieses Versuch kannst Du am besten zu zweit durchführen.

Materialien:



Einstellung des Sprühkopfs
A Einstellung für kleinere Tropfen (Tröpfchen)
B Einstellung für größere Tropfen

- Tonic-Water, ohne Zucker
- ggf. Kamera / Smartphone
- UV-Lampe/Schwarzlicht-Lampe
- Eine leere Sprühflasche z. B. für Badreimiger mit größenverstellbarem Zerstäuber



Sicherheitshinweise:

VORSICHT UV-STRAHLUNG!
Bitte nicht direkt in die Lampe schauen!

AHA Regeln beachten!
Nicht direkt in die UV-Lampe sehen!


Versuchsdurchführung:
Die leere Sprühflasche und der Sprüheinsatz werden zunächst gründlich gereinigt und getrocknet. Die so vorbereitete Sprühflasche wird zu einem Drittel mit Tonic Water gefüllt. Diese Flasche muss auf einer glatten, leicht zu reinigenden, großen Fläche abgestellt werden. Der Raum sollte abgedunkelt werden, damit Du die Tropfen im UV-Licht besser erkennst!

Durchführung 1: Einstellung B wählen.
Halte die UV-Lampe direkt neben dem Sprühkopf und sprühe jetzt fünfmal. Beobachte dabei die Größe, Verteilung und die Flugweite der Tropfen. Achte auch auf die Schwelzeiten der Tropfen und notiere deine Beobachtungen!

Durchführung 2: Sprüheinstellung A wählen (feinere Tropfen). Wiederhole das Experiment genauso wie in 1 beschrieben und halte das Ergebnis fest.


Anschließend kannst Du in beiden Fällen die besprühte Fläche mit der UV-Lampe genauer untersuchen. Am besten startest Du bei der Sprühflasche und verfolgst die Tropfen entlang der Sprührichtung. Richte dein Augenmerk auch hier auf die Größe, Verteilung und die Flugweite der Tropfen und halte das Ergebnis fest.

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft



Beobachtungen / Auswertung:


Corona zwischen Mythos und Wissenschaft



Versuch 7.1: Wirksamkeit verschiedener Gesichtsmasken

Infobox:
Es gibt es viele Arten von Mund-Nase-Bedeckungen, die in verschiedenen Bereichen und Situationen eingesetzt werden. Auch im Alltag werden einige Varianten genutzt, die sich in ihrer Schutzwirkung unterscheiden können. Die Wirksamkeit der eingesetzten Arten von Masken kann mit zwei einfachen Experimenten (7.1 und 7.2) überprüft werden. Es können sämtliche Arten von Mund-Nase-Bedeckungen überprüft werden, Du kannst zum Beispiel deine eigene bevorzugte Maske testen.

Materialien:



A FFP3-Maske B FFP2-Maske C medizinischer Mund-Nasen-Schutz
D Mehrlagiger, selbstgenähter Mund-Nasen-Schutz E Nylon-Schal
F Face-Shield G Einlagiger, selbstgenähter Mund-Nasen-Schutz H T-Shirt

- Eine Kerze
- Feuerzeug oder Streichhölzer
- Verschiedene Mund-Nase-Masken (siehe Abbildung links)
- Kamera/Smartphone

Versuchsdurchführung:
Zünde eine Kerze an und prüfe ohne Maske, wie stark Du pusten musst, um die Flamme zu löschen. Setze deine Maske auf und achte darauf, dass die Maske gut anliegt. Versuche nun, die Kerzenflamme durch die Gesichtsmaske auszustupfen. Wenn Du verschiedene Masken besitzt, kannst Du diesen Test damit wiederholen. Halte deine Ergebnisse fest.

Beobachtungen / Auswertung:

GreenLab
OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 7.2: Gesichtsmasken in grünem Licht



Infobox:
Die Wirksamkeit der eingesetzten Arten von Masken kannst Du in diesem Experiment mit grünem Licht prüfen und sichtbar überprüft werden. Es können sämtliche Arten von Mund-Nasen-Bedeckungen überprüft werden, Du kannst zum Beispiel auch deine eigene bevorzugte Maske testen.

Materialien:

- Wasser
- Eine Taschenlampe, die grünes Licht erzeugt
- Eine Sprühflasche mit feinem Zerstäuber
- verschiedene Schutzmasken
- Kamera / Smartphone

Sicherheitshinweise:
AHA-Regeln unbedingt einhalten!

Versuchsdurchführung:
Führe dieses Experiment am besten mit der Hilfe einer zweiten Person durch. Fülle das Wasser in die Sprühflasche und dunkle den Raum so gut es geht ab. Positioniere die Taschenlampe in der Nähe des Zerstäubers der Sprühflasche, sodass die versprühten Tropfen angeleuchtet werden. Sprühe nun einmal **ohne Schutzmaske** (AHA-Regeln beachten!) mit der Sprühflasche, um den Tröpfchenausstoß später vergleichen zu können. Achte beim Sprühen auf die Menge und Flugweite der Tröpfchen, die von der Taschenlampe angeleuchtet werden. Halte nun eine Schutzmaske vor den Zerstäuber der Sprühflasche und sprühe erneut. Achte darauf, wie viele Tröpfchen Du im Licht der Taschenlampe erkennen kannst und wie weit diese fliegen. Wiederhole den Vorgang mit allen Dir zur Verfügung stehenden Arten von Masken. So kannst Du auch leicht überprüfen, wie wirksam Deine eigenen Masken sind.
Die Ergebnisse kannst Du am besten mit der Kamera festhalten.

Beobachtungen / Auswertung:

GreenLab
OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Zusatzinformationen:




Auf der Website www.aatishb.com/maskmath kannst Du unterschiedliche Werte für Effektivität von Masken beim Ein- und Ausatmen und die Anzahl der Personen, die sie tragen, auswählen und mit ihnen berechnen, was nötig ist, damit der R-Wert (vergleiche Kapitel 14) unter 1 fällt und die Ausbreitung des Coronavirus eingedämmt werden kann.
Auf der Website werden die mathematischen Zusammenhänge einfach erklärt und über Schieberegler lassen sich verschiedene Einstellungen treffen. Anhand von Diagrammen und Simulationen siehst Du sofort die Auswirkungen deiner Einstellungen.

GreenLab
OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 8.1: Masken backen?



Infobox:
Um Ressourcen zu schonen, wird eine Wiederverwendung der Schutzmasken empfohlen. Hierfür wurden verschiedene Strategien zur Aufbereitung vorgestellt, unter anderem das Erhitzen der Masken auf 70°C, denn die Temperatur hat einen großen Einfluss auf Organismen. Das kannst Du mittels eines einfachen Modell-Experimentes untersuchen. Der Einfluss der Temperatur auf das Eiweiß ist vergleichbar mit der Temperaturempfindlichkeit bestimmter Bestandteile von Viren. Du kannst selbst überprüfen, inwieweit Hitze zur Inaktivierung von Coronaviren genutzt werden kann.

Materialien:

- Ein Hühnerrei
- Glasschale oder ein Gefäß (bestenfalls komplett durchsichtig)
- Gefäß zum Auffangen des Eiklars (Eiweiß)
- Backofen
- Topflappen oder Backofenhandschuhe
- Kamera/Smartphone

Sicherheitshinweise: Backofenhandschuhe oder Topflappen verwenden


Versuchsdurchführung:
Der Backofen wird auf 70 °C vorgeheizt.
Ein Hühnerrei wird aufgeschlagen und das Eiweiß vom Eigelb abgetrennt, indem Du das Eigelb zwischen den Schalenhälften hin und her gleiten lässt. Das Eiweiß gibst Du in ein Gefäß. Ungefähr die Hälfte des Eiweißes überführt Du in eine Glasschale (durchsichtig), so dass der Boden etwa einen halben Zentimeter hoch bedeckt ist. Stelle diese Glasschale für 30 Minuten in den Backofen. Überprüfe das Eiweiß etwa alle 5 Minuten auf eventuelle Veränderungen und halte das Ergebnis jeweils mit der Kamera fest.
Du kannst den Versuch mit der anderen Hälfte des abgetrennten Eiweißes bei 50 °C wiederholen und die Ergebnisse wieder mit der Kamera festhalten und vergleiche die Ergebnisse.

Beobachtungen und Auswertung:

GreenLab
OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 9.1: Emulgierende Wirkung von Seifen



Infobox:
Entscheidend für den Umgang mit dem Händewaschen ist es, ob regelmäßiges Waschen mit Seife effektiv vor COVID-19 schützt. Lies dir vorab die Aufgabenstellungen zu, inwiefern das Händewaschen mit Seife Coronaviren inaktiviert oder zerstört, missen zunächst verschiedene Fragen beantwortet werden: Was sind Seifen und wieso sind sie in der Lage, verschiedene Krankheitserreger unschädlich zu machen? Inwiefern unterscheiden sich Viren von anderen Krankheitserregern und kann das Coronavirus auch durch das Händewaschen mit Seife unschädlich gemacht werden?

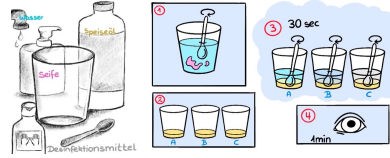
Chemikalien und Materialien:

- Alkoholisches Desinfektionsmittel oder eine klare Spirituose (mindestens 50 Vol.-%, bestenfalls Wodka oder Doppelkorn)
- Speiseöl
- Flüssigseife
- Vier Gläser
- Vier Teelöffel
- Wasser
- Flüssigfett, wasserfest
- Kamera/Smartphone

Versuchsdurchführung:

1) Herstellung der Seifenlösung:
Zu circa 100 ml Wasser gibst Du 5 ml Flüssigseife (das sind 2 Hölbe aus der Flasche) und vermischt beides vorsichtig, damit es nicht zu stark schäumt.

2) Durchführung:
Du musst drei Gläser mit A, B und C beschriften und gibst in jedes Glas ungefähr 5 bis 10 ml (ca. 1 cm hoch) Speiseöl.
Glas A: Du gibst noch 10 ml Wasser zu dem Speiseöl.
Glas B: Du gibst zu dem Öl noch 10 ml der Seifenlösung.
Glas C: In dieses Glas kommen noch 10 ml des Desinfektionsmittels (oder der Spirituose)
Den Inhalt jedes Glases rührst Du gut mit je einem Teelöffel um und über beobachtest anschließend über 15 Minuten die drei Gläser. Nach einer Minute machst Du jeweils ein Foto, dann in Abständen von 5 Minuten, um das Ergebnis des Versuchs besser vergleichen zu können.



GreenLab
OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft


Beobachtungen / Auswertung:

GreenLab
OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 9.2: Dispergierende Wirkung von Seife

Infobox:
Die emulgierende Wirkung einer Seifenlösung hast Du in Versuch 9.1 kennen gelernt. In diesem Versuch lernst Du eine weitere wichtige Eigenschaft der Seifenlösung kennen.



Materialien:

- Ruß, Kohlestaub, Aktivkohlepulver, Kohletabletten aus der Apotheke oder Grillkohle
- Seifenlösung aus Versuch 9.1
- Vier Gläser, beschriftet
- Zwei Teelöffel
- Wasser

- Zwei Trichter
- Zwei Kaffeefilter
- Wasser
- Filzstift, wasserfest
- ggf. Kamera/Smartphone

Versuchsdurchführung:
Du benötigst auch hier die Seifenlösung aus Versuch 9.1. Dazu brauchst Du noch sehr feinen Kohlenstaub oder Ruß. Dazu kannst Du z. B. Grillkohle fein zermahlen (mörsern) oder ein berußtes Glas abkratzen oder eine Kohletablette aus der Apotheke ebenfalls fein zermahlen.

Fülle ein Glas mit ungefähr 100 ml Wasser und ein zweites Glas ebenso mit 100 ml der Seifenlösung. Gib anschließend in das Glas mit Wasser und das Glas mit Seifenlauge je einen halben Teelöffel Ruß (oder Aktivkohlepulver oder ...). Falte einen Kaffeefilter und lege ihn in einen Trichter. Stelle ein leeres Glas unter den Trichter, rühre das erste Glas mit dem Ruß gut um und filtriere den Inhalt durch den Kaffeefilter. Wasche den Trichter nach der vollständigen Filtration, falte einen neuen Kaffeefilter und wiederhole die Filtration mit dem anderen Glas. Am Ende des Versuches kannst Du beide Filtrate (also das, was durch den Filter in die leeren Gläser gelaufen ist) miteinander vergleichen.


Beobachtungen / Auswertung:

GreenLab
OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 10.1: Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis

Infobox:
Die ursprünglichen Rezepturen stammen aus einem Dokument von 2010, das aber von der WHO aufgrund der Pandemie erneut publiziert wurde. Das vorrangige Ziel ist, jeder Person die selbstständige, bedarfsgerechte Herstellung eines Desinfektionsmittels aus Grundchemikalien zu ermöglichen. Im Wesentlichen gibt es zwei Herstellungsmöglichkeiten, die Du in Experimenten kennen lernen sollst. Diese Desinfektionsmittel kannst Du für weitere Experimente im Buch verwenden. Du kannst Dich im Experiment für eine der beiden Möglichkeiten entscheiden – oder aber auch beide ausprobieren.




Chemikalien:

- Spiritus (96 %) (Ethanol)
- Optional: Wasserstoffperoxid (3 %) und Glycerin

Anmerkung: Wasserstoffperoxid und Glycerin kannst Du in der Apotheke kaufen. Das Desinfektionsmittel ist auch ohne Wasserstoffperoxid und Glycerin wirksam.

Materialien:

- Ein verschließbares Gefäß oder eine leere Desinfektionsmittelflasche
- Destilliertes Wasser (beziehungswise einen Wasserkocher oder einen Kochtopf)
- Messbecher (500 ml und 100 ml)
- Einen Esslöffel und einen Teelöffel
- Permanenter Filzstift

Sicherheitshinweise:
Spiritus (Ethanol) reizt die Haut und die Augen und ist leicht entflammbar. 

Versuchsdurchführung:
Zu 420 ml Spiritus (Ethanol) im Messbecher gibst Du 7,5 ml Glycerin und rührst mit dem Esslöffel gut um, bis keine Schlieren mehr zu erkennen ist. Nun gibst Du 20 ml der Wasserstoffperoxidlösung hinzu und füllst mit destilliertem Wasser auf 500 ml auf und rühre wiederum gut um. Solltest Du kein destilliertes Wasser haben, kannst Du Wasser im Wasserkocher ca. drei Minuten lang abkochen.

Die fertige Flüssigkeit gibst Du in eine saubere Vorratsflasche, die Du zuvor mit dem Filzstift so beschriftet hast:

Desinfektionsmittel auf Ethanolbasis, begrenzt viruzid

Die Vorratsflasche muss gut verschlossen werden.


Beobachtungen / Auswertung:

GreenLab
OS

Corona zwischen Mythos und Wissenschaft

Versuch 10.2: Desinfektionsmittel auf Isopropanolbasis

Infobox:
Mit diesem Experiment kannst Du ein weiteres Desinfektionsmittel auf der Basis eines anderen Alkohols herstellen.




Chemikalien:

- Isopropanol (aus dem Baumarkt)
- Optional: Wasserstoffperoxid (3 %) und Glycerin

Anmerkung: Wasserstoffperoxid und Glycerin kannst Du in der Apotheke kaufen. Das Desinfektionsmittel ist auch ohne Wasserstoffperoxid und Glycerin wirksam. Dann musst Du nur die Mengen entsprechend anpassen.

Materialien:

- Ein verschließbares Gefäß oder eine leere Desinfektionsmittelflasche
- Destilliertes Wasser (beziehungswise einen Wasserkocher oder einen Kochtopf)
- Messbecher (500 ml und 100 ml)
- Einen Esslöffel und einen Teelöffel
- Permanenter Filzstift

Sicherheitshinweise:
Isopropanol reizt die Haut und die Augen und ist leicht entflammbar. 

Versuchsdurchführung:
Zu 375 ml Isopropanol im Messbecher gibst Du 7,5 ml Glycerin und rührst mit dem Esslöffel gut um, bis keine Schlieren mehr zu erkennen ist. Nun gibst Du 20 ml der Wasserstoffperoxidlösung hinzu und füllst mit destilliertem Wasser auf 500 ml auf und rühre wiederum gut um. Solltest Du kein destilliertes Wasser haben, kannst Du Wasser im Wasserkocher ca. drei Minuten lang abkochen.

Die fertige Flüssigkeit gibst Du in eine saubere Vorratsflasche, die Du zuvor mit dem Filzstift so beschriftet hast:

Desinfektionsmittel auf Isopropanolbasis, begrenzt viruzid

Die Vorratsflasche muss gut verschlossen werden.

Beobachtungen / Auswertung:



Versuch 10.3: Wirkung von Desinfektionsmittel auf Viren



Infobox:
Mit diesem Experiment kannst Du modellhaft überprüfen, welche Wirkung Alkoholische beziehungsweise alkoholhaltige Desinfektionsmittel auf Viren haben.

Chemikalien / Materialien:

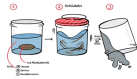
- Spiritus (Ethanol)
- Selbst hergestelltes Desinfektionsmittel
- Kürbiskernöl aus dem Supermarkt oder der Drogerie
- Wasser
- Drei leere Marmeladengläser (mit Deckel) und ohne Etikett
- Einen Messbecher
- Eine Einmalpipette / einen Teelöffel
- Kamera / Handy

Versuchsdurchführung:

Für diesen Versuch benötigst Du drei leere Marmeladengläser mit Deckel. Wichtig für den Versuch ist, dass die Marmeladengläser sehr sauber sind und Du problemlos in das Glas gucken kannst! Darüber hinaus brauchst Du für den Versuch Kürbiskernöl, das Du in den meisten Supermärkten kaufen kannst.

Hinweis: Solltest Du kein Kürbiskernöl besitzen, kannst Du ersatzweise zu einem kleinen Glas mit Speiseöl einen Teelöffel Paprikapulver geben, verschließen und gut schütteln. Das Öl kannst Du über Nacht stehen lassen und am nächsten Tag nur das rot gefärbte Öl dekantieren.

Fülle zunächst je 1 ml Kürbiskernöl (oder das von Dir angefarbte Öl) in die drei Marmeladengläser. Dies geht am besten mit Einmalpipetten, Du kannst aber auch einen Teelöffel benutzen und diesen zur Hälfte füllen. Gib nun mit einem Messbecher ins erste Glas 50 ml Wasser, in das zweite 50 ml Spiritus und in das dritte 50 ml Desinfektionsmittel. Verschließe das erste Marmeladenglas mit dem Deckel und schüttle es gut durch, sodass sich das Öl gut mit dem Wasser vermischt. Warte nach dem Schütteln noch ungefähr 30 Sekunden und kippe den Inhalt des Glases mit einem Schwung in den Abguss.



Wiederhole diesen Vorgang auch für die Marmeladengläser mit Spiritus beziehungsweise Desinfektionsmittel. Anschließend kannst Du die drei Marmeladengläser miteinander vergleichen. Halte das Ergebnis mit der Kamera fest.

Beobachtungen / Auswertung:



Versuch 11.1: Desinfektionsmittel im Blut



Infobox:
Donald Trumps Idee, Desinfektionsmittel gegen COVID-19 zu spritzen, führte – nur wenige Stunden, nachdem er sie auf einer Pressekonferenz preisgegeben hatte – zu einem weltweiten Aufbruch in verschiedene Maßnahmen, die einträglich von einer rotenher Maßnahme warnten. In diesem Experiment soll die Wirkungsweise von Desinfektionsmitteln auf das Blut untersucht werden. Dazu wird mithilfe von Eiweiß, Wasser und Kochsalz ein Blutplasma-Modell erstellt.

Materialien:

- Desinfektionsmittel
- Spiritus
- Kochsalz
- Leitungswasser
- Hühnerei
- drei Wassergläser (durchsichtig)
- Einen möglichst durchsichtigen Messbecher (mindestens 500 ml)
- Einen Esslöffel
- Kamera / Handy

Sicherheitshinweise:

Spiritus (Ethanol) reizt die Haut und die Augen und ist leicht entflammbar.



Versuchsdurchführung:

Ein Hühnerei wird aufgeschlagen und das Eiweiß vom Eigelb abgetrennt, indem Du das Eigelb zwischen den Schalenhälften hin und her gleiten lässt. Das Eiweiß gibst Du in den Messbecher. Fülle mit Leitungswasser auf ungefähr 250 ml auf. Die Lösung ist milchig-weiß. Unter Rühren musst Du nun solange Kochsalz hinzugeben, bis die Lösung klar geworden ist. Diese Lösung verteilst Du gleichmäßig auf die drei Gläser. Dabei dient das erste Glas als Vergleich. In das zweite Glas gibst Du noch 10 ml Spiritus und in das dritte das Desinfektionsmittel. Halte das Versuchsergebnis mit der Kamera fest.

Beobachtungen / Auswertung:

Erklärung über die Eigenständigkeit der erbrachten wissenschaftlichen Leistung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Bei der Auswahl, Gestaltung und Auswertung folgenden Materials haben mir die nachstehend aufgeführten Personen in der jeweils beschriebenen Weise geholfen.

- Henning Amel: Korrektur und Überarbeitung der für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ erstellten Arbeitsmaterialien, Mitautorenschaft bei Publikationen
- Tatjana Korte: Gemeinsame Konzeption des Bewertungsspiels „Burger.i.doo“ im Rahmen des Schülerlabores „Es geht um die Wurst“, Mitautorinnenschaft bei Publikationen
- Thilo Nannen: Korrektur und Überarbeitung der für das Schülerlabor „Es geht um die Wurst“ erstellten Arbeitsmaterialien
- Marco Beeken: Mitarbeit und Mitautorenschaft beim Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ und den damit verbundenen weiteren Formaten
- Frauke Brockhage: Mitarbeit und Mitautorinnenschaft beim Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ und den damit verbundenen weiteren Formaten
- Carina Jansen: Mitarbeit und Mitautorinnenschaft beim Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ und den damit verbundenen weiteren Formaten
- Nils Kreienhop: Mitarbeit und Mitautorenschaft beim Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ und den damit verbundenen weiteren Formaten
- Janet Lusmöller: Mitarbeit und Mitautorinnenschaft beim Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ und den damit verbundenen weiteren Formaten
- Hanno Penning: Mitarbeit und Mitautorenschaft beim Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ und den damit verbundenen weiteren Formaten
- Renate Peper-Bienzeisler: Mitarbeit und Mitautorinnenschaft beim Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ und den damit verbundenen weiteren Formaten
- Johann Schmidt: Mitarbeit und Mitautorenschaft beim Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ und den damit verbundenen weiteren Formaten
- Jennifer Wending: Mitarbeit und Illustratorinnenschaft beim Buch „Corona zwischen Mythos und Wissenschaft“ und den damit verbundenen weiteren Formaten

Weitere Personen waren an der inhaltlichen, gestalterischen oder materiellen Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht beteiligt. Insbesondere habe ich hierfür nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- bzw. Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen.

Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Unterschrift

