

Stickstoff-Box: Begleitheft

# Nitrat – Skandal oder Panikmache?

## Stickstoff-Box: Begleitheft

# Nitrat – Skandal oder Panikmache?

### Inhalt

<b>1</b>	<b>Das Projekt stellt sich vor .....</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>Sauberes Wasser – aber wie? .....</b>	<b>30</b>
<b>2</b>	<b>Stickstoff in unserer Lebenswelt.....</b>	<b>5</b>	5.1	Präventive Maßnahmen.....	30
2.1	Formen des Stickstoffs .....	5	5.1.1	Bedarfsorientiertere Düngung.....	31
2.2	Aufnahme und Verteilungswege von Stickstoffverbindungen.....	7	5.1.2	Gezielte Bepflanzung .....	33
2.2.1	Die Bedeutung von Stickstoff .....	7	5.1.3	Verbesserte Biogasanlagen.....	33
2.2.2	Stickstoff-Fixierung.....	7	5.1.4	Persönliches Konsumverhalten .....	35
2.2.3	Der natürliche Stickstoffkreislauf.....	9	5.2	Reaktive Maßnahmen .....	39
2.2.4	Der Einfluss des Menschen .....	10	5.2.1	Wasserwirtschaftliche Verfahren.....	39
2.4	Stickstoffproblematik in Niedersachsen ...	12	5.2.2	Physikalisch-chemische Verfahren....	40
<b>3</b>	<b>Auswirkungen eines übermäßigen Stickstoffeintrags.....</b>	<b>14</b>	5.2.3	Biologische Verfahren .....	41
3.1	Auswirkungen für die Umwelt .....	15	5.2.4	Katalytische Verfahren .....	42
3.2	Auswirkungen für den Menschen .....	18	5.3	Alle Maßnahmen auf einem Blick .....	43
3.2.1	Wie nehmen wir Nitrat auf? .....	18	5.4	Was bedeutet das für uns? .....	45
3.2.2	Potenzielle Gesundheitsrisiken .....	20	<b>6</b>	<b>Lösungshinweise .....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>Rechtliche Grundlagen .....</b>	<b>24</b>	<b>7</b>	<b>Glossar .....</b>	<b>52</b>
4.1	Richtlinien zum Umweltschutz .....	25	<b>8</b>	<b>Bildnachweise .....</b>	<b>54</b>
4.2	Düngemittleinsatz.....	26	<b>9</b>	<b>Literaturnachweise.....</b>	<b>55</b>
4.2.1	Das Düngegesetz .....	26	<b>10</b>	<b>Impressum.....</b>	<b>59</b>
4.2.2	Die Düngeverordnung .....	27			
4.2.3	Kritik und Reformen .....	29			

## 1 Das Projekt stellt sich vor

### Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern

Ein Citizen-Science-Projekt zur nachhaltigen Wassernutzung

Die Nitratbelastung der Umwelt nimmt in der gesellschaftlichen Diskussion einen immer größer werdenden Stellenwert ein. So wird beispielweise aufgrund der intensiven landwirtschaftlichen Bewirtschaftung in den Landkreisen Osnabrücker Land, Cloppenburg, Vechta und Emsland seit vielen Jahren über eine stetig zunehmende Nitratbelastung in verschiedenen Gewässertypen berichtet. Gleichzeitig wächst in der Gesellschaft das Interesse, an aktuellen Forschungsthemen teilzuhaben. In diesem Kontext sind diverse Formate entstanden, bei denen interessierte Bürgerinnen und Bürger unmittelbar an der Forschung zu hochaktuellen Fragestellungen teilnehmen; ein bekanntes Format ist der Citizen-Science-Ansatz.

In einem gemeinsamen Projekt vereinen die Universitäten Osnabrück und Oldenburg die Nitrat-Thematik mit dem Citizen-Science-Ansatz. Das Projekt wird durch die DBU gefördert.



### Teilprojekt 1: Universität Osnabrück

Aus umweltchemischer Sichtweise wird im Oldenburger Münsterland und in den benachbarten Landkreisen Osnabrück Nord sowie dem westlichen Landkreis Emsland seit Sommer 2019 ein flächendeckendes Nitrat-Monitoring von Bürgerinnen und Bürgern durchgeführt. Später werden Ausstellungen zur Nitratthematik und -problematik entwickelt und angeboten.



### Teilprojekt 2: Universität Oldenburg

Darüber hinaus wurde ein Experimentierset entwickelt, das es ermöglichen soll, die Problematik einer zu hohen Stickstoffbelastung des Bodens sowie die Möglichkeiten der Nitratentfernung aus dem Wasser experimentell zu erkunden. Ebenso können die eigenen Einflussmöglichkeiten, den Nitratreintrag zu reduzieren, reflektiert werden.



Herzlichen Glückwunsch,  
auch Sie sind Teil des Projekts!

Im Rahmen des Teilprojektes 2 haben Sie dieses Heft und die Stickstoff-Box erhalten. Mithilfe dieses Heftes sollen Sie etwas tiefer in die Stickstoffproblematik eindringen können. Dafür werden u. a. folgende Fragen näher betrachtet:

- Wie gelangt Stickstoff in die Umwelt und wie wird er dort verteilt?
- Was passiert, wenn zu viel Stickstoff in die Umwelt gelangt?
- Welche Gesetze gibt es dazu?
- Welche Maßnahmen gibt es, das Wasser sauber zu halten?
- Was kann ich persönlich gegen die Stickstoffproblematik tun?

Begriffe, die im Laufe des Heftes mit einem \* gekennzeichnet sind, lassen sich im Glossar am Ende der Broschüre nachschlagen.

## Experimente



Sie finden an verschiedenen Stellen des Heftes passende Experimente, die sich mithilfe von haushaltsüblichen Materialien durchführen lassen. Einige benötigte Materialien und Chemikalien sind zudem als Teil der Stickstoff-Box beigefügt.

Materialienlisten und ausführliche Experimentieranleitungen sind in dem separaten Experimentierheft zu finden.

## Exkurse



Sie interessieren sich für Informationen, die vielleicht nur indirekt etwas mit Stickstoff zu tun haben oder wollen einfach einen Aspekt vertiefen? Dafür sind die Exkurse gedacht, die immer wieder im Heft auftauchen.

## Zum Nachdenken



Oft helfen kleine Aufgaben dabei, Dinge besser zu verstehen. Diese Aufgaben können ganz unterschiedlich sein. Manchmal sollen Vermutungen für mögliche Ursachen aufgestellt werden, an anderer Stelle stehen Recherche- oder Rechenaufgaben.

Sie wissen nicht weiter? Am Ende des Heftes befinden sich Anregungen und Lösungshinweise zu den einzelnen Aufgaben.

## 2 Stickstoff in unserer Lebenswelt

Elementarer Stickstoff ist mit einem Volumenanteil von 78,1 % Hauptbestandteil der Luft. Darüber hinaus kommt es im gebundenen Zustand, z. B. in Form von Ammoniak, Nitraten und Stickstoffoxiden, vor.

Pflanzliche und tierische Organismen benötigen Stickstoff um u. a. Eiweißstoffe aufzubauen<sup>[1]</sup>. Über verschiedene Prozesse findet ein Austausch von Stickstoff zwischen der Atmosphäre und Organismen sowie zwischen verschiedenen Organismen statt, welche Teil des sogenannten Stickstoff-Kreislaufs sind<sup>[2]</sup>.

### 2.1 Formen des Stickstoffs

Elementarer Stickstoff ist bei Raumtemperatur gasförmig und verflüssigt sich erst bei Temperaturen unter  $-196\text{ °C}$ . Wie der Strukturformel eines Stickstoffmoleküls ([Abbildung 1](#)) zu entnehmen, sind die Atome über eine Dreifachbindung miteinander verknüpft, wodurch die Stickstoffmoleküle eine hohe chemische Stabilität erreichen. Darum ist es sehr reaktionsträge und kann z. B. als Schutzgas verwendet werden<sup>[3]</sup>.



Abbildung 1: Strukturformel eines Stickstoffmoleküls

Stickstoff existiert zudem in einer Vielzahl von Verbindungen ([Tabelle 1](#)). Ein bekanntes Beispiel ist Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Ammoniak dient zu einem großen Teil der Weiterverarbeitung zu Düngemitteln\*. Wird Ammoniak protoniert\*, entsteht ein positiv geladenes Ammonium-Ion ( $\text{NH}_4^+$ ). Dieses Kation kann mit Anionen\* Salze bilden, sogenannte **Ammoniumsalze** ([Experiment 1](#)). Verbindungen, die sich aus den Elementen Stickstoff und Sauerstoff zusammensetzen, werden als Stickstoffoxide (oder Stickoxide) bezeichnet. Im Zusammenhang mit Luftverunreinigungen fällt zudem häufig der Begriff „Nitrose Gase“ mit der Formel  $\text{NO}_x$ .

Bekannte Sauerstoffsäuren des Stickstoffs sind Salpetrige Säure und Salpetersäure, wobei letztere zu den wichtigsten Säuren in der chemischen Industrie zählt. Salze der Salpetrigen Säure heißen **Nitrite**. Sie setzen sich aus einem einfach positiv geladenen Kation (z. B. ein Natrium-Ion ( $\text{Na}^+$ )) und dem einfach negativ geladenem Nitrit-Ion ( $\text{NO}_2^-$ ) zusammen. Nitrite entstehen in der Natur als Zwischenprodukte bei Prozessen der Nitrifikation und Denitrifikation (siehe Kapitel 2.2.3) und sind giftig. Die Salze der Salpetersäure werden als **Nitrate** bezeichnet, sie enthalten das Nitrat-Ion ( $\text{NO}_3^-$ ) (**Experiment 2**). Zu ihnen gehören beispielsweise Natriumnitrat ( $\text{NaNO}_3$ ) und Ammoniumnitrat ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )<sup>[1]</sup>.

### Experiment 1

Prüfung von Wasserproben auf Ammonium-Ionen



### Experiment 2

Prüfung von Wasserproben auf Nitrat-Ionen



Tabelle 1: Übersicht einiger Stickstoffverbindungen

	Name	Summenformel	Vorkommen (Beispiele)
Oxide des Stickstoffs	Stickstoffmonoxid	$\text{NO}$	Autoabgase, Tabakrauch
	Stickstoffdioxid	$\text{NO}_2$	Autoabgase, Tabakrauch
	Distickstoffmonoxid (Lachgas)	$\text{N}_2\text{O}$	Nebenprodukt biologischer Prozesse, z. B. Nitrifikation
Sauerstoffsäuren des Stickstoffs	Salpetrige Säure	$\text{HNO}_2$	
	Salpetersäure	$\text{HNO}_3$	
Salze des Stickstoffs	Natriumnitrit	$\text{NaNO}_2$	
	Natriumnitrat	$\text{NaNO}_3$	Düngesalze
	Ammoniumnitrat	$\text{NH}_4\text{NO}_3$	
Weitere Verbindungen des Stickstoffs	Ammoniak	$\text{NH}_3$	Zersetzungsprodukt tierischer Exkremente
	Harnstoff	$\text{CH}_4\text{N}_2\text{O}$	Bestandteil von Exkrementen
	Cyanwasserstoff (Blausäure)	$\text{HCN}$	Mandel- und Kirschkerne
	Aminosäuren		Bausteine von Proteinen

## 2.2 Aufnahme und Verteilungswege von Stickstoffverbindungen

### 2.2.1 Die Bedeutung von Stickstoff

Stickstoff ist als Baustein organischer Substanzen wie Aminosäuren, Proteine und Nucleinsäuren unverzichtbar für den Aufbau von lebendem Gewebe. Eine Pflanze enthält dabei ungefähr 2 – 4 % Stickstoff. Obwohl die Erdatmosphäre zu 78 % aus molekularem Stickstoff ( $N_2$ ) besteht, gilt Stickstoff beim Pflanzenwachstum üblicherweise als wesentlicher, limitierender Nährstoff<sup>[4,5]</sup>. Das liegt daran, dass die meisten Pflanzen nicht in der Lage sind, Stickstoff in elementarer Form aufzunehmen. Für diese Pflanzen muss der Stickstoff in Form von Ammonium-Ionen ( $NH_4^+$ ) oder Nitrat-Ionen ( $NO_3^-$ ) vorliegen, um verwertbar zu sein<sup>[5]</sup>. Von Tieren wird Stickstoff ausschließlich in organischer Form genutzt, was beispielsweise über Proteine bei der Nahrungsaufnahme geschieht<sup>[4]</sup>.

### 2.2.2 Stickstoff-Fixierung

Mit Stickstoff-Fixierung ist eine Reduktion oder Oxidation molekularen Stickstoffs gemeint. Die resultierenden Stickstoffverbindungen können von Lebewesen aufgenommen und verwertet werden<sup>[6]</sup>.

#### Biotische Stickstoff-Fixierung

Nur Prokaryoten\* sind in der Lage, Stickstoff biologisch zu fixieren. Diese stickstoffbindenden Bakterien fixieren Stickstoff, indem sie molekularen Stickstoff in Ammoniak umwandeln. Der Prozess kann dabei je nach Bakterienart unter aeroben\* (z. B. Cyanobakterien) oder anaeroben (z. B. Schwefelpurpurbakterien) Bedingungen ablaufen. Einige Arten führen die Fixierung ausschließlich in Symbiose mit Pflanzen aus<sup>[6]</sup>. Besonders bekannt sind Knöllchenbakterien (Rhizobien). Diese leben in Symbiose mit den Wurzeln von Leguminosen. Leguminosen sind Hülsenfrüchtler wie Erbsen, Sojabohnen, Luzerne und Klee. Die Wurzelstruktur dieser Pflanzen wird durch die Rhizobien sichtbar verändert und es

bilden sich Knöllchen, in welchen sich die Bakterien befinden (Experiment 3). Während die Rhizobien die Wirtspflanze mit dem fixierten Stickstoff versorgt, liefert die Pflanze den Bakterien organische Verbindungen, z. B. Kohlenhydrate<sup>[4]</sup>. Pro Jahr werden etwa 80 Millionen Tonnen Stickstoff durch stickstoffbindende Bakterien fixiert<sup>[7]</sup>.

#### Experiment 3

Untersuchung der Wurzelknöllchen von Leguminosen



Abbildung 2: Rot blühender Wiesenklee



Abbildung 3: Wurzeln des Wiesenklees mit Wurzelknöllchen

### Industrielle Stickstoff-Fixierung

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts wird das Haber-Bosch-Verfahren zur technischen Stickstoff-Fixierung verwendet, bei dem aus Wasserstoff und Stickstoff Ammoniak hergestellt wird<sup>[8]</sup>. Die Jahresproduktion beträgt über 180 Millionen Tonnen, wobei die Produktion stetig zunimmt<sup>[9]</sup>.

### Abiotische Stickstoff-Fixierung

Durch nicht-biologische Vorgänge werden global jährlich etwa 20 Tonnen Stickstoff unter Bildung von Stickstoffoxiden  $\text{NO}_x$  fixiert. Dies geschieht z. B. durch Blitze (Abbildung 4), Vulkanausbrüche oder Waldbrände<sup>[7]</sup>.

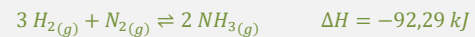


Abbildung 4: Oxidation von Stickstoff zu Stickoxiden durch Blitze

### Exkurs: Das Haber-Bosch-Verfahren



Das Haber-Bosch-Verfahren gilt als das wichtigste Verfahren zur technischen Herstellung von Ammoniak. Es wurde in den Jahren 1903–1909 von Fritz Haber entwickelt und 1913 von Carl Bosch für die technische Synthese erweitert. Ammoniak wird gemäß untenstehender Reaktionsgleichung aus den Elementen Wasserstoff und Stickstoff gewonnen.



Die Ammoniaksynthese erfolgt nach dem in [Abbildung 5](#) dargestellten Schema. Zunächst muss aus Methan (aus Erdgas/Erdöl), Wasser und Luft ein Synthesegemisch hergestellt werden. Im Waschturm wird Kohlenstoffdioxid aus dem Gemisch entfernt. Die Erzeugung von Ammoniak aus dem gereinigten Synthesegas findet anschließend bei bis zu 500 °C und unter hohem Druck in Reaktoren statt. Die Reaktoren, auch Ammoniak-Kontaktöfen genannt, sind dabei mit mehreren Schichten aus Wärmeaustauschern und Katalysatormasse ausgestattet. Danach wird im Abhitzekeessel das Gasmisch abgekühlt, das Ammoniak verflüssigt und abgetrennt. Das Restgas wird zuletzt um frisches Synthesegas ergänzt und folgt dem Synthesekreislauf zurück zu den Ammoniakreaktoren<sup>[1]</sup>.

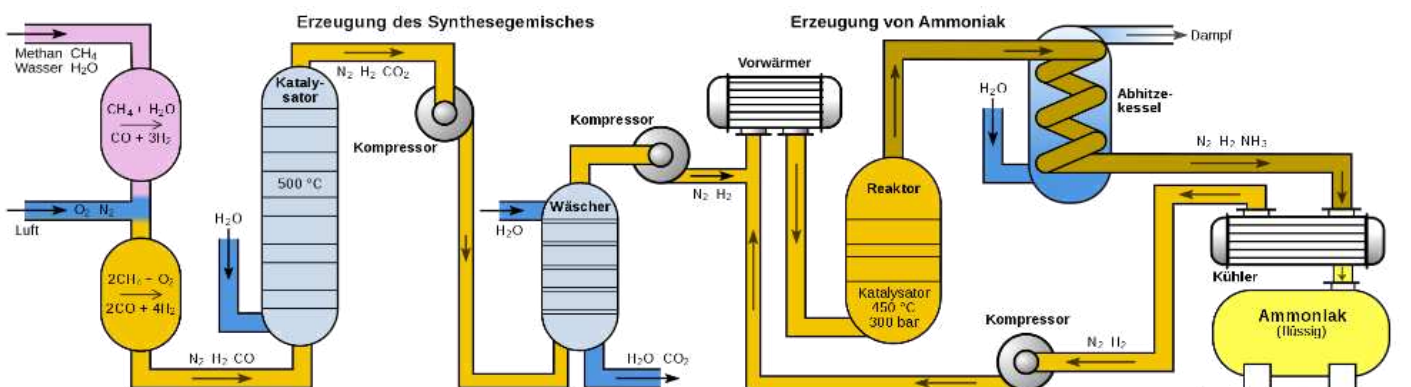


Abbildung 5: Prinzip der großtechnischen Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren



### 2.2.3 Der natürliche Stickstoffkreislauf

Die globalen Aufnahme- und Verteilungswege von Stickstoff und seinen Verbindungen lassen sich als Kreislauf beschreiben und sind vereinfacht in [Abbildung 6](#) dargestellt.

Durch biotische und abiotische Stickstoff-Fixierung gelangt Stickstoff aus der Atmosphäre in das Ökosystem. Stickstofffixierende Bakterien spalten molekularen Stickstoff in freie Stickstoffatome, welche sich mit Wasserstoff jeweils zu Ammoniak verbinden. Diesen Vorgang nennt man **Ammonifikation**. Liegt der pH-Wert des Bodens mindestens im neutralen Bereich ( $\text{pH} \geq 7$ ), kann Ammoniakgas zurück in die Atmosphäre entweichen. Andernfalls können Wasserstoff-Ionen mit Ammoniak zu Ammonium-Ionen ( $\text{NH}_4^+$ ) reagieren. Durch verschiedene Gruppen von Mikroorganismen werden Ammonium-Ionen schrittweise zu Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) und Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) oxidiert, was als **Nitrifikation** bezeichnet wird.

Über die Pflanzenwurzeln kann Nitrat aufgenommen und zum Proteinaufbau verwendet werden. Tiere nehmen beispielsweise Teile dieser Pflanze als Nahrung zu sich. Durch Ausscheidungen (u. a. von Harnstoff) bildet sich im Boden Ammoniak ([Experiment 4](#)). Stirbt das Tier, erfolgt ein Proteinabbau mithilfe zersetzender Bakterien.

Unter anaeroben Bedingungen kann zudem mithilfe einer Vielzahl denitrifizierender Bakterien (z. B. Thiobacillus, Pseudomonas und Rhizobium) eine **Denitrifikation** stattfinden<sup>[10]</sup>. Nitrat wird hierbei zu molekularem Stickstoff reduziert, welcher als Gas zurück in die Atmosphäre entweicht<sup>[5]</sup>.

#### Experiment 4

Harnstoffzersetzung im Boden

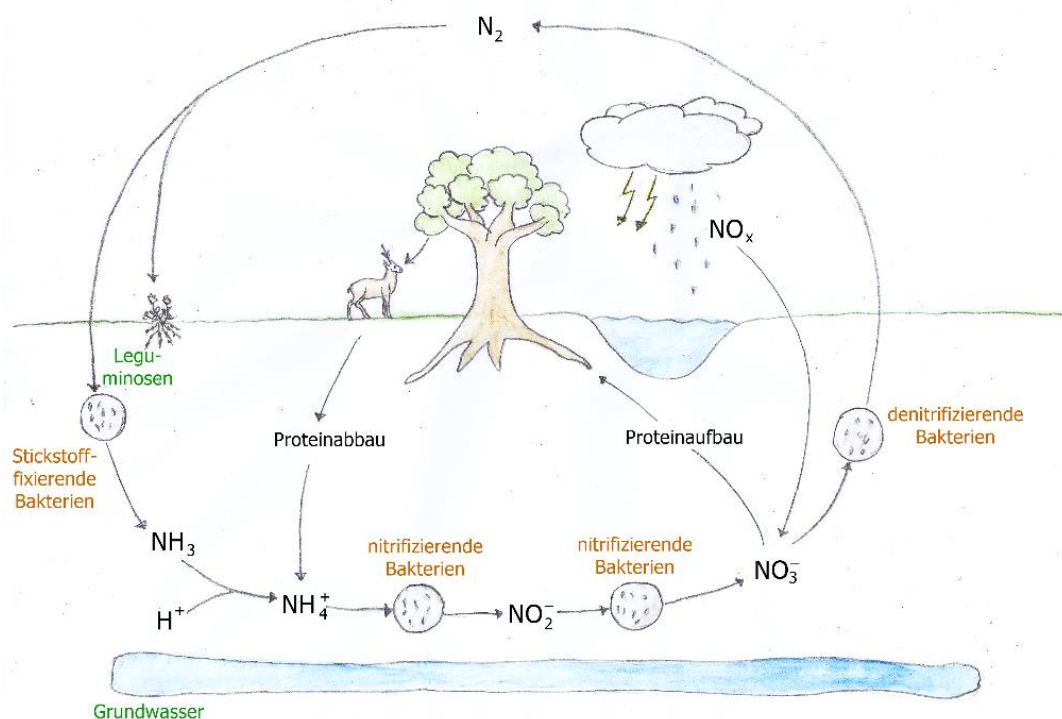


Abbildung 6: Vereinfachte Darstellung des Stickstoffkreislaufs

### 2.2.4 Der Einfluss des Menschen

Menschliche Tätigkeiten haben erhebliche Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf (Abbildung 7). Durch die industrielle Stickstoff-Fixierung, insbesondere für die Herstellung von Düngemitteln, gelangen erhebliche Mengen reaktiver Stickstoffverbindungen in das Ökosystem. Gleichzeitig entstehen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, z. B. in Industrie und Verkehr, Stickoxide. Diese wirken in der Atmosphäre als Treibhausgase (\*C) oder bilden mit Wasser Nitrats und gelangen über Niederschläge in den Boden (Experiment 5).

#### Experiment 5

Stickoxide in Abgasen

#### Experiment 6

Adsorption von Ammonium- und Nitrat-Ionen im Boden

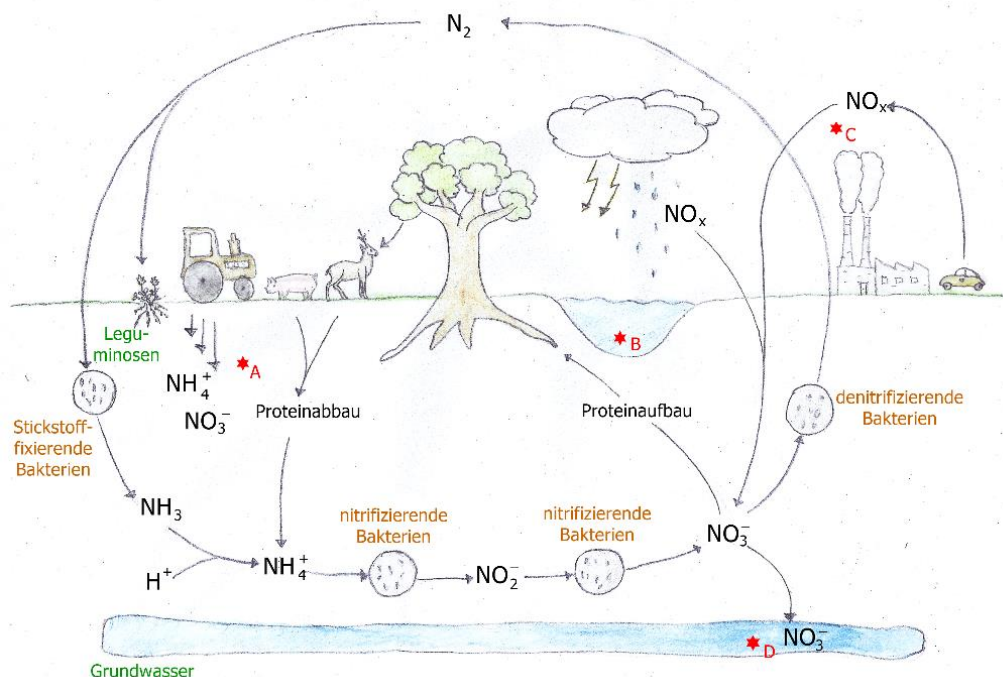


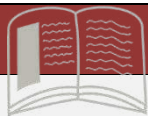
Abbildung 7: Vereinfachte Darstellung des Stickstoffkreislaufs mit menschlichen Einflüssen

Derartigen Störungen des Stickstoffkreislaufs folgt eine Reihe an nachteiligen Auswirkungen, welche hier nur kurz beschrieben und in Kapitel 3 genauer betrachtet werden.

Gelangt mehr gebundener Stickstoff in den Boden als die Pflanzen aufnehmen können, kann dies zu einer Versauerung des Bodens führen (\*A). Ein übermäßiger Eintrag von Stickstoffverbindungen in Oberflächengewässern (z. B. Seen und Flüsse) kann zur Eutrophierung führen (\*B). Durch den Nährstoffüberschuss folgt ein starkes Algenwachstum. Bei der Zersetzung abgestorbener Algen wird von Mikroorganismen viel Sauerstoff verbraucht. Daraus resultiert ein erheblicher Sauerstoffmangel in den Gewässern, sodass viele Wasserlebewesen dort nicht mehr existieren können.

Im Gegensatz zu Ammonium wird Nitrat im Boden schlecht adsorbiert, sodass überschüssiges Nitrat ausgewaschen wird und in das Grundwasser gelangen kann (\*D) (Experiment 6) [5,7].

## Zum Nachdenken



Das Einzugsgebiet der Hase (Abbildung 8) setzt sich aus verschiedenen Grundwasserkörpern zusammen. Dabei können Festgesteins- und Lockergesteinsgebiete, sowie das Gebiet des Teutoburger Walds voneinander unterschieden werden. Die Nitratwerte in den Jahren von 2000 bis 2009 an den verschiedenen Messstellen des NLWKN sind in Tabelle 2 dargestellt. Zwischen den verschiedenen Tiefen der Messstellen (Grundwasserstockwerke) wird bei der Darstellung der Messwerte an dieser Stelle nicht differenziert<sup>[11]</sup>.

**Aufgabe 2.1:** Vergleichen Sie die gemessenen Nitratwerte der Regionen a) Festgestein, b) Lockergestein und c) Teutoburger Wald.

**Aufgabe 2.2:** Was könnten Hintergründe für die deutlichen Unterschiede der Nitratwerte

- Zwischen den Regionen a), b) und c) und
- Innerhalb der Lockergesteinsgebieten b) sein?



Abbildung 8: Die Hase unweit von Hollage, Wallenhorst



**Aufgabe 2.3:** Bei der Messwerteerfassung wurden in den zweiten oder tieferen Grundwasserstockwerken flächendeckend niedrigere Nitratwerte gemessen als in den ersten Stockwerken<sup>[11]</sup>.

Woran könnte das liegen?

Tabelle 2: Nitratwerte und Grenzwertüberschreitungen an Messstellen des NLWKN im Hase-Einzugsgebiet 2000 - 2009

Region		Anzahl der Messstellen (Grundwassermessstellen und Förderbrunnen)	Durchschnittlicher Nitratgehalt in mg/L	Niedrigster Nitratgehalt in mg/L	Höchster Nitratgehalt in mg/L	Anzahl der Messstellen mit Grenzwertüberschreitungen (> 50 mg/L Nitrat)
a)	Hase-Festgestein linksseitig	42	30	0,20	76	10
	Hase-Festgestein rechtsseitig	66	28	0,20	85	11
b)	Hase-Lockergestein linksseitig	139	19	0,01	252	25
	Hase-Lockergestein rechtsseitig	196	18	0,00	372	32
c)	Hase-Teutoburger Wald	7	11	0,30	44	-

## 2.4 Stickstoffproblematik in Niedersachsen

### Die Grundwasserqualität

Mit einem prozentualen Anteil von etwa 60 % wird ein Großteil der Bodenfläche in Niedersachsen für landwirtschaftliche Zwecke genutzt<sup>[12]</sup>. Eine wesentliche Belastungsquelle für Gewässer liegt daher in der intensiven Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln<sup>[13]</sup>. Aber auch Abwässer aus Haushalten, z. B. durch undichte Abwasserkanäle, und der Verkehr tragen zu Grundwasserbelastungen bei<sup>[14]</sup>.

In Grundwasserberichten liegt ein besonderes Augenmerk auf dem Nitratgehalt, dessen erlaubte Obergrenze in Deutschland sowohl für das Grundwasser als auch für das Trinkwasser bei 50 mg/L liegt. Dieser **Grenzwert\*** wird in Niedersachsen an 16 % der Grundwasser-Messstellen überschritten (Datenbestand 2017). Bei diesem Wert sind geringere belastete untere Grundwasserstockwerke miteingeschlossen. Werden ausschließlich die oberen Grundwasserleiter betrachtet, überschreiten sogar 29 % den Grenzwert. Ein Schwerpunkt der nitratbelasteten Grundwassergebiete liegt im westlichen Niedersachsen in den Geestgebieten (**Abbildung 9**). Während in den Niederungen, der Marsch und dem Moor im Boden häufig eine Denitrifizierung begünstigt wird, versickert Niederschlagswasser im sandigen Geestboden schnell. Daher kann in den Geestgebieten Nitrat besonders schnell ins Grundwasser ausgewaschen werden<sup>[13]</sup>.

### Oberflächengewässer

Oberflächengewässer werden nach ihrem chemischen und ihrem ökologischen Zustand beurteilt. Bezüglich des **chemischen Zustandes** wird untersucht, inwiefern Schwermetalle, Industriechemikalien, Pestizide, aber auch Nährstoffe wie Nitrat im Gewässer enthalten sind. Die Bewertung erfolgt in zwei Klassen: „gut“ und „nicht gut“. Liegt der Nitratgehalt in einem Oberflächengewässer über 50 mg/L, ist der chemische Zustand „nicht gut“ (bezogen auf Nitrat). Ein Nitratgehalt

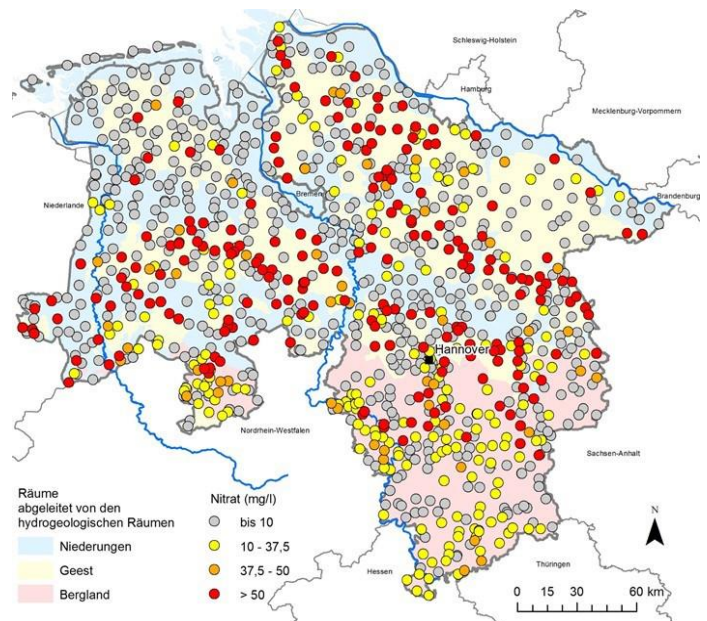


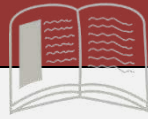
Abbildung 9: Nitratgehalt an zahlreichen Grundwassermessstellen in Niedersachsen, Datenbestand 2017 des NLWKN

unter 50 mg/L mag zwar nach chemischen Zustand „gut“ sein, nach der Bewertung des ökologischen Zustands jedoch nicht immer<sup>[15]</sup>.

Der **ökologische Zustand** wird in fünf Stufen bewertet (sehr gut, gut, mäßig, unbefriedigend und schlecht). Um diesen Zustand zu ermitteln, gilt es, neben biologischen\* und hydromorphologischen\* Qualitätskomponenten auch physikalisch-chemische\* Aspekte zu untersuchen. Bei Letzterem ist auch der Stickstoffgehalt inbegriffen. Anstelle des Nitratgehaltes wird die Gesamtstickstoffmenge sowie die Stickstoffmenge aus den einzelnen Ionen Ammonium, Nitrat und Nitrit untersucht<sup>[15]</sup>.

Für Oberflächengewässer wurde in Niedersachsen hinsichtlich der Gesamtstickstoffmenge ein **Zielwert\*** von 2,8 mg/L TN festgelegt. Dieser Wert kann in Niedersachsen größtenteils nicht eingehalten werden (**Abbildung 10**)<sup>[16]</sup>.

## Zum Nachdenken



**Aufgabe 2.4:** In einem See wird eine Nitrat-Gehalt von 20 mg/L und ein Ammonium-Gehalt von 5 mg/L gemessen.

Berechnen Sie die Gesamtstickstoffmenge und beurteilen Sie die Gewässerqualität hinsichtlich des Bewirtschaftungsziels von 2,8 mg/L TN.

## Exkurs: Die Gesamtstickstoffmenge



Am Anfang des Kapitels wurden bereits verschiedene Verbindungen aufgezeigt, in denen Stickstoff in der Natur auftritt. Mit der Gesamtstickstoffmenge ist im Kontext von Gewässeranalysen üblicherweise die Summe aus Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff gemeint. Sie wird meistens mit  $N_{\text{ges}}$ , TN oder  $TN_b$  (Total Nitrogen bounded) abgekürzt<sup>[17]</sup>.

Aus einem gemessenen Ammonium- oder Nitratgehalt kann nach untenstehender Rechnung der Gehalt an Ammonium-Stickstoff (Ammonium-N) und Nitratstickstoff (Nitrat-N) ermittelt werden<sup>[18]</sup>.

$$\text{Ammonium - N} = \frac{\text{Ammoniumgehalt}}{1,29}$$

$$\text{Nitrat - N} = \frac{\text{Nitratgehalt}}{4,43}$$

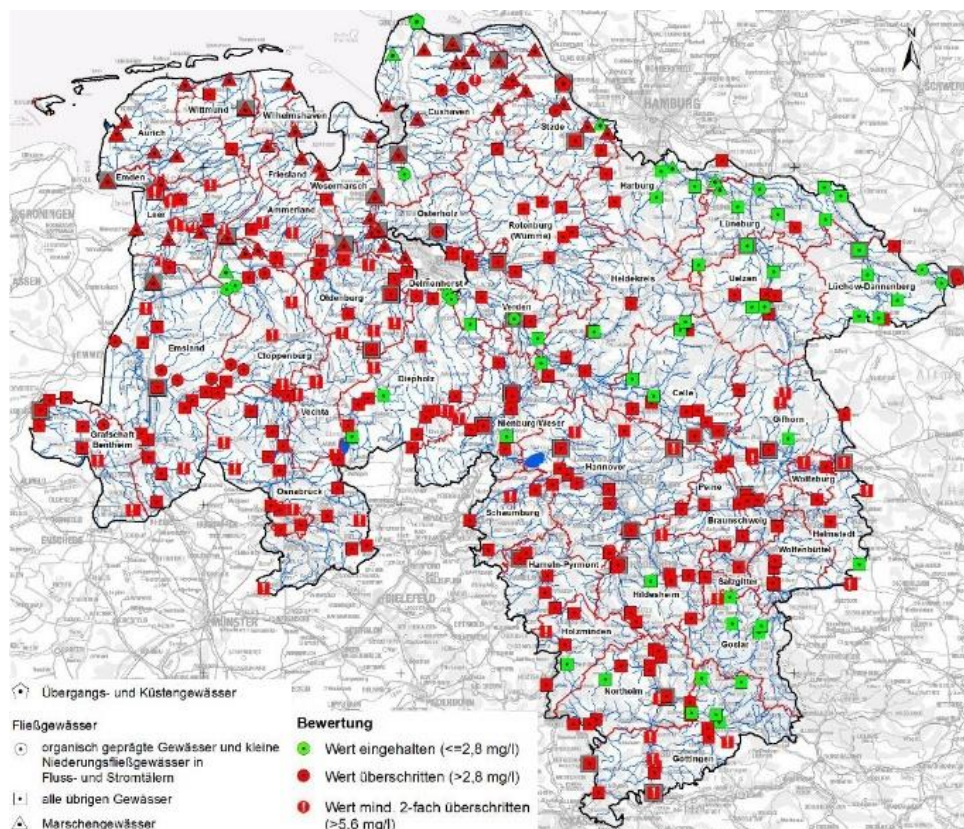


Abbildung 10: Gesamtstickstoff (TN) in niedersächsischen Oberflächengewässern 2017

### 3 Auswirkungen eines übermäßigen Stickstoffeintrags

Die globale Freisetzung reaktiver Stickstoffverbindungen hat sich durch menschliche Einflüsse in den letzten 100 Jahren mehr als verdoppelt, im europäischen Raum sogar vervierfacht<sup>[9]</sup>. Die Hauptursachen hierfür liegen im weitverbreiteten Anbau von Nutzpflanzen, welche die biologische Stickstofffixierung unterstützen, in der Verbrennung fossiler Brennstoffe und der Nutzung des Haber-Bosch-Verfahrens zur Ammoniaksynthese. Mit letzterem wird durch die Weiterverarbeitung zu Düngemitteln die Versorgung der stetig wachsenden Weltbevölkerung unterstützt<sup>[19]</sup>. Die von Menschen verursachte Intensivierung des Stickstoffkreislaufs stellt, wie bereits in Kapitel 2.2.4 kurz illustriert, eine große Belastung für die Umwelt dar.

#### Die Stickstoffkaskade

Die Stickstoffkaskade ist die Aufeinanderfolge der Wirkungen, die reaktiver Stickstoff in den verschiedenen Ökosystemen und der Atmosphäre mit sich bringt. Ein wichtiger Aspekt der in [Abbildung 11](#) illustrierten Stickstoffkaskade ist, dass die ursprünglichen Quellen des reaktiven Stickstoffs (z. B. Verbrennung fossiler Brennstoffe oder Düngemittelproduktion) mit dem Start des Kaskadeneffekts irrelevant werden. Die verschiedenen reaktiven Stickstoffverbindungen (z. B. Nitrat, Lachgas, Ammonium, usw.) lassen sich schnell ineinander umwandeln, sodass der kritische Schritt die anfängliche Bildung einer beliebigen reaktiven Stickstoffverbindung ist<sup>[19]</sup>.

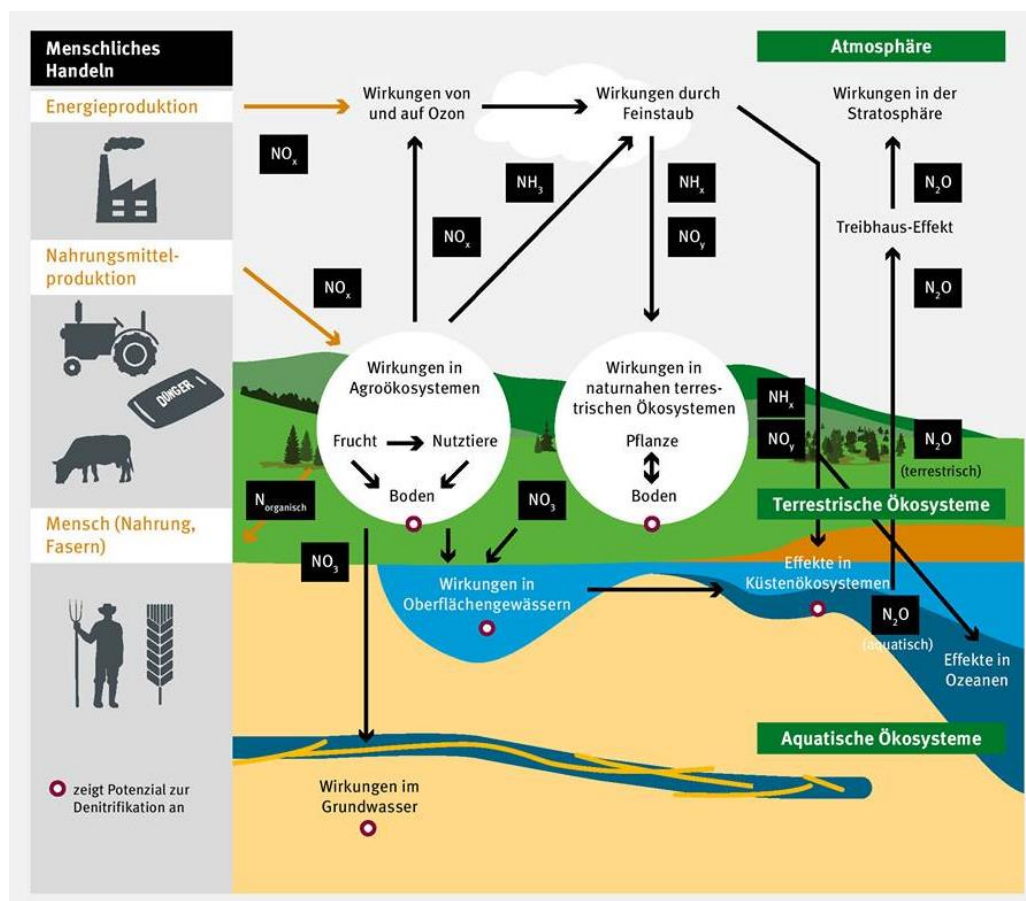


Abbildung 11: Mögliche Effekte und Wechselwirkungen eines einzelnen Stickstoffatoms in verschiedenen Ökosystemen nach der Überführung in eine reaktive Form (UBA)

### 3.1 Auswirkungen für die Umwelt

#### Verlust von Biodiversität

In den vergangenen Jahrzehnten konnte an vielen Orten eine erhebliche Zunahme nitrophiler (stickstoffliebender) Pflanzen beobachtet werden. Dazu gehören beispielsweise der Schwarze Holunder und die Große Brennnessel, die häufig an Hecken- und Waldrändern zu finden sind<sup>[20]</sup>. Diese nährstoffliebenden und schnell wachsenden Pflanzen nehmen anderen Pflanzen Licht und Raum und gefährden so deren Bestand<sup>[9]</sup>.

Übermäßige Stickstoffeinträge können zudem die Pflanzenphysiologie beeinflussen, was sich z. B. in einem veränderten Spross- und Wurzelverhältnis zeigt. Durch diese Änderungen kann die Anfälligkeit einiger Pflanzen gegenüber Schädlingsbefall, aber auch gegenüber Frost und Dürre steigen<sup>[21]</sup>.

#### Versauerung

Industrie und Verkehrswesen führen zu einer vermehrten Freisetzung von Schwefel- und Stickstoffoxiden. In der Atmosphäre reagieren diese Verbindungen über verschiedene Reaktionswege zu Säuren und können so „Saurer Regen“ verursachen<sup>[22]</sup>. Nach untenstehender Gleichung kann beispielsweise Stickstoffdioxid mit Wasser in tieferen, feuchteren Luftschichten der Atmosphäre Salpetersäure und Salpetrige Säure bilden<sup>[23]</sup>.



Erfolgt im Boden ein übermäßiger Stickstoffeintrag, kann dies ebenfalls zu einer Versauerung führen (**Experiment 7**). Infolge mikrobieller Umsetzungsprozesse stickstoffhaltiger Verbindungen (z. B. Harnstoff und Ammoniak) bilden sich Protonen ( $\text{H}^+$ ). Eine Erhöhung der Konzentration an Protonen geht mit einer Erniedrigung des pH-Wertes\* einher<sup>[24]</sup>.

Die Versauerung kann vielerlei problematische Auswirkungen haben. Viele Pflanzen sind zum Wachstum an bestimmte pH-Werte gebunden und können durch Veränderungen verdrängt

werden. Auch die Existenz von Tieren und Insekten, die im Boden oder in Gewässern leben, kann gefährdet werden<sup>[25]</sup>. Außerdem können durch eine Versauerung des Bodens Metall-Ionen, z. B. Aluminium-Ionen ( $\text{Al}^{3+}$ ), freigesetzt werden. Diese wirken für Pflanzen giftig<sup>[24]</sup>.

Ebenso wie bei der Eutrophierung gibt es auch für die Versauerung Critical Loads (kritische Belastungsgrenze). Während Anfang der 90er Jahre ein Großteil der Ökosysteme zu hohen Säurebelastungen ausgesetzt war, wurden im Jahr 2015 bei über 70 % der Ökosysteme die Critical Loads eingehalten. Diese Entwicklung zeigt, dass Luft- und Bodenreinigung durch entsprechende Maßnahmen erreicht werden kann. Trotzdem erfordert eine Erholung der Ökosysteme viel Zeit, sodass auch heute noch Nachwirkungen und Schädigungen an Ökosystemen sichtbar sind<sup>[26]</sup>.

#### Zum Nachdenken



Insbesondere intensiv mit Gülle gedüngte Felder müssen häufig zusätzlich gekalkt werden<sup>[24]</sup>.

**Aufgabe 3.1:** Recherchieren Sie die Bedeutung von Kalk in diesem Zusammenhang und überlegen Sie, warum die Notwendigkeit des Kalkens besteht.

#### Experiment 7



Wirkung von Harnstoff auf Böden

## Eutrophierung

Der Begriff „Eutrophie“ steht für einen nährstoffreichen Zustand. In einem solchen Zustand, in dem beispielsweise große Mengen pflanzenverfügbaren Stickstoffs und Phosphor als Nährstoffe zur Verfügung stehen, kommt es in Gewässern zu einem regen Wachstum von Wasserpflanzen und Algen<sup>[5]</sup>.

Dieser Zustand kann z. B. durch ungeklärte Abwässer oder übermäßige Düngung hervorgerufen werden. Die Algen verleihen diesen Gewässern eine charakteristisch grüne Farbe. Es fallen große Mengen toten, organischen Materials an, welches zu Boden sinkt und dort von Bakterien zersetzt wird. Da Bakterien in ihrer Zersetzungstätigkeit Sauerstoff verbrauchen, sinkt der Sauerstoffgehalt im Gewässer. Im Extremfall kann ein solches Gewässer „umkippen“, da durch den Sauerstoffentzug anderen Organismen die Lebensgrundlage genommen wird<sup>[5,22]</sup>.



### Exkurs: Critical Load



Im Jahr 1983 trat die Genfer Luftreinhaltekonvention in Kraft und wurde in den darauffolgenden Jahren mit acht dazugehörigen Protokollen konkretisiert. Im Protokoll über die Emission von Stickstoffoxiden (1988) wird gefordert, dass die Einträge von Luftschadstoffen nicht die ökologischen Belastungsgrenzen überschreiten sollen<sup>[26]</sup>. Diese Belastungsgrenze wird als „Critical Load“ bezeichnet:

*„Critical Load means a quantitative estimate of exposure to one or more pollutants below which significant harmful effects on specified sensitive elements of the environment do not occur according to present knowledge<sup>[27]</sup>.“*

Mittlerweile ist die Verwendung und Kontrolle von Critical Loads ein fester Bestandteil deutscher Umweltpolitik geworden und wird u. a. auf Probleme wie Eutrophierung oder Versauerung angewandt<sup>[26]</sup>.

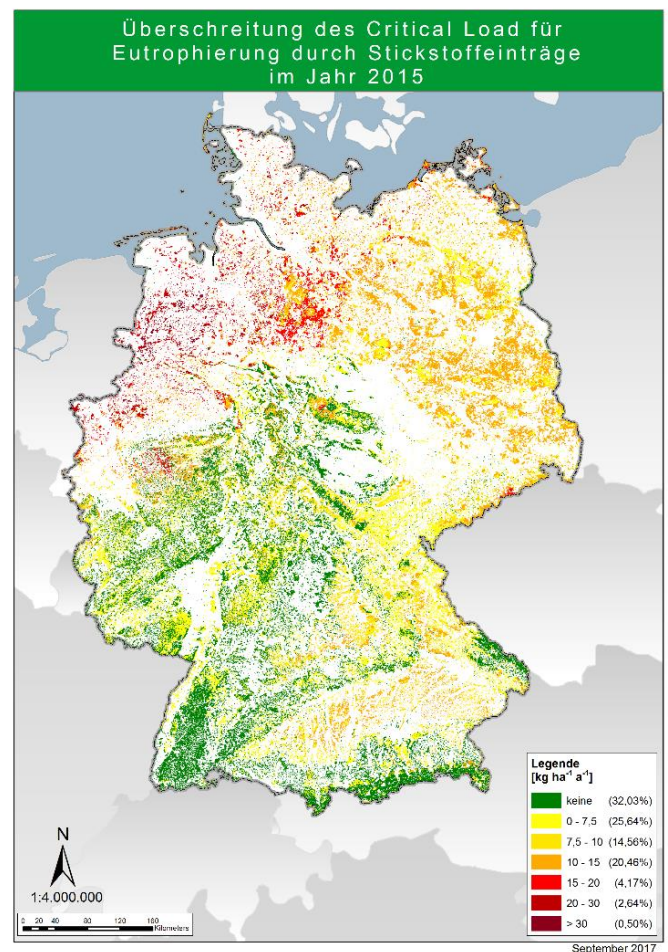


Abbildung 12: Überschreitung der Ökologischen Belastungsgrenzen für eutrophierenden Stickstoff





Abbildung 13: Erhöhtes Algenwachstum bei Eutrophierung eines Gewässers

### Zum Nachdenken



Anfang der 90er Jahre wurde die Critical Load für Eutrophierung in Deutschland fast überall überschritten<sup>[26]</sup>.

**Aufgabe 3.2:** Schauen Sie sich [Abbildung 12](#) und [Tabelle 3](#) an. Welche Entwicklung der Einhaltung der Critical Load für Eutrophierung in Deutschland ist daraus erkennbar?

**Aufgabe 3.3:** In der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung 2016 wurde als Ziel formuliert, ab dem Jahr 2030 die Stickstoffeinträge um 35 % gegenüber 2005 zu senken<sup>[28]</sup>. Schätzen Sie angesichts untenstehender Ergebnisse des Projektes der UBA die Erreichbarkeit dieses Zielwertes ab.

Tabelle 3: Prozentualer Anteil der Überschreitungsklassen (in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ) bei den Critical Load für Eutrophierung aus Daten des Umweltbundesamts

Jahr	Keine	> 0 – 7,5	> 7,5 – 10	> 10 – 15	> 15 – 20	> 20 – 30	> 30
2000	20,97	16,16	8,76	27,38	20,51	4,97	1,25
2005	23,11	19,74	10,39	31,86	11,17	3,44	0,29
2010	26,84	21,35	13,85	30,91	4,91	2,08	0,06
2015	32,03	25,64	14,56	20,46	4,17	2,64	0,50

### 3.2 Auswirkungen für den Menschen

Die Meinungen zu den gesundheitlichen Auswirkungen auf den menschlichen Körper bei der Aufnahme von Nitrat gehen auseinander. Dies spiegelt sich sowohl in Zeitungs- und Zeitschriftenartikeln, Foren- und Blogbeiträgen als auch in der Interpretierung der Ergebnisse verschiedener Studien wider. Bevor aber im Abschnitt 3.2.2 auf die Frage nach potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen näher eingegangen wird, soll zunächst die Frage geklärt werden, wieviel und über welche Lebensmittel der Mensch überhaupt Nitrat aufnimmt.

#### 3.2.1 Wie nehmen wir Nitrat auf?

Die Nitratmenge, die ein Mensch täglich aufnimmt, hängt in erster Linie von der Ernährungsweise ab. In Deutschland liegt die durchschnittliche Aufnahme bei ca. 90 – 100 mg Nitrat pro Tag, wobei etwa 62 % aus Gemüse, 26 % aus Trinkwasser und die restlichen 12 % aus Obst, Getreide-, Fleisch- und Milchprodukten stammen<sup>[29]</sup>.

Der hohe Nitratgehalt von Gemüse lässt sich dabei nicht pauschalisieren, sondern kann in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren extrem schwanken.

Folgende Faktoren haben dabei einen Einfluss auf den Nitratgehalt:

**Erntezeitpunkt:** Der Nitratabbau innerhalb der Pflanze ist u. a. lichtabhängig, sodass morgens geerntetes Gemüse häufig erheblich höhere Nitratwerte aufweist als Gemüse nach abendlicher Ernte.

**Jahreszeit:** In den lichtarmen Wintermonaten geerntetes Gemüse ist häufig nitratreicher, was zusätzlich mit dem Anbau in Gewächshäusern und stärkerer Düngung zusammenhängen kann.

**Düngung:** Zeitpunkt, Menge und Art der verwendeten Düngemittel spielen eine Rolle.

**Pflanzenteile:** Im Blattgemüse ist der Nitratgehalt im Strunk und in den Rippen höher als in den äußeren Blättern.

**Pflanzentyp:** Blattgemüse, insbesondere Rucola (vgl. [Abbildung 14](#)) hat im Mittel die höchsten Nitratgehalte, gefolgt von Wurzel- und Knollengemüse. Fruchtgemüse hat insgesamt einen eher niedrigen Nitratgehalt<sup>[30]</sup>.



## Kein Salat ohne Nitrat

**Rückstände in Salat** Mit einer Portion Rucola verspeist man meist mehr Nitrat als mit Feld- oder Eisbergsalat. Erfreulich: Pestizide waren bei unseren Analysen kaum ein Problem.

**K**napp 5 Kilogramm Blattsalat isst der Bundesbürger im Durchschnitt pro Jahr. Frischer Salat ist beliebt, egal ob runde, gezackte, krause oder glatte Blätter. Aber: Nitrat ist praktisch immer dabei, am meisten beim Rucola.

Das überrascht nicht. Das Salatkraut mit den leicht gezackten Blättern und dem bitter-nussigen Geschmack ist als nitratträchtig bekannt. Im Test waren sechs von sieben Rucolasalaten deutlich belastet,

der siebte stark. Das ist aber immer noch besser als beim letzten Test (*Heft 11/05*), als fast jeder zweite Rucola stark belastet war. Beim Feldsalat analysierten wir in diesem Test drei deutliche und vier geringe Nitratbelastungen. Durchweg „deutlich“ hieß es für den Eisbergsalat, für den aber niedrigere Nitratgrenzen gelten.

Abbildung 14: Ausschnitt eines Testberichts der Stiftung Warentest über Rückstände im Salat

Laut der Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist täglich eine Maximalaufnahme von 3,65 mg Nitrat pro kg Körpergewicht erlaubt. Ein 70 kg schwerer Mensch sollte täglich also nicht mehr als 255,5 mg Nitrat durch die Nahrung aufnehmen. Gelegentliche Überschreitungen dieses Wertes sind jedoch gesundheitlich unbedenklich<sup>[29]</sup>.



### Zum Nachdenken

Das Lebensmittel- und Veterinärinstitut (LVI) Oldenburg hat verschiedene Lebensmittel über mehrere Jahre hinweg auf ihren Nitratgehalt untersucht. Ausgewählte Untersuchungsergebnisse sind in [Abbildung 15](#) dargestellt. Es handelt sich dabei um Richtwerte, da Nitratgehalte trotzdem individuell schwanken können<sup>[31]</sup>.

**Aufgabe 3.4:** Beschreiben Sie Möglichkeiten, wie Verbraucher ihre Nitrataufnahme reduzieren können.

### Experiment 8



Untersuchung der Nitratgehalte von Gemüse und Obst

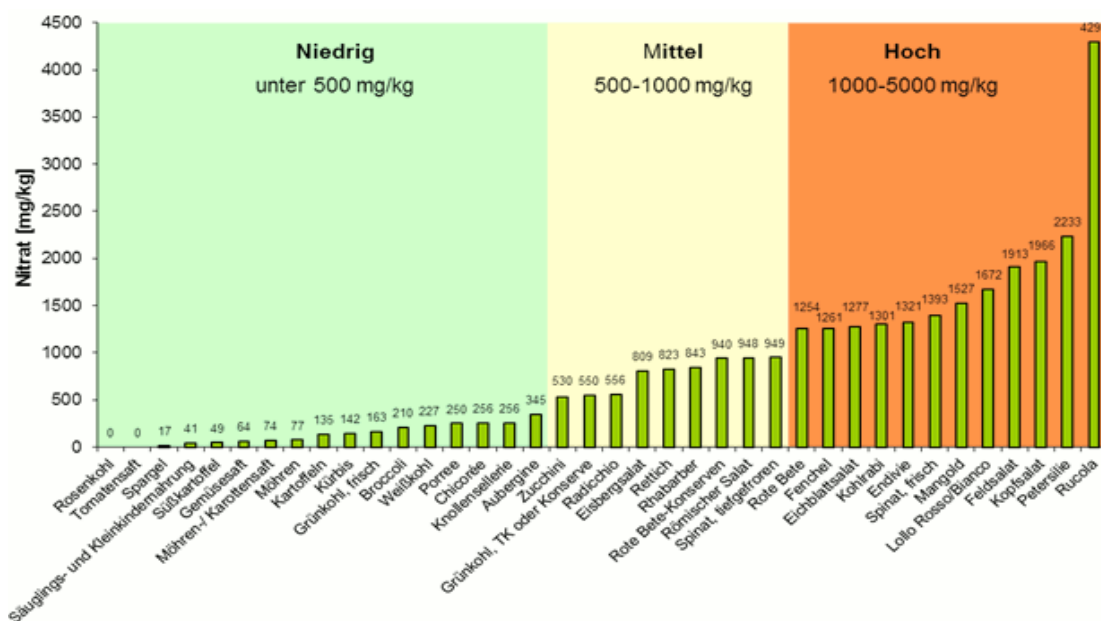


Abbildung 15: Mittlere Nitratgehalte in vom LVI Oldenburg untersuchten Lebensmittelproben 2006 - 2013

### 3.2.2 Potenzielle Gesundheitsrisiken

Im Zusammenhang mit Nitrat werden überwiegend zwei Krankheiten thematisiert: Säuglingsmethämoglobinämie und durch die Bildung von Nitrosaminen verursachter Krebs. Auch wenn nach den Informationen vieler Medien die Verbindung von Nitrat zu diesen Krankheiten eindeutig zu sein scheint, herrscht in der Wissenschaft eine gespaltene Meinung zu dem Thema<sup>[32]</sup>. Nitrat an sich ist nicht gesundheitsschädlich und wird, nachdem es im oberen Darmbereich aufgenommen wurde, größtenteils

unverändert über die Nieren wieder ausgeschieden. Eine potenzielle Gesundheitsgefährdung liegt vor, wenn Nitrat zu Nitrit reduziert wird. Dies geschieht überwiegend in der Mundhöhle. Eine erhöhte Nitrit-Konzentration kann die verstärkte Bildung von Methämoglobin bewirken. Insbesondere Säuglinge reagieren empfindlicher auf Nitrit als Erwachsene, was im schlimmsten Fall zur Methämoglobinämie (auch blue baby syndrome) führen kann<sup>[33]</sup>.

#### Nitrat verseucht deutsches Grundwasser: So können Sie Gesundheitsrisiken senken

[...] Im Körper können durch Stoffwechselprozesse Nitrosamine oder Nitrit entstehen. In geringen Mengen ist der Stoff für Erwachsene unbedenklich. Für Babys und Kinder kann er allerdings sehr gefährlich sein, weil er die roten Blutkörperchen angreift, die Sauerstoff durch den Körper transportieren. Nitrate können zudem die Jodaufnahme stören und in abgewandelter Form auch die Gefäße verstopfen. [...]

Am Tag sollten Sie nicht mehr als 3,65 Milligramm Nitrat pro Kilogramm Körpergewicht aufnehmen. Das heißt, wenn Sie 70 Kilo wiegen, dürfen Sie nicht mehr als 255 Milligramm Nitrat am Tag aufnehmen. Diesen Grenzwert hat die Weltgesundheitsorganisation festgelegt. [...]

Quelle: [https://www.focus.de/gesundheit/ernaehrung/news/umweltministerium-warnt-nitrat-verseucht-deutsches-grundwasser-so-koennen-sie-gesundheitsrisiken-senken\\_id\\_6441377.html](https://www.focus.de/gesundheit/ernaehrung/news/umweltministerium-warnt-nitrat-verseucht-deutsches-grundwasser-so-koennen-sie-gesundheitsrisiken-senken_id_6441377.html) [07.06.2019]

#### Nitrat in diätetischen Lebensmitteln für Säuglinge oder Kleinkinder – Neufestlegung der Höchstmenge

[...] Die in Deutschland geltende Höchstmenge von 250 mg Nitrat pro kg diätetischem Lebensmittel für Säuglinge und Kleinkinder wurde seinerseits festgelegt, um die Säuglings-Methämoglobinbildung zu verhindern. Dabei wird der rote Blutfarbstoff (das Hämoglobin) oxidiert. Er steht dann für die Sauerstoffbindung des Blutes nicht mehr zur Verfügung. Die Folge ist eine Zyanose\*, die über Atemnot im schlimmsten Fall zum Tode führen kann. Diesbezüglich hat die Höchstmenge ihren Zweck erfüllt. Das Krankheitsbild wird in Deutschland praktisch nicht mehr beobachtet. [...]

Die Weltgesundheitsorganisation nennt für Natriumnitrat unter Berücksichtigung einer möglichen endogenen Nitrosaminbildung einen Acceptable Daily Intake (ADI) in Höhe von 0–5mg/kg Körpergewicht. Das entspricht einem Wert von 3,65 mg/kg Körpergewicht für das Nitrat-Ion oder einer als unbedenklich erachteten lebenslangen täglichen Nitrat-aufnahme von bis zu 256 mg für einen erwachsenen Mann (70 kg) [...]. Die gelegentliche, auch deutliche Überschreitung dieses Wertes wird nach diesem ADI-Konzept für den erwachsenen und jugendlichen Verbraucher als gesundheitlich unbedeutend angesehen. Die Weltgesundheitsorganisation weist bei der Festsetzung des ADI ausdrücklich darauf hin, dass aufgenommenes Nitrat in erheblichen Mengen zu Nitrit umgewandelt werden kann, weswegen der ADI für Nitrat auch nicht für Kinder gilt, die jünger als 3 Monate alt sind. [...]

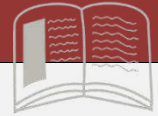
Quelle: [https://www.bfr.bund.de/cm/343/nitrat\\_in\\_diaetischen\\_lebensmitteln.pdf](https://www.bfr.bund.de/cm/343/nitrat_in_diaetischen_lebensmitteln.pdf) [11.06.2019]

### Exkurs: Methämoglobinämie



Im menschlichen Körper kann Sauerstoff im Blut am Proteinkomplex Hämoglobin gebunden und so transportiert werden. Wenn in einem Teil eines Hämoglobins, dem Häm, zentral ein zweifach positiv geladenes Eisen-Ion ( $\text{Fe}^{2+}$ ) vorliegt, kann Hämoglobin Sauerstoff transportieren. Bei Vergiftungen mit Oxidationsmitteln (z. B. Nitrit, Wasserstoffperoxid) wird das zweiwertige Eisen-Ion ( $\text{Fe}^{2+}$ ) zu einem dreiwertigen Eisen-Ion ( $\text{Fe}^{3+}$ ) oxidiert, es bildet sich das sogenannte Methämoglobin. In diesem Zustand kann kein Sauerstoff mehr im Blut transportiert werden, es kommt zur Methämoglobinämie. Insgesamt liegt etwa 1 % des Hämoglobins im Blut als Methämoglobin vor. Es wird stetig mithilfe des Enzyms Methämoglobinreduktase zurück zu Hämoglobin umgewandelt. Diese Reaktion kann zur Behandlung einer Methämoglobinämie durch Zugabe bestimmter Stoffe beschleunigt werden<sup>[34]</sup>.

### Zum Nachdenken



**Aufgabe 3.5:** Beschreiben Sie anhand der beiden Artikelausschnitte auf S. 20, wie in den Medien Panikmache zum Thema „Nitrat“ betrieben wird.

Was könnten Gründe für die einseitige Informationsdarstellung sein?



#### Gefahren der Ernährung: Darf man Spinat wieder aufwärmen?

»Wehe, wenn er wieder aufgewärmt«, warnt eine alte Küchenweisheit vor Spinat.

Darf man bereits gekochten Spinat aufwärmen oder nicht?

Ob frisch oder tiefgekühlt, mit oder ohne Blubb: Durch erneutes Erhitzen entstehen im bereits gekochten Spinat keine zusätzlichen Giftstoffe. Womöglich sind diese aber schon [vorhanden], wenn die Spinatreste schon einige Zeit darauf warteten, verspeist zu werden. Wobei für die Frage "Giftig oder nicht?" ausschlaggebend ist, wie man die grüne Delikatesse zwischenzeitlich aufbewahrt hat – und wer sie verzehrt. Wird der Restspinat schnell gekühlt, abgedeckt und nicht länger als zwei Tage gelagert, spricht nichts dagegen, ihn später noch einmal aufzuwärmen. Allerdings: Unbedenklich ist diese Art der Resteverwertung nur für Erwachsene. Säuglingen sollte man keinen wieder aufgewärmten Spinat vorsetzen – denn das möglicherweise darin enthaltene Nitrit kann bei ihnen im schlimmsten Fall lebensbedrohlichen Sauerstoffmangel hervorrufen. [...]

Für die Umwandlung von Nitrat in Nitrit braucht es spezielle Bakterien, die in Mund, Magen und vor allem im Spinat selbst vorkommen. Bewahrt man Spinat ungekühlt auf, beispielweise bei Zimmertemperatur, fühlen sich diese Bakterien pudelwohl, vermehren sich und beginnen mit [...] der Umwandlung von Nitrat in Nitrit. Schon nach zwei Tagen Aufbewahrung bei Raumtemperatur können so etwa 400 Milligramm pro Kilo Spinat entstehen. Hält man den Spinat gekühlt, sind Bakterien und mit ihnen die Nitritbildung kaltgestellt.

Quelle: <https://www.spektrum.de/frage/darf-man-spinat-wieder-aufwaermen/1550934> [12.06.2019]

### Zum Nachdenken



Auf S. 21 ist ein Ausschnitt aus einem 2018 veröffentlichten Artikel der *Spektrum* dargestellt<sup>[35]</sup>.

**Aufgabe 3.6:** Lesen Sie den Artikel und stellen Sie Vermutungen zum Zusammenhang von Nitrat und Nitrit im Spinat auf (z. B. „Wenn Restspinat schnell gekühlt und kühl gelagert wird, bildet sich kein Nitrit.“).

**Aufgabe 3.7:** Planen Sie ein oder mehrere Experimente zur Überprüfung Ihrer Vermutungen und führen Sie diese durch.

(Alternativ: Führen Sie [Experiment 9](#) durch.)

**Aufgabe 3.8:** Zurück zum Artikel – wie würden Sie vor dem Hintergrund ihrer Experimente die Aussagen des Artikels bewerten?

### Experiment 9



#### Nitrat und Nitrit im Spinat

Neben der Säuglingsmethämoglobinämie wird in den Medien häufig die potenzielle krebserzeugende Wirkung von Nitrosaminen erwähnt, die sich über Nitrit aus Nitrat im Körper bilden können. Leider ist ihre Wirkung noch nicht ausreichend erforscht. Auf der einen Seite zeigen Studien, dass es keinen direkten Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Nitrat und der Bildung von Tumoren gibt<sup>[32]</sup>. Auf der anderen Seite kann Nitrit mit sekundären Aminen zu Nitrosaminen reagieren, welche sich im Tierversuch größtenteils als krebserregend haben. Da die Wirkung auf den Menschen bisher nicht eindeutig geklärt

ist, sieht das Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR) eine langfristige Aufnahme größerer Nitrat- und Nitritmengen als problematisch an und rät dazu, die Zufuhr dieser Stoffe soweit wie möglich zu reduzieren<sup>[36]</sup>.

### Exkurs: Nitrosamine

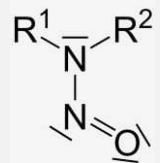


Nitrosamine sind eine Gruppe von Verbindungen mit der allgemeinen unten dargestellten Strukturformel und einer Vielzahl an möglichen organischen Resten R<sup>1</sup> und R<sup>2</sup>. Sie sind nicht nur in Teilen der Hydrosphäre und Atmosphäre zu finden, sondern kommen auch in Tabakrauch, Lebensmitteln und Kosmetika vor.

Nitrosamine werden unter bestimmten Bedingungen z. B. aus sekundären Aminen in Anwesenheit von Salpetriger Säure oder Stickstoffoxiden gebildet. Im Zusammenhang mit Nitrat und Nitrit ist vor allem die Bildung innerhalb des menschlichen Körpers (endogene Bildung) interessant. Sie geschieht hauptsächlich in saurer Umgebung, wie es im menschlichen Magen der Fall ist.

Im Tierversuch haben fast alle Nitrosamine eine krebserzeugende Wirkung, wobei viele Nitrosamine jeweils spezifische Organe angreifen.

Einige Stoffe wirken bezüglich der Nitrosaminbildung als Inhibitoren, d. h. sie können die Bildung unterdrücken, indem sie schneller mit Salpetriger Säure reagieren als sekundäre Amine. Dies gilt beispielsweise für Ascorbinsäure, also Vitamin C<sup>[37]</sup>.



### Exkurs: Pökeln von Lebensmitteln



Bei dem im Handel gebräuchlichen Nitritpökelsalz handelt es sich um ein Gemisch aus Speisesalz (Natriumchlorid) und 0,4 – 0,5 % Kalium- oder Natriumnitrit (Kennzeichnung: E 249 oder E 250). Es wird in erster Linie für Fleisch- und Fischerzeugnisse verwendet, um die Lebensmittel zu konservieren und dem Fleisch eine charakteristische, rote Farbe zu verleihen, die hitzebeständig ist (Abbildung 16). Je nach Wurstsorte sind in Deutschland 50 – 250 mg Nitritpökelsalz pro kg Fleisch erlaubt, in Biowurst sind es bis zu 80 mg/kg. Auch wenn nur etwa 3 % der Nitritbelastung im menschlichen Körper auf den Verzehr gepökelter Fleischerzeugnisse zurückzuführen ist, wird z. B. seitens des World Cancer Research Funds von dem häufigen Verzehr verarbeiteter Fleischerzeugnisse abgeraten. Da Temperaturen über 170 °C die Nitrosaminbildung fördern, sollten gepökelte Lebensmittel außerdem möglichst nicht über diese Temperatur, z. B. durch Braten, erhitzt werden<sup>[38]</sup>.



Abbildung 16: Pökeln von Schweinefleisch zur Herstellung von durchwachsenem Speck

### Experiment 10



Nitrit-Gehalt in Pökelfleisch

### Experiment 11



„Umrötung“ durch Nitritpökelsalz

## 4 Rechtliche Grundlagen

Im Oktober 2016 hat die **EU-Kommission** eine Klage gegen die Bundesrepublik Deutschland beim **Europäischen Gerichtshof (EuGH)** eingereicht<sup>[39]</sup>. Ein zentraler Vorwurf der Klage war der Eintrag von mehr Dünger, als von den Pflanzen aufgenommen werden könne. Ebenso seien die in Deutschland geltenden gesetzlichen Düngepausen mit bis zu drei Monaten deutlich zu kurz, da nach dem Stand der Wissenschaft fünf bis sieben Monate notwendig seien<sup>[40]</sup>.

Daraufhin folgte im Juni 2018 das Urteil des EuGHs, das feststellte, dass Nitrat-Belastungen in vielen Regionen Deutschlands zu hoch sei ([Abbildung 17](#)).

Dies galt konkret für folgende Regelungen:

- Begrenzung der Düngemittelausbringung unter Berücksichtigung ausgewogener Düngung
- „Sperrzeiten“ der Düngemittelausbringung
- Fassungsvermögen und Bauweise der Behälter zur Düngemittellagerung
- Einhaltung der auszubringenden Düngemittelhöchstmenge pro Jahr und Hektar
- Düngemittelausbringung an stark geneigten Flächen
- Düngemittelausbringung auf Böden, die überschwemmt, gefroren oder schneebedeckt sind

Das Urteil bezog sich auf die Düngeverordnung von 2014. Infolge der Klage wurde die Düngeverordnung 2017 reformiert<sup>[39,41]</sup>. Doch auch diese Verschärfungen reichten der EU-Kommission nicht aus, sie fordern strengere Vorgaben. Werden diese nicht umgesetzt, drohen der Bundesregierung Strafzahlungen von bis zu 861.000 Euro pro Tag<sup>[42]</sup>.

Europäischer Gerichtshof

### Deutschland wegen Wasserbelastung durch Nitrat verurteilt

Zu viel Nitrat, meist aus landwirtschaftlicher Düngung, schadet der Umwelt. Der Europäische Gerichtshof bescheinigt Deutschland, nicht genug dagegen getan zu haben.

21. Juni 2018, 9:56 Uhr / Aktualisiert am 21. Juni 2018, 11:31 Uhr / Quelle: ZEIT ONLINE, dpa, tst, asw / 393 Kommentare

Der Europäische Gerichtshof hat Deutschland dafür verurteilt, zu wenig gegen Nitrate im Grundwasser unternommen zu haben. Wie die Richter feststellten, hätte Deutschland zusätzliche oder verstärkte Maßnahmen einleiten müssen, um seine Gewässer zu schützen. Die Bundesrepublik habe damit gegen die für den Gewässerschutz maßgebliche EU-Richtlinie verstoßen. Strafzahlungen in Milliardenhöhe könnte die **EU-Kommission** nun in einem zweiten Schritt durchsetzen.

Abbildung 17: Artikelausschnitt der ZEIT zu einem Urteil des Europäischen Gerichtshofs (EuGH)

Die **Deutsche Umwelthilfe (DUH)** richtete sich in einer Grundsatzklage für „Sauberes Wasser“ im Juli 2018 ebenfalls gegen die Bundesrepublik Deutschland. Hierbei wurde u. a. kritisiert, dass das 2017 geänderte Düngerecht für eine angemessene Reduzierung der Nitratbelastung in Grund- und Oberflächengewässern nicht ausreichte<sup>[43,44]</sup>.

*„Auch das novellierte Recht bringt keinen rechtskonformen Zustand. So wird der Grenzwert von 50 Milligramm pro Liter über unabsehbare Zeit nicht an allen deutschen Messstationen eingehalten. Ebenso wird die erhebliche Eutrophierung unserer Gewässer nicht beseitigt. Das neue Düngerecht wird keine Verbesserungen bringen. Selbst viele durch das EU-Recht vorgesehenen Mindestanforderungen sind im novellierten Düngerecht immer noch nicht umgesetzt.“*

Remo Klinger, die DUH vertretender Rechtsanwalt <sup>[43]</sup>



#### 4.1 Richtlinien zum Umweltschutz

In der Europäischen Union gibt es verschiedene Richtlinien und Verordnungen zum Umweltschutz. Während **EU-Verordnungen** unmittelbar gelten, müssen **EU-Richtlinien** im nationalen Recht des jeweiligen Landes umgesetzt werden. Dabei besteht in der Umsetzung ein gewisser Spielraum<sup>[45]</sup>.

Im Zusammenhang mit den durch reaktive Stickstoffverbindungen verursachten Problemen sind vor allem die Bereiche Wasser, Luft, Klimawandel und Landwirtschaft interessant und in ihren EU-weiten Strategien miteinander verknüpft<sup>[46]</sup>.

#### Wasserreinhaltung

Um das europäische Gewässerschutzrecht zu vereinheitlichen, gibt es seit Oktober 2000 eine Wasserrahmenrichtlinie<sup>[47]</sup>. Daneben bestehen u. a. die Nitratrichtlinie und Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie<sup>[48]</sup>. Die Umsetzung der Richtlinien erfolgt auf nationaler Ebene durch Gesetze bzw. Verordnungen. Dabei können durch eine Verordnung mehrere der zahlreichen EU-Richtlinien umgesetzt werden. In Deutschland werden beispielsweise mehrere Europäische Richtlinien in der **Trinkwasserverordnung** umgesetzt. Diese dient in all ihrer Komplexität dem Schutz der menschlichen Gesundheit vor Gefahren, die sich aus verunreinigtem Wasser ergeben könnten<sup>[49]</sup>.

#### Zum Nachdenken



Auf der Seite des Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz finden Sie nationale Gesetze/Verordnungen in alphabetischer Reihenfolge (<https://www.gesetze-im-internet.de/aktuell.html>).

**Aufgabe 4.1:** Suchen Sie die Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung – GrwV) heraus.

Wie ist die Grundwasserverordnung aufgebaut?

**Aufgabe 4.2:** Was ist mit dem Begriff „Schwellenwert“ gemeint? Im Grundwasserbericht sind für einige Stickstoffverbindungen Schwellenwerte gelistet – welche Schwellenwerte sind für Nitrat, Nitrit und Ammonium festgelegt?

**Aufgabe 4.3:** Beschreiben Sie, wie nach der Grundwasserverordnung der Zustand des Grundwassers ermittelt werden soll.

Tabelle 4: Begriffserklärungen einiger wesentlicher Begriffe der Grundwasserverordnung

<b>Grenzwert</b>	Der Grenzwert eines Stoffes ist der Wert, bei dem auf Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse davon ausgegangen werden kann, dass keine schädlichen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und/oder die Umwelt entstehen. Er muss innerhalb eines bestimmten Zeitraums eingehalten werden.
<b>Kritischer Wert</b>	Der kritische Wert eines Stoffes ist der Wert, dessen Überschreitung nach wissenschaftlichen Erkenntnissen eine schädliche Auswirkung auf bestimmte Pflanzen und natürliche Ökosysteme, nicht aber auf den Menschen haben kann.
<b>Obere Beurteilungsschwelle</b>	Wird in einem Gebiet der Wert der oberen Beurteilungsschwelle <u>überschritten</u> , <u>müssen</u> zur Beurteilung der Luftqualität ortsfeste Messungen durchgeführt werden. Diese können durch Modellrechnungen und/oder orientierende Messungen zur Informationsbeschaffung ergänzt werden. Liegt der Wert <u>unterhalb</u> der oberen Beurteilungsschwelle, <u>kann</u> eine Kombination der verschiedenen Messungen angewandt werden.
<b>Untere Beurteilungsschwelle</b>	In Gebieten, in denen der Wert unterhalb der unteren Beurteilungsschwelle liegt, genügen zur Beurteilung der Luftqualität Modellrechnungen und/oder Techniken der objektiven Schätzung.

### Luftreinhaltung

Für die Kontrolle der Luftqualität gibt es die Richtlinie über „Luftqualität und saubere Luft für Europa.“ Sie Richtlinie beinhaltet u. a. Grenzwerte für Stickstoffoxide und wird in Deutschland im Bundes-Immissionsschutzgesetz umgesetzt<sup>[50]</sup>.

### 4.2 Düngemittleinsatz

Der Einsatz von Düngemitteln wird in Deutschland mithilfe von drei Vorschriften reguliert<sup>[39]</sup>:

- **Düngegesetz:** Grundsätzliche Rahmenbedingungen für die Herstellung und Anwendung von Düngemitteln<sup>[51]</sup>
- **Düngeverordnung:** Konkrete Anwendung des Düngegesetzes mit genauen Vorschriften, Regeln, Fristen und Grenzen<sup>[52]</sup>
- **Düngemittelverordnung:** Einordnung und Zulassung von Düngemitteln für das Inverkehrbringen<sup>[53]</sup>

#### 4.2.1 Das Düngegesetz

Das Düngegesetz wurde im Januar 2009 erlassen und zuletzt Mai 2017 geändert; es dient der Umsetzung von EU-Richtlinien, die den Verkehr und die Anwendung von Düngemitteln beinhalten. Zu den Änderungen gehört beispielsweise, dass bestimmte Betriebe seit 2018 eine **Stoffstrombilanz** durchführen müssen<sup>[51,54]</sup>.

#### Exkurs: Die Stoffstrombilanz



Das Ziel der Stoffstrombilanz ist es, mehr Transparenz über die Nährstoffflüsse in landwirtschaftlichen Betrieben zu schaffen. Wie landwirtschaftliche Betrieben mit Nährstoffen umzugehen haben und wie eine betriebliche Stoffstrombilanz zu erstellen ist, wird in der sogenannten **Stoffstrombilanzverordnung** geregelt, die am 1. Januar 2018 in Kraft trat<sup>[55]</sup>. Konkret müssen die betroffenen Betriebe jedes Jahr eine Bilanz erstellen über:

**Nährstoffzufuhr:** Stickstoff- und Phosphormengen, die dem Betrieb zugeführt werden.

**Nährstoffabgabe:** Stickstoff- und Phosphormengen, die der Betrieb abgibt.

Der Grundgedanke ist also, zu erfassen, in welchem Umfang Nährstoffe den Betrieb verlassen, bzw. was vom Betrieb aufgenommen wird. Selbst angebautes Getreide, das an das eigene Vieh verfüttert wird, muss beispielsweise nicht in der Stoffstrombilanz aufgeführt werden, da es den Betrieb nicht verlässt.

In der Bewertung der Stoffstrombilanz wird lediglich die Stickstoffzufuhr und –abgabe in einem dreijährigen Mittel bewertet. Im Durchschnitt darf der Wert entweder nicht höher als 175 kg Stickstoff pro Hektar und Jahr sein oder der betriebsindividuelle Bilanzwert um nicht mehr als 10 % überschritten werden<sup>[56]</sup>.

**Aufgabe 4.4:** Nennen Sie mögliche Stoffe, die in einem Betrieb jeweils in der Nährstoffzufuhr und –abgabe anfallen und damit dokumentiert werden müssen.

**Aufgabe 4.5:** Ein Milchkuhbetrieb hat eine landwirtschaftlich genutzte Fläche von 60 Hektar. Es wurde innerhalb eines Jahres mineralisch mit 16.000 kg angekauften Kalkammonsalpeter (N-Gehalt: 27 %) gedüngt. Insgesamt fielen 1500 Tonnen Rindermist (N-Gehalt: 5 kg/t) an, wovon 800 Tonnen verkauft wurden. Der Rest diente dem Eigenbedarf zur organischen Düngung. Außerdem wurde als Futtermittel 100.000 kg Körnermais (N-Gehalt: 1,5 %) und 120.000 kg Sojaschrot (N-Gehalt: 5 %) zugekauft.

Erstellen Sie mithilfe der angegebenen Daten eine Stoffstrombilanz für den Milchkuhbetrieb.

#### 4.2.2 Die Düngeverordnung

Die Düngeverordnung (DüV) wurde im Mai 2017 erlassen und präzisiert die Anforderungen des Düngegesetzes. Ein wesentlicher Bestandteil ist die Düngebedarfsermittlung. Diese bezieht sich auf den Stickstoffdüngebedarf der angebauten Pflanzen in Acker- und Grünland und soll ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf der Pflanzen und der Nährstoffversorgung schaffen. Außerdem beinhaltet die Düngeverordnung

- Beschränkungen für stickstoff- und phosphathaltige Düngemittel in Abhängigkeit vom Standort und Zustand des Bodens sowie
- Sperrzeiten für die Ausbringung von Düngemitteln und Vorgaben zur Lagerung organischer Düngemittel<sup>[57]</sup>.

#### Exkurs: Düngebedarfsermittlung



Eine Düngebedarfsermittlung kann für Winterraps vereinfacht folgendermaßen aussehen (Tabelle 5).

Stickstoffbedarfswert und Ertragsniveau können in den Listen der DüV abgelesen werden. Weicht der Ertrag des Betriebes davon ab, muss dies in Zeile 4 und 5 entsprechend vermerkt werden. Die bereits im Boden verfügbare Stickstoffmenge  $N_{\min}$  (min = mineralisch, als Nitrat oder Ammonium) kann über verschiedene Wege ermittelt werden, z. B. durch Bodenuntersuchungen oder amtliche Referenzwerte. Je nach Höhe der Ertragsdifferenz (Zeile 5) ergeben sich Zu- oder Abschläge bezüglich des Düngebedarfs, deren Höhe in der DüV tabellarisch gelistet und in Zeile 8 einzutragen sind. Nachfolgend sind Stickstoffnachlieferungen aus verschiedenen Quellen einzutragen. Bei organischen/organisch-mineralischen Düngemitteln gilt beispielsweise ein Abschlag in Höhe von 10 % des im Vorjahr ausgebrachten Gesamtstickstoffs im Düngemittel. Der letztendliche Stickstoffdüngebedarf wird gemäß Zeile 12 berechnet. Dieser Bedarf kann unter bestimmten Umständen, z. B. aufgrund von Witterungsverhältnissen, erhöht werden<sup>[58]</sup>.



Tabelle 5: Schema zur Düngebedarfsermittlung für Acker- und Gemüsebau (Anlage 4, Tabelle 1 der Düngeverordnung)

Faktoren für die Düngebedarfsermittlung		Beispiel	Anzuwendende Tabelle/Vorschrift der Düngeverordnung
1	Kultur	Winterraps	Tabelle 2 oder 4
2	Stickstoffbedarfswert	200 kg N/ha	Tabelle 2 oder 4
3	Ertragsniveau laut Tabelle mit Stickstoffbedarfswerten	40 dt/ha	Tabelle 2 oder 4
4	Betriebliches Ertragsniveau (Durchschnitt der letzten 3 Jahre)	45 dt/ha	Tabelle 3 oder 5
5	Ertragsdifferenz aus Zeile 3 und 4	+ 5 dt/ha	Zeilen 3 und 4
<b>Zu- und Abschläge der Stickstoffmengen pro Hektar</b>			
6	Im Boden verfügbare Stickstoffmenge ( $N_{min}$ )	aus Frühjahrmessung – 40 kg N/ha	§ 4 Absatz 1 Satz 2 Nummer 3 und Absatz 4
7	Ertragsdifferenz	+ 10 kg N/ha	Zeile 5; Tabelle 3 oder 5
8	Stickstoffnachlieferung aus dem Bodenvorrat	0 kg N/ha	Tabelle 6
9	Stickstoffnachlieferung aus der organischen Düngung der Vorjahre	– 13 kg N/ha (130 kg N/ha Gülle im Vorjahr aufgebracht)	§ 4 Absatz 1 Satz 2 Nummer 5
10	Stickstoffnachlieferung aus der Vorfrucht/-kultur	– 10 kg N/ha (Futterleguminosen mit Nutzung)	Tabelle 3 oder 7
11	Abdeckung mit Folie oder Vlies zur Ernteverfrüherung	0 kg N/ha (nicht relevant)	§ 4 Absatz 1 Satz 2 Nummer 2
12	Stickstoffdüngbedarf während der Vegetation	147 kg N/ha	Summe der Werte der Zeilen 2, 6, 7, 8, 9, 10 und 11
13	Zuschläge aufgrund nachträglich eintretender Umstände, insbesondere Bestandsentwicklung oder Witterungsereignisse	Nach Maßgabe der nach Landesrecht zuständigen Stellen	§ 3 Absatz 3 Satz 3 und 4

### 4.2.3 Kritik und Reformen

Die Düngeverordnung und ihre Reformen werden in den Medien oft thematisiert und zum Teil hart kritisiert. Insbesondere die erste Hälfte des Jahres 2019 war geprägt von Demonstrationen gegen Verschärfungen der Düngeverordnung. Gleichzeitig standen Umwelt- und Landwirtschaftsministerium in einem monatelangen Streit, um einen Kompromiss bezüglich der Düngeverordnung zu finden. Die Reformen beruhen erneut auf dem zu Beginn des Kapitels thematisierten EuGH-Urteil und der Problematik, dass die bereits 2017 vollzogenen Reformen der EU-Kommission nicht ausreichen. Um die hohen Strafzahlungen zu vermeiden, musste die Bundesregierung handeln – inwiefern die Änderungen der EU-Kommission diesmal genügen, ist noch offen<sup>[59]</sup>.

#### Zum Nachdenken



Die Düngung und damit verwandte Themen werden oft heiß diskutiert. Die Meinung einzelner Personen spiegelt sich dabei beispielsweise in Forenbeiträgen oder Artikelkommentaren wider.

**Aufgabe 4.6:** Lesen Sie die unten dargestellten Kommentare anonymen Leser, die zu Artikeln verfasst wurden, die sich mit der Düngethematik beschäftigen<sup>[60]</sup>.

Welche Probleme lassen sich daraus erkennen?  
*Anmerkung: Einige Kommentare wurden gekürzt und/oder um Rechtschreibfehler korrigiert.*

„Wenn ALLE Landwirte pauschal 20% weniger Gülle ausbringen, verrecken die Pflanzen Derjenigen, die vorher bereits zielgerichtet minimal gedüngt haben.  
Jetzt klarer?“

„Bestes Beispiel: Bei meinem Getreideanbau in diesem Jahr habe ich exakt nach den "Neuen" Düngeregeln gedüngt. Das Getreide war optisch verhungert, obwohl ich nach der Düngebedarfsplanung "ausreichend" gedüngt habe!  
Eine von mir veranlasste Pflanzenanalyse ergab eine große UNTERVERSORGUNG des Getreides von 45-50 kg Stickstoff je ha!  
Dennoch soll ich nächstes Jahr noch einmal 20 % weniger düngen, obwohl bereits jetzt mein Getreide verhungert!“

„Tja, mehr Gülle also...heißt es gibt mehr Tiere! Und warum? Weil der Verbraucher dies fordert und Fleisch immer mehr kauft! So lutscht sich der Drop! Der Fehler ist der Verbraucher, nicht der Landwirt, im System!“

„Ich verstehe das ganze Drama um die Gülle nicht. Aus der Natur für die Natur. Gülle ist doch voll Bio. Wozu teuren Kunstdünger ausbringen, wenn es auch natürlich geht?“

„Der Landwirt braucht viel zu viel Steuergeld. Er arbeitet heutzutage nur noch wegen der Subventionen. Überlässt die Felder doch der Natur.“

„Leider kann man den Fachkräftemangel in der Politik am besten nachweisen! Denn würden sie zuerst ihre Messstellen dementsprechend erweitern und die Proben neutral und mehrmals pro Jahr ziehen, auch dabei den Durchschnitt der gesamten Messstellen in einem Gebiet ermitteln, bin ich mir sicher, dass oftmals die Nitratgrenzwerte nicht überschritten würden.“

„Man merkt den praktischen Einfluss von Kennern im Ministerium, wenn man sich den Absatz beim Raps ansieht. Es darf gedüngt werden, wenn über eine Bodenprobe ein Düngebedarf nachgewiesen wird. Erstens dauert eine Probe mit unter 4-6 Wochen Minimum. Dann kann sein, dass ich den Raps schon gedrillt habe, bevor ich mein Ergebnis habe, ob ich noch mit der Gülle kommen kann oder nicht. D. h. ich fahre über ein Rapsfeld, welches die Pflanzen gar nicht gerne haben und habe die Gülle oben auf statt schön im Wurzelbereich eingearbeitet. Und wer hat schon von Haus aus die 100 kg N im Boden die Raps noch aufnehmen kann bei der neuen DüV?!“

## 5 Sauberes Wasser – aber wie?

UMWELTMINISTER HOFFT AUF AGRARGELDER 25.06.2019, 14:35 Uhr

### Niedersachsen braucht Milliardenbetrag für Natur- und Wasserschutz

Von Klaus Wieschemeyer >



Viele niedersächsische Gewässer sind in einem schlechten Zustand. Foto: Peter Endig/dpa

Hannover. Die Umsetzung von EU-Vorgaben zum Natur- und Gewässerschutz wird für das Land Niedersachsen in den kommenden Jahren teuer.

Niedersachsens Umweltminister Olaf Lies (SPD) rechnet in den kommenden Jahren mit Milliardenkosten für die Umsetzung von EU-Vorgaben. Das geht aus einer Unterrichtung auf Wunsch des Grünen-Landtagsabgeordneten und Lies-Vorgängers Stefan Wenzel hervor. Grund sind die geplante Umsetzung der FFH- und Vogelschutzrichtlinie sowie der EU-Wasserrahmenrichtlinie in den kommenden Jahren. In beiden Feldern steht das Land derzeit noch am Anfang, wird aber von der EU seit Jahren zum Handeln gedrängt.

Abbildung 18: Artikelausschnitt der Neuen Osnabrücker Zeitung (NOZ) zum Umwelt- und Gewässerschutz in Niedersachsen

Die Eintragswege reaktiver Stickstoffverbindungen, sowie deren negative Auswirkungen auf die Umwelt sind äußerst komplex. Ebenso vielfältig sind Ansätze zur Lösung dieser Problematik<sup>[9]</sup>. Ein Schwerpunkt liegt in der Wasserreinhaltung, sowohl von Oberflächengewässern als auch vom Grundwasser (vgl. [Abbildung 18](#)). Dafür finden sich in Deutschland verschiedene Kooperationsmodelle zwischen Wasserversorgern und der Landwirtschaft. Der Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband (OOWV) praktiziert beispielsweise in Zusammenarbeit mit Landwirten einen kooperativen Gewässerschutz in Wasserschutzgebieten. Landwirte optimieren auf Basis einer kostenlosen Beratung ihre Bewirtschaftungsweise und erhalten im Gegenzug für den Mehraufwand eine finanzielle Entschädigung<sup>[61]</sup>.

Dieser „kooperative Gewässerschutz“ zählt zu einer der Möglichkeiten, dem Stickstoffeintrag **präventiv** vorzubeugen. Sollten vorbeugende Maßnahmen nicht mehr ausreichen, müssen Wasserversorger **reaktiv** handeln, um sauberes Trinkwasser bereitstellen zu können<sup>[62]</sup>.

### 5.1 Präventive Maßnahmen

Seit 1987 kauft der OOWV Flächen in Wassergewinnungsgebieten. Diese werden unter strengen Nutzungsaufgaben verpachtet oder aufgeforstet. Werden die Flächen zur landwirtschaftlichen Nutzung verpachtet, dürfen keine Pflanzenschutzmittel eingesetzt werden und auch der Einsatz von Düngemitteln ist beschränkt. Zur Art und Häufigkeit der Bepflanzung gibt es ebenfalls Auflagen<sup>[62]</sup>. Aus diesen Auflagen, sowie den Auflagen nationaler Verordnungen (z. B. Düngeverordnung), werden bereits einige präventive Maßnahmen deutlich:

- Bedarfsorientiertere Düngung,
- Gezielte Bepflanzung,
- Nutzung verbesserter Biogasanlagen sowie
- Eine kritische Reflexion und Anpassung des eigenen Verhaltens.



### 5.1.1 Bedarfsorientiertere Düngung

Pflanzen brauchen Nährstoffe zum Wachsen und nehmen diese in beträchtlichen Anteilen aus dem Boden auf. Bei der Ernte verlassen die in den Pflanzen gebundenen Nährstoffe das Feld und der Boden würde ohne zusätzliche Nährstoffzufuhr verarmen. Selbst eine Zufuhr von „hauseigenen“ Nährstoffen in Form von Mist, Jauche oder Gülle reicht häufig nicht aus, um die Pflanzen ausgewogen zu ernähren, sodass in solchen Fällen Mineraldünger ergänzt wird. Nur wenn Nährstoffverluste durch eine angepasste Düngung ausgeglichen werden, ist es Landwirten langfristig möglich, gute und fruchtbare Böden zu erhalten. Dies ist Voraussetzung für gesunde Pflanzen, gute Erträge und hochqualitative Ernteprodukte. Für die Pflanze spielt die Art des Düngers (organisch oder mineralisch) dabei keine Rolle.

Im Hinblick auf die Stickstoffversorgung der Pflanzen hat eine zu hohe Stickstoffdüngung auch negative Auswirkungen ([Experiment 12](#)). Bei Getreide kann z. B. die Standfestigkeit leiden, was bei starkem Regen oft zum Umknicken der Halme führt<sup>[63]</sup>.

Ein wesentlicher Aspekt bei der Düngebedarfsermittlung (vgl. S. 27) ist die Untersuchung des Nährstoffangebotes im Boden. Während es für den Stickstoffbedarf der einzelnen Pflanzen tabellierte Richtwerte gibt und sich der Stickstoffgehalt der verwendeten Düngemittel relativ leicht berechnen lässt, ist die Ermittlung des Stickstoffvorrats im Boden etwas schwieriger ([Experiment 13](#)).

#### Zum Nachdenken



**Aufgabe 5.1:** Was könnten Faktoren sein, die einen Einfluss auf den Stickstoffvorrat im Boden ( $N_{\min}$ -Vorrat) haben?

Vor allem bei Pflanzen mit einem hohen Stickstoffbedarf präzisieren Landwirte die Stickstoffversorgung der Pflanze oftmals, indem sie die Düngung aufteilen. In verschiedene Wachstumsphasen benötigen Pflanzen unterschiedliche Nährstoffmengen und können auf diese Weise bedarfsgerecht versorgt werden<sup>[63]</sup>. Gleichzeitig kann so die Auswaschung von Nitrat-Ionen minimiert werden.

#### Experiment 12



Auswirkungen verschiedener Stickstoffeinträge auf das Pflanzenwachstum am Beispiel Kresse

#### Experiment 13



Bestimmung des Stickstoffgehaltes im Boden



Mit modernen Verfahren kann die Düngung sogar noch weiter präzisiert werden. Besonders interessant ist die **teillächenspezifische Düngung**. Innerhalb eines großen Feldes kann der Nährstoffgehalt des Bodens schwanken. Über spezielle Stickstoff-Sensoren lässt sich der jeweilige Stickstoffgehalt des Bodens bestimmen und die Düngemenge automatisch anpassen (Abbildung 19). Außerdem können Ackerfelder digital erfasst und durch die Entnahme von Bodenproben entsprechende Nährstoffkarten erstellt werden, die z. B. Stickstoff-, Phosphat- und Kaliumgehalte der einzelnen Teilstücke darstellen (Abbildung 20). Diese Daten können in die Einstellung des Düngerverteilers am Traktor eingespeist und die Düngung somit angepasst werden<sup>[63]</sup>.



Abbildung 19: Traktor mit Stickstoff-Sensor auf dem Dach

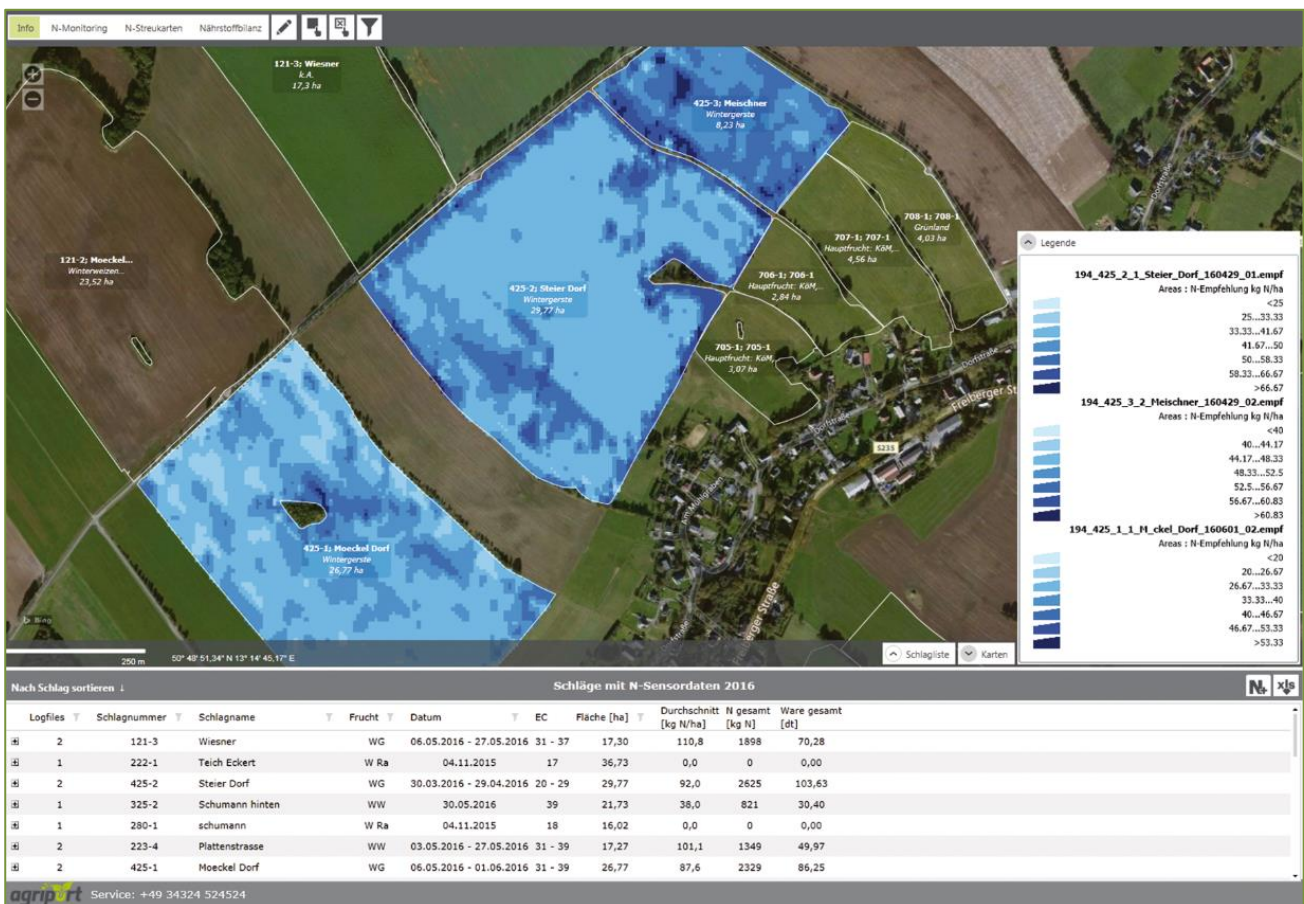


Abbildung 20: Teillächenspezifische Stickstoff-Düngeempfehlung von Wintergerste auf Basis des mit Sensor erfassten Stickstoffgehaltes im Boden



### 5.1.2 Gezielte Bepflanzung

Besonders bei Flächen in Wasserschutzgebieten, die an Landwirte verpachtet werden, herrschen strenge Auflagen bezüglich der Bepflanzung. Eine Maßnahme ist beispielsweise eine dauerhafte Grünlandnutzung\*. Grünland hat eine große ökologische Bedeutung, denn es bietet einer Vielzahl an Tieren und Pflanzen einen Lebensraum<sup>[64]</sup>. Eine weitere Maßnahme ist eine gezielte Aufforstung mit Laub- und Mischwäldern<sup>[62]</sup>. Aber auch Flächen, die als landwirtschaftliche Ackerflächen dienen, können durch gezielte Bepflanzung so bewirtschaftet werden, dass überschüssige Nitratauswaschungen ins Grundwasser minimiert werden. **Zwischenfrüchte** können im Boden verfügbare Stickstoffreste aufnehmen (Abbildung 21). Auf diese Weise gelangt weniger Ammonium und/oder Nitrat in tiefere Erdschichten und schließlich ins Grundwasser, sondern wird in die „Grünmasse“ eingebunden. Die Zwischenfrüchte können im Frühjahr geerntet und/oder in den Boden eingearbeitet werden und für die neue Ackerkultur durch Mineralisation\* im Boden zur Verfügung stehen (Experiment 14)<sup>[65]</sup>.

#### Experiment 14



Stickstoffmineralisation im Boden



Abbildung 21: Raps ist eine typische Zwischenfrucht im Ackerbau

### 5.1.3 Verbesserte Biogasanlagen

Biogasanlagen werden mit pflanzlichem oder tierischem Material gefüllt und unter sauerstofffreien (anaeroben) Bedingungen gelagert. Das Material wird durch Bakterien unter Bildung von Biogas abgebaut. Das so produzierte Biogas hat einen Methangehalt von 50 – 75 % und kann der **Energieversorgung** dienen. Verbleibende Gärreste können üblicherweise als Düngemittel verwendet werden. Diese Art der Energiegewinnung aus erneuerbaren Energieträgern ist einerseits vorteilhaft, andererseits aber auch mit Nachteilen und **Risiken** verbunden. In den Anlagen werden große Mengen entzündlicher und umweltschädlicher Stoffe umgesetzt. Durch unzureichende oder veraltete Techniken entweichen etwa 5 % des Methans unkontrolliert in die Atmosphäre. Darüber hinaus stehen vor allem sogenannte Nawaro (Nachwachsende Rohstoffe)-Biogasanlagen in der Kritik, da für den Betrieb dieser Anlagen extra Energiepflanzen wie Mais oder Getreide angebaut werden<sup>[66]</sup>.

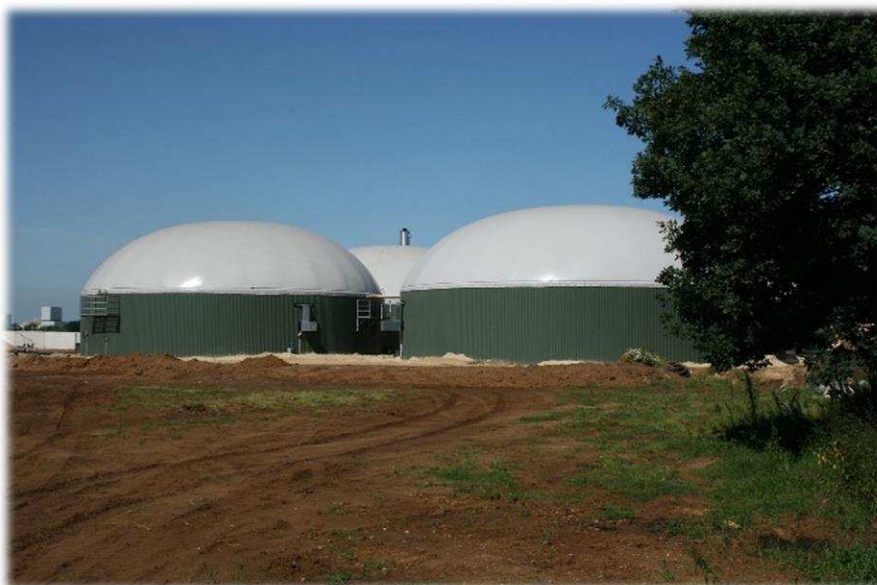
Eine Frage aktueller Untersuchungen ist, wie sich Gülle in Biogasanlagen sinnvoll verwerten ließe. Jedes Jahr wird in Deutschland durch die Viehhaltung (Schweine und Kühe) etwa 1,27 Milliarden Tonnen Gülle produziert, die zwar sehr nährstoff-

reich, aber nicht ohne Schadstoffe ist. Der Transport und die Verteilung dieser Güllemassen sind zudem mit hohen Kosten verbunden<sup>[67,68]</sup>.

Im Rahmen des Projekts *MANUREECOMINE* wurde in den Jahren 2013 – 2016 eine Hightech-Biogasanlage entwickelt. Die Gülle wird in der Anlage nach Abtrennung des Wasseranteils (ca. 90 %) fermentiert und das entstandene Methan zum Antrieb der Anlage verwendet. Dann werden die wertvollen Nährstoffe der Gülle einzeln abgetrennt und können zu verschiedenen zusammengesetzten Düngemitteln neu gemischt werden<sup>[68]</sup>.

Eine weitere neuartige Technologie wurde vom finnischen Unternehmen *Ductor* entwickelt, die in der Lage ist, u. a. Gülle und Geflügelmist umzusetzen. Herkömmlichen Anlagen können nur kleine Mengen Gülle und Mist zugeführt werden, da sonst zu viel unerwünschtes Ammoniakgas entsteht. Mithilfe der *Ductor*-Technologie können Stickstoff und Phosphor vor der eigentlichen Biogasproduktion abgetrennt werden.

Dadurch soll sowohl die Effizienz der Anlagen erheblich gesteigert als auch eine Produktion von Düngemittelgrundstoffen ermöglicht werden<sup>[69]</sup>.



#### 5.1.4 Persönliches Konsumverhalten

Um den Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umwelt zu verringern, sieht ein Großteil der Bevölkerung einen starken Handlungsbedarf in der Landwirtschaft. Dabei beeinflusst auch jede einzelne Person mit ihrem individuellen Konsumverhalten die Stickstoffbelastung. Einflussfaktoren sind dabei insbesondere:

- Konsum und Umgang mit Lebensmitteln,
- Verkehrsmittel zur Fortbewegung und
- Wohnen und Bauen.

#### Konsum und Umgang mit Lebensmitteln

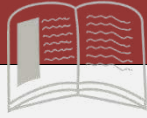
Die Produktion verschiedener Lebensmittel, z. B. Obst, Gemüse oder Fleisch, geht mit ganz unterschiedlich großer Freisetzung reaktiven Stickstoffs einher. In Deutschland werden beispielsweise etwa 12,3 Millionen Rinder und 27,6 Millionen Schweine als Nutztiere gehalten (Stand 2017)<sup>[70]</sup>. Aufgrund dieser großen Tierbestände wird ein beträchtlicher Anteil von Ackerflächen zum Anbau von Tierfutter verwendet<sup>[71]</sup>. Doch nicht nur der Anbau von Tierfutter trägt zu Stickstoffemissionen bei, auch die Erhaltung der Betriebe, die Verarbeitung und Produktion von Fleisch, sowie der Transport leisten Beiträge dazu. Um ein Kilogramm eines tierischen Nahrungsmittelproduktes, z. B. Fleisch oder Eier, herzustellen, müssen erheblich mehr Energie und Nährstoffe aufgewendet werden, als für die gleiche Menge pflanzlicher Produkte. Eine Verringerung des Konsums tierischer Eiweiße trägt daher zu einer Verminderung der Freisetzung reaktiver Stickstoffverbindungen bei<sup>[72]</sup>.

Neben der Auswahl der Lebensmittel ist vor allem der Umgang mit den Lebensmitteln entscheidend. Der Fokus liegt hierbei auf der **Vermeidung von Lebensmittelabfällen**, da auch die überschüssigen oder verdorbenen Lebensmittel mit hohem Aufwand und unter Stickstoffemissionen produziert wurden<sup>[73]</sup>. In Deutschland werden jährlich ca. 11 Millionen Tonnen Lebensmittel entsorgt, wobei mit einem

Anteil von 61 % ein Großteil auf private Haushalte fällt – im Durchschnitt jährlich über 80 kg pro Person<sup>[74]</sup>. Durch vorausschauende Planung beim Einkauf und korrekte Lagerung wäre ein beträchtlicher Anteil dieser Abfälle vermeidbar. Im Gegensatz zu Lebensmitteln mit Verbrauchsdatum\* (z. B. Hackfleisch) sind Lebensmittel mit Mindesthaltbarkeitsdatum\* bei richtiger Lagerung oft weiterhin ohne Einschränkung genießbar<sup>[75]</sup>.



### Zum Nachdenken



Menschen und Tiere können Stickstoff weder in elementarer Form aus der Luft noch in mineralischer Form, z. B. Nitrat, aufnehmen. Sie sind daher auf die regelmäßige Zufuhr von Eiweißen angewiesen. Diese sind aus Aminosäuren aufgebaut, in denen Stickstoff gebunden ist. Nicht verwertete Aminosäuren werden im Körper abgebaut und in Form von Harnstoff ausgeschieden. Ein Mastschwein setzt im Laufe seines Lebens im Zuge des Eiweißstoffwechsels große Mengen Harnstoff frei, wie an der durchschnittlichen Güllemenge in [Abbildung 22](#) zu sehen ist<sup>[76]</sup>.

**Aufgabe 5.2:** Berechnen Sie anhand von [Abbildung 22](#) die Güllemengen, die durch die Herstellung von 200 g Kotelett anfallen<sup>[76]</sup>.

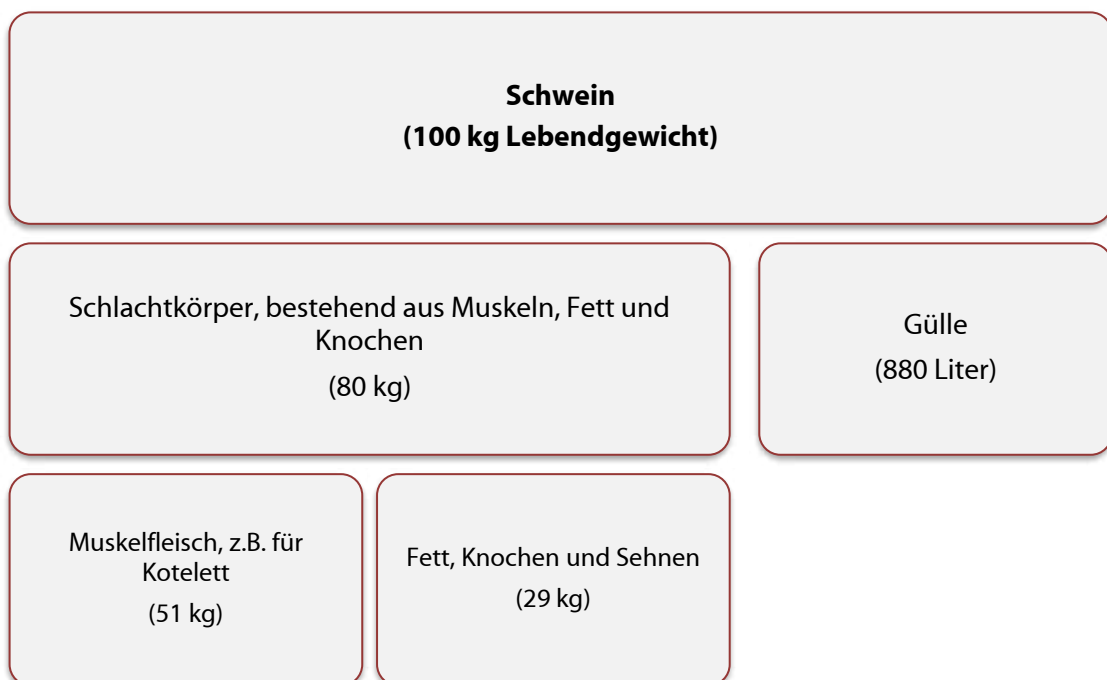
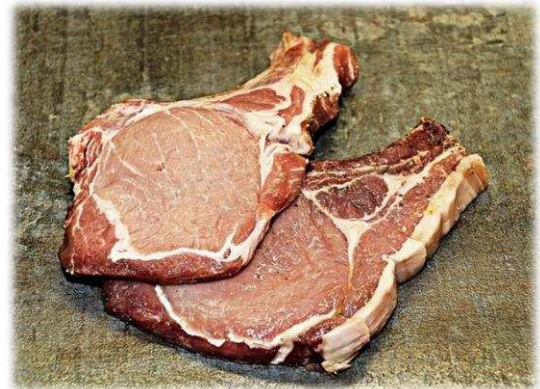


Abbildung 22: Fleischertrag und Gülleanfall eines Mastschweins mit 100 kg Lebendgewicht

## Exkurs: Der Stickstoff-Fußabdruck



Ein internationales Forscherteam aus den USA und Niederlanden entwickelt seit 2012 eine Methode, mit dem man herausfinden kann, wie viel reaktiven Stickstoff durch den persönlichen Lebensstil in die Umwelt freigesetzt wird<sup>[9,77]</sup>. Die Webseite des Projekts ist auf Englisch, der dazugehörige und webbasierte Rechner steht hingegen in den Sprachen Englisch, Deutsch und Niederländisch für die jeweiligen Länder zur Verfügung. Bei der Berechnung des persönlichen Stickstoff-Fußabdrucks werden alle Emissionen berücksichtigt, die mit dem konsumierten Produkt verknüpft sind, unabhängig davon, wo diese Emissionen stattfinden. Je nach verwendeter Datengrundlage können die Werte von anderen Berechnungen abweichen. Dennoch liefern sie einen hilfreichen Überblick darüber, wie sich das eigene Konsumverhalten auf die Freisetzung reaktiven Stickstoffs auswirkt<sup>[9]</sup>.

Die Webseite des Projekts zur Berechnung des persönlichen Stickstoff-Fußabdrucks kann unter [www.n-print.org](http://www.n-print.org) abgerufen werden. Anschließend muss man unter dem Reiter „Your N Footprint“ erneut auf „Your N Footprint“ klicken und dann den „Original Flash N-Calculator“ auswählen. Es öffnet sich ein neuer Tab, auf dem zunächst die Sprache, dann die Maßeinheiten und das Land ausgewählt werden können. Zunächst wird der durchschnittliche Stickstoff-Fußabdruck einer Person des ausgewählten Landes angezeigt, der sich durch Verschiebungen auf der Skala personalisieren lässt (Abbildung 23).

**Aufgabe 5.3:** Untersuchen Sie, inwiefern sich ein verändertes Konsumverhalten (z. B. Konsum von Schweinefleisch oder Nutzung des Pkws) auf den individuellen Stickstoff-Fußabdruck auswirkt.

Wie viel der Lebensmittel verbrauchen Sie durchschnittlich pro Woche?

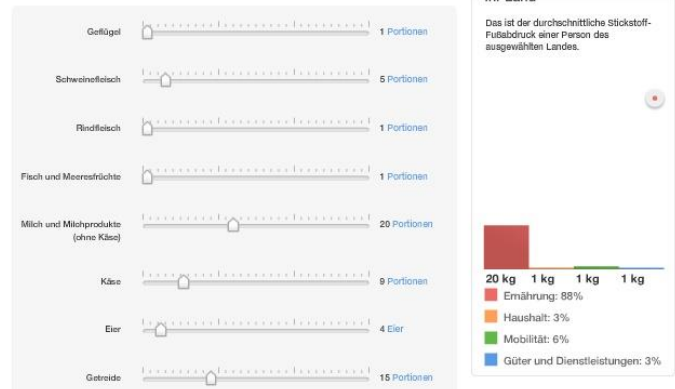


Abbildung 23: Ausschnitt des "N-Calculators" zur Berechnung des persönlichen Stickstoff-Fußabdrucks

### Verkehrsmittel zur Fortbewegung

Die durch Pkws verursachten Stickstoffemissionen werden in Zukunft vermutlich tendenziell abnehmen, da ein immer größerer Anteil an Fahrzeugen gemäß den Euro 6 Standards ausgestattet ist.

Anhand von [Tabelle 6](#) wird trotzdem deutlich, dass sich die Stickoxid-Emissionen durch die Nutzung umweltfreundlicherer Verkehrsmittel wie dem Fahrrad, öffentlichem Nahverkehr oder der Bahn noch weiter reduzieren lassen<sup>[78]</sup>. Ebenso würde eine Erhöhung der Auslastung, z. B. durch die Bildung von Fahrgemeinschaften, die durchschnittliche Emissionsmenge von Stickoxiden pro Person reduzieren<sup>[9,79]</sup>. Zusätzlich bietet die Auswahl eines Pkws mit einem niedrigen Spritverbrauch nicht nur finanzielle Vorteile, sondern sorgt auch dafür, dass weniger Schadstoffe durch Abgase freigesetzt werden<sup>[80]</sup>.



Tabelle 6: Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr, Bezugsjahr 2017

	Stickoxid-Emissionen in Gramm pro Personenkilometer (g/Pkm) <sup>[78]</sup>	Durchschnittliche Auslastung <sup>[78]</sup>
Pkw	0,34	1,5 Personen/Pkw
Linienbus	0,28	21 %
Straßen-, Stadt- und U-Bahn	0,06	19 %
Reisebus	0,17	60 %
Eisenbahn, Fernverkehr	0,04	56 %
Eisenbahn, Nahverkehr	0,18	27 %
Flugzeug	0,51	82 %

### Wohnen und Bauen

Mit der Ausweitung von Siedlungs- und Verkehrsgebieten nimmt die **Bodenversiegelung** stetig zu. Die Versiegelung von Böden, z. B. in Form von Beton, Asphalt oder Pflaster, wirkt sich negativ auf wesentliche Bodenfunktionen aus. Regenwasser kann nicht mehr oder nur schlecht versickern und so die Grundwasservorräte auffüllen. Außerdem wird die Fruchtbarkeit der Böden stark beeinträchtigt, wenn diese dauerhaft von Luft und Wasser abgeschlossen werden. Private Haushalte können in diesem Zusammenhang einen Beitrag leisten, indem sie auf privaten Grundstücken den Anteil versiegelter Flächen möglichst niedrig halten. Park- und Terrassenflächen können beispielsweise mit versickerungsfähigen Pflastersystemen ausgestattet werden ([Abbildung 24](#))<sup>[81]</sup>.

Der persönliche **Energieverbrauch** spielt ebenfalls eine Rolle. Maßnahmen, wie die Nutzung energieeffizienter Geräte und die Vermeidung überflüssigen Heizens und Lichts haben nicht nur eine positive Auswirkung bezüglich der Stickstoffproblematik, sondern z. B. auch hinsichtlich der Emissionen von Kohlenstoffdioxid<sup>[9,80]</sup>.



Abbildung 24: Rasengitter anstelle von undurchlässigem Asphalt

## 5.2 Reaktive Maßnahmen

Wenn die vorbeugenden Maßnahmen nicht mehr ausreichen, müssen Wasserversorger zu nachträglichen Maßnahmen greifen, um die Bereitstellung sauberen Trinkwassers unter Einhaltung aller Grenzwerte sicherzustellen. Dabei gibt es eine Vielzahl an Möglichkeiten, die hinsichtlich ihrer Effektivität und Nachhaltigkeit sehr unterschiedlich sind<sup>[62]</sup>. Insgesamt können vier Verfahren unterschieden werden:

- Wasserwirtschaftliche Verfahren
- Physikalisch-chemische Verfahren
- Biologische Verfahren und
- Katalytische Verfahren<sup>[82]</sup>.

All diese Verfahren fokussieren die Reduzierung oder Entfernung von Nitrat-Ionen im Wasser. Im Gegensatz zu Ammonium-Ionen wird Nitrat im Boden nicht oder nur schlecht adsorbiert und gelangt damit leichter ins Grundwasser (vgl. S. 10, Experiment 6)<sup>[24]</sup>. Gleichzeitig ist die nachträgliche Entfernung von Nitrat im Wasser schwieriger als die von Ammonium.

### 5.2.1 Wasserwirtschaftliche Verfahren

Bei wasserwirtschaftlichen Verfahren handelt es sich um Ausweichmaßnahmen. Dazu gehört die **Rohwasserverschneidung**, bei der nitratbelastetes Wasser mit unbelastetem Wasser vermischt und so die erforderlichen Grenzwerte eingehalten werden. Eine weitere Möglichkeit ist die **Standortverlagerung von Brunnen**. Hierbei werden Brunnen in belasteten Grundwassergebieten geschlossen und neue Brunnen in weniger belasteten Gebieten erschlossen. Zuletzt kann eine **Vertiefung von Brunnen** eine Maßnahme darstellen, da in tieferen Grundwasserschichten meistens eine geringere Nitratbelastung vorliegt<sup>[62]</sup>.

## Zum Nachdenken



**Aufgabe 5.4:** Es wird kritisiert, dass die Vertiefung von Brunnen lediglich einen gewissen „Zeitgewinn“ verschafft<sup>[62]</sup>. Überlegen Sie, warum diese Maßnahme keine langfristige Lösung sein könnte.



Abbildung 25: Wasserwerke des OOWV in Niedersachsen

## Exkurs: Ausweichmaßnahmen in Holdorf

Bereits im Jahr 1986 wurden beim Wasserwerk Holdorf aufgrund zu hoher Nitratgehalte sieben Förderbrunnen stillgelegt. Bei diesen Brunnen handelte es sich um relativ flach verfilterte Brunnen (weniger als 40 m unter der Geländeoberkante). Sie wurden durch tiefer verfilterte Brunnen (mehr als 70 m unter der Geländeoberkante) ersetzt. Im Jahr 2015 wurden erneut drei flache Förderbrunnen durch tiefere Förderbrunnen



ersetzt, da das flache Grundwasser Pflanzenschutzmittel-Belastungen aufwies. Dadurch sind in Holdorf mittlerweile nur noch vier der ehemals vierzehn flachen Brunnen in Betrieb, die durch zehn tiefe Brunnen ergänzt werden. Um die Grenzwerte einhalten zu können, wurde das Rohwasser aus den flachen Brunnen bei Bedarf mit dem Rohwasser der tieferen Brunnen vermischt. Weiter nördlich, beim Wasserwerk in Großenkneten wurden im Rahmen von Sanierungsarbeiten einige Förderbrunnen bereits vorsorglich vertieft<sup>[62]</sup>. Die Nitratwerte des Trinkwassers, das beim Verbraucher ankommt, liegen deutlich unter den vorgeschriebenen Grenzwerten, sodass dieses bedenkenlos trinkbar ist. Die aktuellen Trinkwasseranalysen der jeweiligen Wasserwerke sind abrufbar unter:

<https://www.oowv.de/wissen/trinkwasser/wasserwerke/>.

### 5.2.2 Physikalisch-chemische Verfahren

Bei physikalisch-chemischen Verfahren werden physikalische und chemische Stoffeigenschaften genutzt. Das kann z. B. das Reaktionsverhalten von Stoffen oder auch das Verhalten beim Anlegen eines elektrischen Feldes sein.

Zu den physikalisch-chemischen Verfahren gehören

- Ionenaustausch
- Umkehrosmose
- Elektrodialyse und
- Biosorption.

#### Ionenaustausch

Salze (z. B. Natriumchlorid oder Calciumcarbonat) lösen sich in Wasser und existieren dort in Form von Ionen. Auch im Trinkwasser ist stets eine geringe Menge an Salzen vorhanden, sei es im Leitungswasser oder im käuflichen Mineralwasser.

Eine genaue Zusammensetzung der Ionen im Leitungswasser lässt sich aus Trinkwasseranalysen herausfinden. Auf Mineralwasserflaschen sind die Ionengehalte üblicherweise auf dem Etikett der Flasche angegeben (Abbildung 26). Die Anwesenheit dieser Salze ist für den Menschen nicht schädlich, sondern im Gegenteil lebensnotwendig.

Einige Ionen hingegen, darunter die Nitrat-Ionen, sind in größeren Mengen unerwünscht. Um diesem Problem zu begegnen, kommen **Ionenaustauscherharze** zum Einsatz.

Bei dem Ionenaustausch handelt es sich um einen reversiblen (umkehrbaren) Prozess, da die Ionenaustauscherharze regeneriert und anschließend in einem neuen Durchlauf benutzt werden können. Ein **Nachteil** vom Ionenaustauschverfahren ist aber, dass es nicht möglich ist, selektiv ausschließlich Nitrat-Ionen aus einer Lösung zu entfernen. Es werden immer andere Ionen, z. B. Chlorid- oder Sulfat-Ionen mit abgetrennt. Darüber hinaus wird Nitrat zwar aus dem behandelten Wasserkörper entfernt, liegt aber immer noch in dem jeweiligen Abwasser vor. Das Problem kann daher mit diesem Verfahren nicht gelöst, sondern lediglich verlagert werden<sup>[82]</sup>.

### Experiment 16



Nitratentfernung durch Ionenaustausch

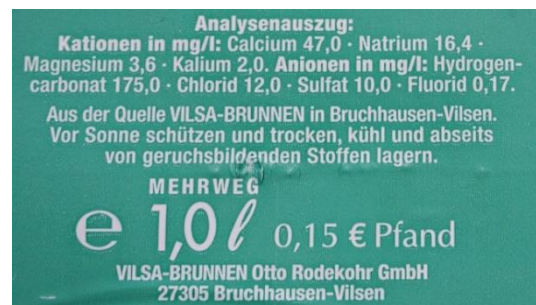


Abbildung 26: Angabe der Ionengehalte auf dem Etikett von VILSA Mineralwasser (medium)



### Umkehrosmose

Bei der Umkehrosmose wird das nitrathaltige Wasser mit einem hohen Druck durch eine **semi-permeable Membran** gepresst (Abbildung 27)<sup>[82]</sup>. Eine semipermeable Membran ist eine Art halbdurchlässige Wand, die für bestimmte Komponenten durchlässig ist, während andere zurückgehalten werden<sup>[83]</sup>. Einige Ionen, darunter die Nitrat-Ionen, können die Membran nicht passieren. Dadurch wird zu behandelnde Rohwasser in ein salzarmes Reinwasser und ein stark salzhaltiges Abwasser aufgetrennt. Damit das Reinwasser als Trinkwasser geeignet ist, muss es anschließend wieder mit einer geringen Menge Rohwasser vermischt werden<sup>[84]</sup>. Ähnlich wie beim Ionenaustausch besteht auch hier das Problem der Entsorgung des Abwassers, welches stark mit Nitrat und/oder anderen Stoffen belastet ist<sup>[82]</sup>.

### Elektrodialyse

Die Elektrodialyse funktioniert vom Prinzip her ähnlich wie die Umkehrosmose. Zur Trennung von salzarmen und salzreichen Wasser wird jedoch kein Druck angelegt, sondern ein elektrisches Feld<sup>[82]</sup>. In der Praxis ist diese Technologie zurzeit aber nicht gängig<sup>[84]</sup>.

### Biosorption

Die Methode „Biosorption“ ist relativ neu und umfasst Prozesse, bei denen sich unerwünschte Stoffe (meistens Schwermetalle, aber auch Nitrat) an Biomasse anlagern. Dies kann durch Adsorption, aber auch durch Ionenaustausch oder andere Reaktionen an der Oberfläche der Biomasse geschehen. Als Biomasse wird häufig biologi-

scher Abfall verwendet, wie Obst- und Gemüschalen und -kerne<sup>[85]</sup>. Im Rahmen aktueller Untersuchungen werden z. B. Samen des Meerrettichbaums oder Bananenschalen getrocknet, ggf. vorbehandelt und unter verschiedenen Bedingungen (pH-Wert, Temperatur, etc.) deren Fähigkeit untersucht, verschiedene Stoffe zu adsorbieren. Dabei wird zusätzlich mit speziellen Mikroskopen die Oberfläche der Materialien untersucht, um herauszufinden, welche Mechanismen letztendlich dafür verantwortlich sein können, dass beispielsweise der Nitratgehalt einer Wasserprobe durch Zugabe dieser Stoffe reduziert wird<sup>[86]</sup>. Biosorption, insbesondere in Bezug auf die Nitratproblematik, ist aktuell noch relativ unerforscht, sodass abzuwarten bleibt, inwiefern sich diese Methodik im größeren Stil anwenden lässt.

### 5.2.3 Biologische Verfahren

Wie bereits in Kapitel 2.2.3 beschrieben, ist die Denitrifikation durch Bakterien ein Bestandteil des natürlichen Stickstoffkreislaufs. Die Fähigkeit vieler Bakterien, meist unter sauerstofffreien Bedingungen, Nitrat über verschiedene Zwischenprodukte in elementarem Stickstoff zu überführen, kann auch in der Wasseraufbereitung genutzt werden (Abbildung 28). Mit elementarem Stickstoff als „Endprodukt“ bietet dieses Verfahren im Gegensatz zu den bisher genannten Verfahren eine echte Lösung der Nitratproblematik und nicht nur eine Problemverlagerung<sup>[82]</sup>. Damit die Bakterien im „Reaktionsraum“ Nitrat reduzieren und dafür Biomasse aufbauen können, brauchen sie verschiedene Nährstoffe (Substrate). Da

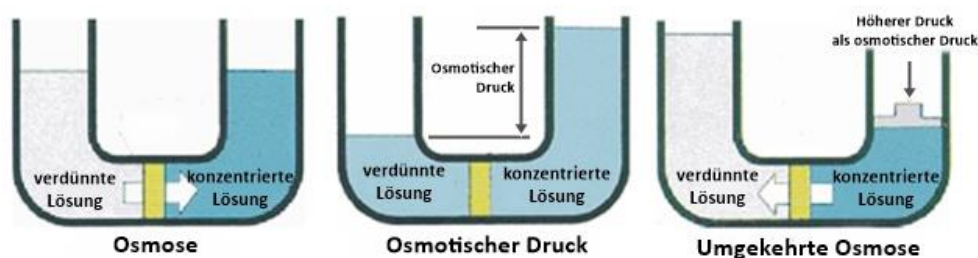


Abbildung 27: Prinzip der Umkehrosmose

das Ganze im Reaktionsraum unter sauerstofffreien Bedingungen abläuft, muss dem aufbereiteten Wasser wieder Sauerstoff zugeführt werden. Ebenso muss das Wasser zu Reinigungszwecken noch filtriert und desinfiziert werden, weil es nach der Aufbereitung einen erhöhten Gehalt an Mikroorganismen und Stoffwechselprodukten hat<sup>[87]</sup>.

Auch mit dieser Art von Verfahren gehen Nachteile einher:

- Abhängig von der Art des Verfahrens ein hoher Anfall an Biomasse, die aufwendig abgetrennt werden muss
- Große Empfindlichkeit der Mikroorganismen
- Gefahr der Freisetzung unerwünschter Nebenprodukte (z. B. Stickoxide) bei Störungen der Anlage
- Aufwendige Nachreinigung des Wassers<sup>[82]</sup>

Aufgrund dieser doch recht schwierigen Handhabung wird die biologische Nitratentfernung in der Praxis nur selten durchgeführt<sup>[88]</sup>.

#### 5.2.4 Katalytische Verfahren

Bei katalytischen Verfahren wird das Ziel verfolgt, Nitrat schrittweise zu elementarem Stickstoff zu reduzieren. Dadurch soll, ebenso wie bei den biologischen Verfahren, eine echte Problemlösung geschaffen werden. Für katalytische Verfahren werden in erster Linie ein Reduktionsmittel (z. B. Wasserstoff oder Ameisensäure) und ein Katalysator\* (z. B. ein Palladium-Kupfer-Katalysator) benötigt. Diese Verfahrensarten sind vielversprechend, befinden sich aber weiterhin in der Entwicklung und Optimierung, wobei neben anderen Reaktionsbedingungen verschiedene Reduktionsmittel und Katalysatoren getestet werden<sup>[82,89]</sup>.

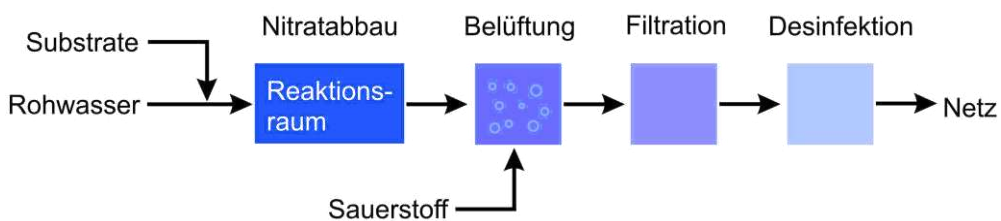
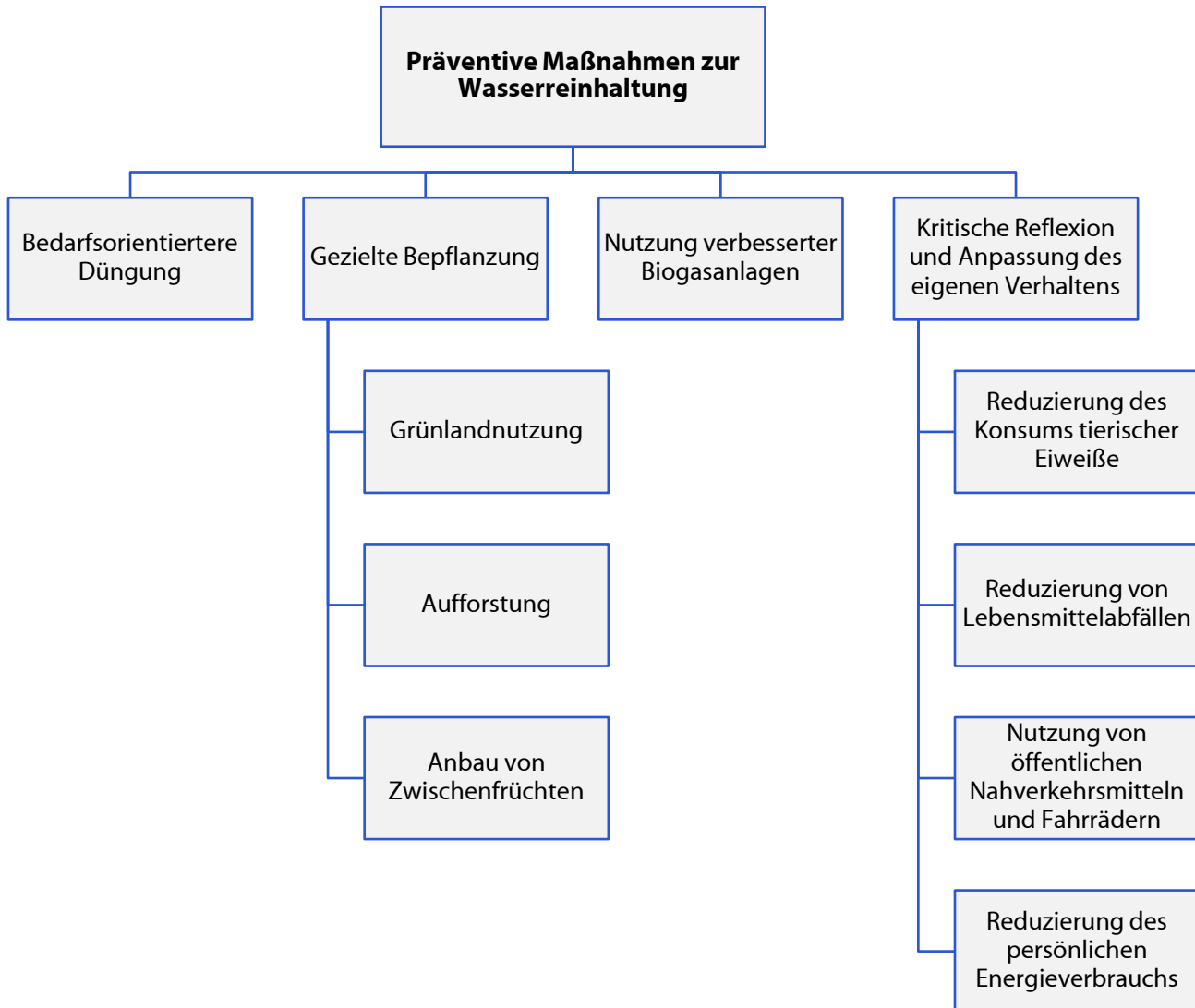
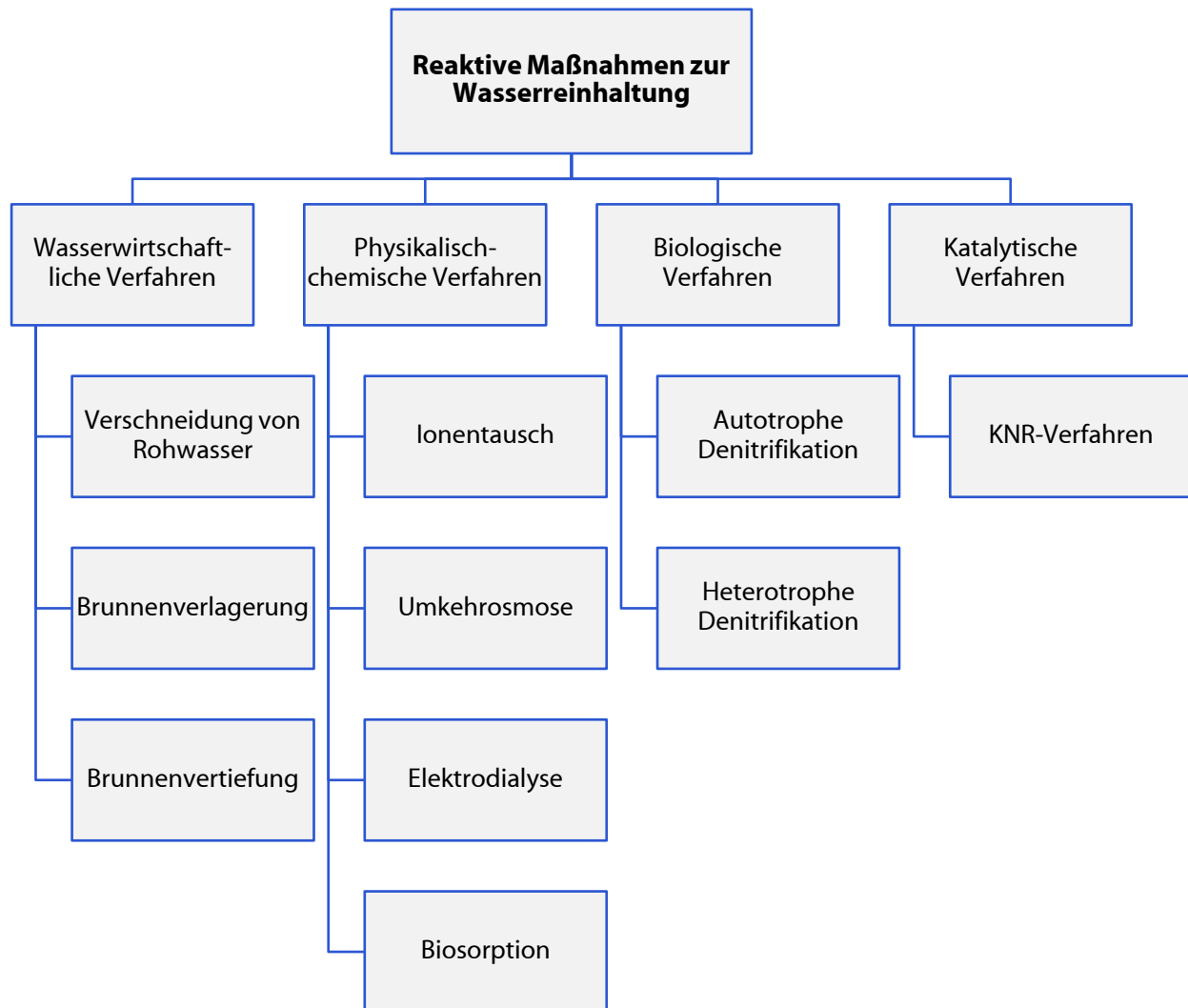


Abbildung 28: Grundprinzip der Wasseraufbereitung mit biologischer Denitrifikation

### 5.3 Alle Maßnahmen auf einem Blick





#### 5.4 Was bedeutet das für uns?

In einer Studie des Umweltbundesamtes wurde diese Frage im Hinblick auf potenzielle Kosten bearbeitet und anhand von mehreren Modellregionen national untersucht. Eine der Modellregionen war die des OOWV und umfasst Südoldenburg und Ostfriesland. Da bisher nur wasserwirtschaftliche Maßnahmen, wie das Vertiefen von Brunnen, getroffen wurden, sind bezüglich anderer Verfahren nur hypothetische Berechnungen möglich<sup>[62]</sup>.

Reichen die vorsorglichen Maßnahmen nicht mehr aus, kommen Ausweichmaßnahmen zum Einsatz. Diese sind mit Kosten verbunden (z. B. 55.000 € pro Jahr für den Brunnenneubau in der OOWV-Region) und können lediglich zu einer zeitlichen Verschiebung des Problems führen. Das nachträgliche Entfernen von Nitrat aus dem Wasser, z. B. durch Ionenaustausch, wird noch teurer.

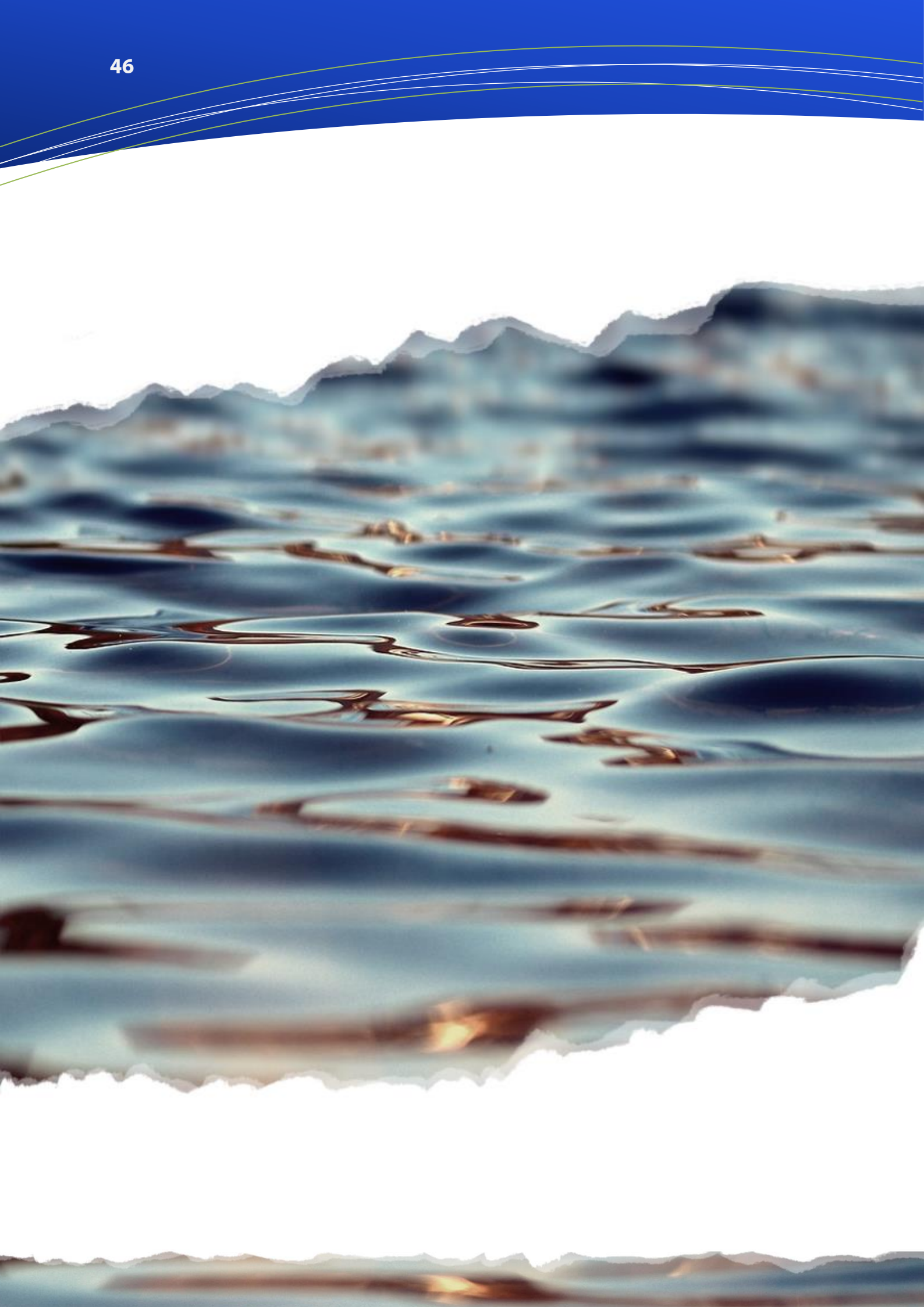
In Gebieten, in denen kein Ausweichen mehr möglich ist, können die Wasserpreise für einen vierköpfigen Haushalt um 32 – 34 % bzw. um bis zu 134 € im Jahr steigen. Es ist zu beachten, dass es sich bei diesen Zahlen um Schätzungen handelt, die auf festgelegte Randbedingungen gegründet sind. Die tatsächlichen Kosten können abweichen und sind zudem von den jeweiligen Regionen abhängig<sup>[62,90]</sup>.

Die Wasserversorger ergreifen bereits vorsorgliche Maßnahmen zur Sicherung der Wasserqualität. Trotzdem ist jeder einzelne, sei es in einem landwirtschaftlichen Betrieb oder im privaten Haushalt, gefordert, mit einem umweltbewussten Verhalten der Nitratbelastung entgegenzuwirken.

#### Nitrat – Skandal oder Panikmache?

Dass vor allem Niedersachsen es mit einer starken Nitratproblematik zu tun hat, ist ein unbestrittener Fakt. In diesem Zusammenhang Panikmache zu betreiben, ist jedoch nicht zielführend, sondern kann zu Unsicherheiten und einseitigen Schuldzuweisungen führen. Um dem entgegenzuwirken ist eine fachliche und möglichst objektive Auseinandersetzung mit dieser Thematik notwendig. Einen wichtigen Schritt hierfür haben Sie bereits getan, indem Sie sich an dem Nitrat-Monitoring beteiligen und zusätzlich mit den theoretischen und experimentellen Inhalten der Stickstoff-Box auseinandersetzen.





## 6 Lösungshinweise

**Anmerkung:** Untenstehende Lösungshinweise sind nicht immer als vollständige Lösungen, sondern als Anregungen anzusehen, welche z. T. um Hintergrundinformationen ergänzt wurden.

### Aufgabe 2.1:

- Im Durchschnitt die höchsten Nitrationskonzentrationen in den Festgesteinsgebieten
- In Lockergesteinsgebieten niedrigere Nitratwerte als in den Festgesteinsgebieten, jedoch erhebliche Schwankungen zwischen den Werten in den Lockergesteinsgebieten
- Nitratwerte im Gebiet Teutoburger Wald wesentlich niedriger als in den restlichen Gebieten und ohne Grenzwertüberschreitungen
- In den Festgesteinsgebieten prozentual mehr Grenzwertüberschreitungen als in den Lockergesteinsgebieten

### Aufgabe 2.2:

Eine Ursache für die vergleichsweise hohen Nitrationskonzentrationen in den Festgesteinsgebieten kann in dem geringen oder sogar fehlenden natürlichen Nitratabbau mithilfe von denitrifizierenden Bakterien liegen. In den Festgesteinsgebieten sind im Boden häufig keine oder nur geringfügig ausgeprägte Deckschichten vorhanden, in welchen Denitrifizierungsprozesse stattfinden könnten. Dadurch können die Nitrat-Ionen mit dem Sickerwasser in das Grundwasser gelangen. Eine weitere Ursache kann darin liegen, dass Grundwasserschutzmaßnahmen im Festgestein aufgrund komplexer geologischer Gegebenheiten oftmals nicht so gezielt wirken können wie in Lockergesteinsgebieten. In der Region Teutoburger Wald weist das Grundwasser nur eine niedrige Nitratbelastung auf. Dies wird maßgeblich dadurch bedingt, dass in dieser Region Waldgebiete überwiegen und dem Boden nicht in dem Maße Nährstoffe zugeführt werden, wie es in landwirtschaftlich genutzten Gebieten der Fall ist.

In den Lockergesteinsgebieten liegen vor allem im ersten Grundwasserstockwerk starke, oft lokale, Schwankungen der Nitrationskonzentration vor. Ursächlich hierfür sind geologische Gegebenheiten in den Deckschichten, die den Verlauf des Sickerwassers und damit auch die Denitrifikationsraten beeinflussen<sup>[11]</sup>.

### Aufgabe 2.3:

Während in den Messstellen des NLWKN im ersten Grundwasserstockwerk ein durchschnittlicher Nitratgehalt von 27 mg/L nachgewiesen wurde, lag dieser bei Messstellen

des zweiten oder tieferen Stockwerks nur bei 5 mg/L im Durchschnitt. Dieses Phänomen lässt sich mit dem Vorhandensein von Trennschichten im Boden begründen, die zwischen den Grundwasserstockwerken liegen. Diese sind für Wasser nur schwer durchlässig, wodurch sich die Fließzeit vom Sickerwasser ins Grundwasser verlängert. In den dazwischen liegenden Deckschichten des Bodens kann gleichzeitig ein Nitratabbau stattfinden<sup>[11]</sup>.

### Aufgabe 2.4:

Der Gesamtstickstoffgehalt (TN) lässt sich wie folgt berechnen:

$$\text{Ammonium} - N = \frac{\text{Ammoniumgehalt}}{1,29} = \frac{5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{1,29} = 3,9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\text{Nitrat} - N = \frac{\text{Nitratgehalt}}{4,43} = \frac{20 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}}{4,43} = 4,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$\begin{aligned} \text{TN} &= \text{Ammonium} - N + \text{Nitrat} - N \\ &= 3,9 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} + 4,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \\ &= 8,4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1} \end{aligned}$$

Das Bewirtschaftungsziel von 2,8 mg/L TN wird überschritten. Für eine genauere Bewertung der Gewässerqualität ist es sinnvoll, den jeweiligen Anteil von Ammonium- und Nitratstickstoff zu betrachten. Die Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) hat hierfür Güteklassen eingeteilt und als Ziel mindestens die Güteklasse II (mäßige Belastung) vorgegeben<sup>[91]</sup>.

Tabelle 7: Wertebereiche der LAWA-Güteklassen für gebundenen Stickstoff<sup>[91]</sup>

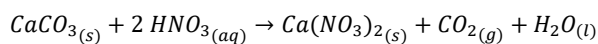
Parameter (in mg/L)	Güteklasse						
	I	I-II	II	II-III	III	III-IV	IV
Ammonium-Stickstoff	≤ 0,04	≤ 0,1	≤ 0,3	≤ 0,6	≤ 1,2	≤ 2,4	> 2,4
Nitrat-Stickstoff	≤ 1	≤ 1,5	≤ 2,5	≤ 5	≤ 10	≤ 20	> 20
Gesamtstickstoff	≤ 1	≤ 1,5	≤ 3	≤ 6	≤ 12	≤ 24	> 24

Bei der Einordnung der Messwerte in die Güteklassen der Tabelle wird deutlich, dass der Nitratgehalt in der Güteklasse II-III und damit nur knapp über dem Bewirtschaftungsziel liegt. Der Wert von Ammonium ist in der schlechtesten Klasse IV einzuordnen und hiermit deutlich problematischer, obwohl

für den Gesamtstickstoffgehalt ein Wert innerhalb der Güteklasse III erreicht wurde. Erhöhte Ammoniumgehalte sind häufig ein Indikator für eine Belastung durch Abwasser<sup>[92]</sup>.

### Aufgabe 3.1:

Kalk wird häufig auf Felder ausgebracht, um der Versauerung entgegenzuwirken. Ein zu saurer Boden kann sich negativ auf das Pflanzenwachstum und damit auf den Ertrag der Ernte auswirken<sup>[24]</sup>. Kalk (Calciumcarbonat  $\text{CaCO}_3$ ) reagiert mit Säuren, z. B. Salpetersäure oder Schwefelsäure, so dass durch die Umsetzung der Säure der pH-Wert erhöht wird<sup>[93]</sup>.



Wichtig ist dabei die richtige Kalkmenge, um den Boden nicht komplett zu entsäuern, sondern lediglich die unerwünschte Versauerung zu beseitigen<sup>[94]</sup>. Auch versauerte Wälder und Seen können so saniert werden, wobei die Kalkdosis hier ebenfalls wichtig ist. Zu hohe Kalkmengen können durch daraus folgender erhöhter Nährstoffmobilisierung zur Eutrophierung der Gewässer führen<sup>[22]</sup>.

### Aufgabe 3.2:

- Im Zeitraum 2000 – 2015 moderate Fortschritte bei der Verminderung von Stickstoffeinträgen
- Anteil der Flächen mit starker Überschreitung des Critical Load ( $> 10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ) im Zeitraum 2000 – 2015 gesunken, Anteil der Flächen mit geringerer/keiner Überschreitung des Critical Load gestiegen
- Schwerpunkt der starken Überschreitungen des Critical Load durch Stickstoffeinträge im Nordwesten Deutschlands

### Aufgabe 3.3:

**Hinweis:** In der Nachhaltigkeitsstrategie der Bundesregierung erfolgt die Berechnung des Critical Loads vom *Coordination Centre for Effects (CCE)* im Abstand mehrerer Jahre und basierend auf zwei Datenquellen. Neben der in [Tabelle 3](#) dargestellten und durch das Umweltbundesamt bereitgestellten Daten zu Critical Loads wird eine vom *European Monitoring and Evaluation Programme (EMEP)* erstellte Zeitreihe von Stickstoffeinträgen in Deutschland herangezogen. Als Grundlage der Nachhaltigkeitsstrategie zur Ermittlung der Belastungsgrenzen dienen u.a. Bodenübersichtskarten, die Karte mit mittleren jährlichen Sickerwasserraten aus dem Boden, die Karte der Landnutzungsverteilung und Klimadaten in Deutschland. Insgesamt werden so knapp ein Drittel der Fläche Deutschlands bewertet<sup>[28]</sup>. Dadurch ergeben insgesamt andere prozentuale Werte für die Anteile der

Flächen mit Überschreitung der Critical Load als in [Tabelle 3](#) gelistet. Während nach den Daten in [Tabelle 3](#) im Jahr 2030 der Anteil der Flächen oberhalb des Critical Loads noch 50 % betragen dürfte, spricht die Bundesregierung von einem Zielwert von 37 %<sup>[26,28]</sup>.

- Es konnten zwar bereits Fortschritte zur Reduzierung der Stickstoffeinträge erzielt werden, dennoch besteht zum Erreichen des Zielwertes ein deutlicher Handlungsbedarf.
- Die Empfindlichkeit der Ökosysteme gegenüber Stickstoffeinträgen kann in den kommenden Jahren erhöht werden (z. B. durch Verlust von Biodiversität), was zu einer Veränderung der Critical Load und damit zu einer Erhöhung der Flächenanteile mit Überschreitung des Critical Load führt<sup>[26]</sup>.

### Aufgabe 3.4:

Das Niedersächsische Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit nennt einige Möglichkeiten, wie Verbraucher die Aufnahme von Nitrat beeinflussen können<sup>[31]</sup>.

- Gemüse kaufen, welches nicht in Gewächshäusern, sondern im Freiland herangezogen wird, da dort generell weniger Nitrat enthalten ist
- Gemüse aus dem eigenen Anbau am Abend ernten, nicht am Morgen
- Nitratärmere Gemüsesorten kaufen (z.B. Broccoli, Möhren) und nitratreiche Lebensmittel wie Rucola vermeiden
- Generell auf eine abwechslungsreiche Gemüseauswahl achten
- Nitratreiche Speisen mit Lebensmitteln kombinieren, die viel Vitamin C enthalten, da Vitamin C die Bildung von Nitrosaminen hemmt
- Gemüse gründlich waschen und nitratreiche Bestandteile wie Stängel, Blattrippen und äußere Hüllblätter entfernen
- Gemüse blanchieren oder kochen und das Kochwasser entfernen, da Nitrat wasserlöslich ist

### Aufgabe 3.5:

- Wortwahl im Artikel: Der Stoff sei sehr gefährlich, greife rote Blutkörperchen an, störe die Jodaufnahme, verstopfe Gefäße
- Konkrete Handlungsanweisungen: der Leser dürfe nicht mehr als eine bestimmte Menge Nitrat aufnehmen; der Hinweis, dass eine gelegentliche, auch deutliche Überschreitung nicht schädlich ist, wird vernachlässigt



- Lückenhafte Informationen: s.o.; die Tatsache, dass das Krankheitsbild in Deutschland praktisch nicht mehr beobachtet wird, wird nicht erwähnt

Mögliche Gründe:

- Politische Interessen der jeweiligen Verfasser/Institutionen
- Unzureichende Aufklärung, Angst der Verfasser
- Intention, Interesse und Leser zu gewinnen: je dramatischer, desto „lesenswerter“
- Lieber Vorsicht als Nachsicht bei der nicht eindeutigen wissenschaftlichen Lage

#### Aufgabe 3.6:

Vermutung 1) Wird bereits gekochter Spinat zwei Tage offen bei Zimmertemperatur gelagert, bildet sich bis zu 400 mg Nitrit pro kg Spinat.

Vermutung 2) Wird bereits gekochter Spinat zwei Tage geschlossen gekühlt, bildet sich kein oder nur wenig Nitrit.

#### Aufgabe 3.7:

Für genaue Versuchsanleitungen siehe [Experiment 8](#)

Vermutung 1)

- Eine bestimmte Menge Spinat kochen, nach dem Abkühlen direkt Nitrat- und Nitritgehalt bestimmen
- Spinat in einem offenen Behälter 2 Tage bei Raumtemperatur stehenlassen, anschließend erneut Nitrat- und Nitritgehalt bestimmen
- Variationen: mit offenem und geschlossenem Behälter, mit verschiedenen Temperaturen, mit frischem oder Tiefkühl-Spinat

Vermutung 2)

- Eine bestimmte Menge Spinat kochen, nach dem Abkühlen direkt Nitrat- und Nitritgehalt bestimmen
- Spinat in einem geschlossenen Behälter 2 Tage im Kühlschrank stehenlassen, anschließend erneut Nitrat- und Nitritgehalt bestimmen
- Variationen: mit offenem oder geschlossenem Behälter

#### Aufgabe 3.8:

- Vor allem, wenn Spinat in einem luftdicht abgeschlossenen Behälter bei Raumtemperatur gelagert wird, bilden sich erhebliche Mengen an Nitrit.

- Schon nach zwei Tagen hat sich so mehr Nitrit gebildet, als mit den Teststäbchen messbar war – die Aussagen des Artikels sind dahingehend als richtig zu bewerten.

#### Aufgabe 4.1:

Die Verordnung zum Schutz des Grundwassers findet sich unter folgendem Link: [https://www.gesetze-im-internet.de/grwv\\_2010/index.html](https://www.gesetze-im-internet.de/grwv_2010/index.html) (letzter Abruf: 19.06.2019) und kann von dort z. B. als PDF-Datei heruntergeladen werden.

- Hauptbestandteil der Grundwasserverordnung: 15 Paragraphen und 8 Anlagen, die einigen der Paragraphen zugeordnet werden.
- Allgemeine Begriffsbestimmungen und Beschreibungen von Grundwasserkörpern
- Informationen, wie der chemische Grundwasserzustand zu ermitteln und einzustufen ist
- Trends des Grundwasserzustands
- Maßnahmen zur Begrenzung von Schadstoffeinträgen

#### Aufgabe 4.2:

- Zu finden im Grundwasserbericht, Seiten 2 und 10 von 16
- Schwellenwert: „Die Konzentration eines Schadstoffes, einer Schadstoffgruppe oder der Wert eines Verschmutzungsindikators im Grundwasser, die zum Schutz der menschlichen Gesundheit und der Umwelt festgelegt werden“<sup>[95]</sup>
- Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ): 50 mg/L
- Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ): 0,5 mg/L
- Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ): 0,5 mg/L

#### Aufgabe 4.3:

- Zu finden im Grundwasserbericht, Seite 4 von 16
- Ermittlung und Beurteilung des chemischen Grundwasserzustands erfolgt durch die jeweilig zuständige Behörde auf Grundlage von Grundwasseruntersuchungen
- Werden Schwellenwerte überschritten, werden diese quantifiziert und Auswirkungen/Risiken abgeschätzt. Außerdem wird die flächenhafte Ausdehnung der Belastung ermittelt

**Aufgabe 4.4:**

Nach der Stoffstrombilanzverordnung (Anlage 2, Tabelle 2) müssen Daten für folgende Nährstoffe erfasst werden<sup>[55]</sup>.

Tabelle 8: Erfassung von Nährstoffdaten für die betriebliche Stoffstrombilanz

Zufuhr	Abgabe
1. Düngemittel insgesamt	1. Pflanzliche Erzeugnisse
2. davon Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft	2. Tierische Erzeugnisse
3. davon sonstige organische Düngemittel	3. Düngemittel insgesamt
4. Bodenhilfsstoffe	4. davon Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft
5. Kultursubstrate	5. davon sonstige organische Düngemittel
6. Pflanzenhilfsmittel	6. Bodenhilfsstoffe
7. Futtermittel	7. Kultursubstrate
8. Saatgut einschließlich Pflanzgut und Vermehrungsmaterial	8. Pflanzenhilfsmittel
9. Landwirtschaftliche Nutztiere	9. Futtermittel
10. Stickstoffzufuhr durch Leguminosen	10. Saatgut einschließlich Pflanzgut und Vermehrungsmaterial
11. Sonstige Stoffe	11. Landwirtschaftliche Nutztiere
	12. Sonstige Stoffe

**Aufgabe 4.5:**

Hinweis: Bei der Bilanzierung (Tabelle 9) handelt es sich um eine starke Vereinfachung, da in der Aufgabenstellung nur wenige Daten gegeben waren. Dies zeigt, wie komplex die Erfassung der Zufuhr und Abgabe aller in Aufgabe 5.4 gelisteten Nährstoffe ist.

Die Nährstoffgehalte werden in der Praxis über vorgeschriebene Kennzeichnungen (z. B. bei Futter- und Düngemitteln), über wissenschaftlich anerkannte Methoden oder Datenbanken der zuständigen Landesbehörde ermittelt<sup>[56]</sup>. Bundesweit steigt zurzeit das Angebot an Programmen, welche den Landwirten die Erstellung der Stoffstrombilanz vereinfachen soll. Die Landwirtschaftskammer Niedersachsen (LWK) bietet beispielsweise mit dem „WEB-Module Düngung“ eine EDV-Lösung für das Nährstoffmanagement auf landwirtschaftlichen Betrieben<sup>[96]</sup>.

Tabelle 9: Stark vereinfachte Stoffstrombilanz eines hypothetischen Betriebs

Zufuhr	Stickstoffmenge in kg	Abgabe	Stickstoffmenge in kg
Düngemittel: Kalkammonsalpeter	4.320	Düngemittel: Rindermist	4.000
Futtermittel: Körnermais	1.500		
Futtermittel: Sojaschrot	6.000		
Summe	11.820	Summe	4.000

**Aufgabe 4.6:**

Probleme finden sich in vielfältiger Hinsicht, u.a.:

- Kritik an der Düngeverordnung, Problematik besteht u.a. darin, dass zu sehr pauschalisiert wurde, sodass eine Umsetzung in der Praxis verheerende Auswirkungen für einige Landwirte haben kann
- Unrealistische Vorgaben der Regierung durch mangelndes Fach-/Praxiswissen
- Unwissenheit von Personen, z. B. darüber, was Gülle eigentlich ist, wie es zusammengesetzt und wofür es genutzt wird
- Einseitige Schuldzuweisung an die Landwirte/Landwirtschaft („Bauern-Bashing“)
- Unzureichendes Messstellennetz, sodass die Nitratwerte nicht realistisch erfasst werden können (Hierzu sagt das niedersächsische Umweltministerium laut Kreiszeitung in Bezug darauf, dass rund 60 % der Grundwassermessstellen zu hohe Nitratwerte aufwiesen: „Die Statistik müsse differenzierter betrachtet werden. Die hohe Zahl basiere einzig auf der von der EU geforderten einheitlichen Bewertung der jeweiligen Messbereiche. Diese würden im Schnitt bis zu 400 Quadratkilometer umfassen. Wenn nur an einem Punkt innerhalb des Messbereiches erhöhte Werte festgestellt würden, müsse das komplette Wasserreservoir als belastet ausgewiesen werden.“<sup>[97]</sup>)
- Insgesamt starke emotionale Belastung dieser komplexen Thematik

**Aufgabe 5.1:**

- Nährstoffzufuhr (Düngung) der vergangenen Jahre
- Angebaute Pflanzenarten der vergangenen Jahre
- Abtransport von Ernte
- Anbau von Zwischenfrüchten
- Wetter (z. B. Auswaschung durch Regen)

**Aufgabe 5.2:**

Wenn für die Herstellung von 51 kg Muskelfleisch (Kotelett) 880 L Gülle anfallen, ergeben sich für 200 g Muskelfleisch etwa 3,45 L Gülle.

$$\text{Rechnung: } \frac{880 \text{ L}}{51 \text{ kg}} \cdot 0,2 \text{ kg} = 3,45 \text{ L}$$

**Aufgabe 5.4:**

Die Nitratbelastung kann im Laufe der Zeit auch in tiefere Schichten vordringen. Deswegen stellt eine Brunnenvertiefung nur solange eine Lösung dar, wie das Grundwasser in dem jeweiligen tiefen Grundwasserstockwerk unbelastet bzw. wenig belastet ist. Dasselbe Problem kann bei der Verlagerung von Brunnen auftreten, da auch an den verlagerten Standorten langfristig Belastungen auftreten können<sup>[90]</sup>.

## 7 Glossar

### Aerobe Bedingungen

Aerobe Bedingungen liegen in Anwesenheit von Sauerstoff vor. Steht kein Sauerstoff zur Verfügung, liegen anaerobe Bedingungen vor.

### Biologische Qualitätskomponenten

Um den ökologischen Zustand bzw. das ökologische Potenzial eines Gewässers zu bewerten, werden u. a. biologische Qualitätskomponenten untersucht. Zu diesen gehören Details zur Flora und Fauna des jeweiligen Gewässers (z. B. Phytoplankton und Fische)<sup>[98]</sup>.

### Düngemittel

Alle Stoffe, ausgenommen Kohlenstoffdioxid und Wasser, die dazu bestimmt sind,

- Nutzpflanzen Nährstoffe zuzuführen, ihr Wachstum zu fördern, ihren Ertrag zu erhöhen und ihre Qualität zu verbessern, oder
- die Bodenqualität zu erhalten oder zu verbessern,

werden nach dem Düngegesetz als Düngemittel bezeichnet<sup>[51]</sup>.

### Grenzwert

Für Bereiche wie Luft- und Wasserreinhaltung gelten zum Schutz von Menschen und Umwelt strenge Regeln. Durch Gesetze werden Grenzwerte festgelegt, die sowohl gesundheitliche als auch wirtschaftliche Aspekte und die technische Umsetzbarkeit dieser Werte berücksichtigen. Daher kann es sein, dass sich EU-Grenzwerte von strenger angelegten Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) unterscheiden<sup>[99]</sup>. Das Nichteinhalten von Grenzwerten wird sanktioniert<sup>[100]</sup>.

### Großvieheinheit (GVE)

Die Großvieheinheit (GVE) ist ein Umrechnungsschlüssel für verschiedene Nutztierarten und basiert auf dem Lebendgewicht (LG) der einzelnen Tierarten. Eine Großvieheinheit entspricht dabei etwa 500 kg Lebendgewicht (entspricht etwa einer ausgewachsenen Milchkuh). Die Werte beziehen sich auf den durchschnittlichen Viehbestand eines Betriebes innerhalb eines Jahres<sup>[101]</sup>.

### Grünland

Grünland umfasst Pflanzengemeinschaften, die aus Kräutern und Gräsern bestehen. Sie können auf natürliche Weise oder durch menschliche Nutzung entstanden sein. Zu Grünland gehören beispielsweise Wiesen, Weiden, aber auch Naturschutzflächen wie Feuchtgrünland, Magerrasen und Streuobstwiesen. Neben *Grünland* existiert auch der Begriff *Dauergrünland*, ein Begriff aus der Landwirtschaft. Damit ist gemeint, dass Flächen mindestens 5 Jahre nicht als Acker genutzt werden, sondern dort Gräser oder andere Grünfütterpflanzen wachsen<sup>[64]</sup>.

### Hydromorphologische Qualitätskomponenten

Zu den hydromorphologischen Qualitätskomponenten gehören bei Seen der Wasserhaushalt (Wasserstandsdynamik, Wassererneuerungszeit und Verbindung zum Grundwasserkörper) und morphologische Bedingungen (Tiefenvariation, Details zum Gewässerboden und der Uferzone). Bei Fließgewässern werden zudem die Durchgängigkeit und Abflüsse des Flusses betrachtet. All diese Parameter werden für die Bewertung des ökologischen Zustandes eines Gewässers herangezogen<sup>[98]</sup>.

### Katalysator

Bei Katalysatoren handelt es sich um Stoffe, die die Reaktionsgeschwindigkeit einer bestimmten Reaktion erhöhen können, indem sie die Aktivierungsenergie herabsetzen. Das heißt, es muss weniger Energie aufgewendet werden, um die Reaktion zu starten. Katalysatoren selbst werden bei der Reaktion nicht verbraucht und gehen unverändert aus der Reaktion hervor. Katalysen sind Reaktionen, die unter der Nutzung von Katalysatoren stattfinden<sup>[102]</sup>.

### Mindesthaltbarkeitsdatum

Das Mindesthaltbarkeitsdatum (MHD) gibt den Zeitpunkt an, bis zu dem ein Lebensmittelprodukt unter angemessener Aufbewahrung seine spezifischen Eigenschaften behält. Dazu gehören beispielsweise der Geschmack, die Konsistenz und die Farbe. Wenn diese Haltbarkeit nur unter bestimmten Aufbewahrungsbedingungen (z. B. Temperatur) gewährleistet werden kann, ist dies auf dem Produkt durch einen entsprechenden Hinweis vermerkt. Nach Ablauf des MHD ist das Produkt nicht automatisch verdorben, sondern

kann bei richtiger Lagerung weiterhin zum Verzehr geeignet sein. Eine individuelle Kontrolle und sinnvolle Einschätzung sind hier wichtig<sup>[75]</sup>.

### Mineralisation (Biomineralisation)

Mineralisation (oder auch Mineralisierung) meint im Allgemeinen das Vorkommen von Mineralen, z. B. in Lagerstätten. Im Zusammenhang des Stickstoffkreislaufes ist konkret die Biomineralisation (oder auch Biomineralisierung) bedeutsam. Dazu gehört der Abbau von organischen Stickstoffverbindungen zu Ammonium-Ionen. Im zweiten Schritt der Mineralisation wird Ammonium in Nitrit und schließlich Nitrat überführt. Dieser Abbau wird vorwiegend durch Mikroorganismen, z. B. nitrifizierende Bakterien, bewirkt<sup>[65,103]</sup>.

### pH-Wert

Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Wasserstoffionen-Konzentration.

$$pH = -\log c(H^+)$$

Der pH-Wert kann zwischen 0 und 14 liegen, wobei ein niedriger pH-Wert eine saure Lösung und ein hoher pH-Wert eine alkalische Lösung anzeigt. Reines Wasser ist mit dem pH-Wert 7 neutral<sup>[104]</sup>.

### Physikalisch-chemische Qualitätskomponenten

Neben biologischen und hydromorphologischen Aspekten werden zur Beurteilung des ökologischen Zustands eines Gewässers auch physikalisch-chemische Komponenten untersucht. Hierzu gehören Sichttiefe, Temperaturverhältnisse, Sauerstoff- und Salzgehalt und Nährstoffverhältnisse im Gewässer. Darüber hinaus muss festgestellt werden, ob spezifische Schadstoffe im Wasserkörper vorhanden sind<sup>[98]</sup>.

### Prokaryoten

Prokaryoten sind Mikroorganismen mit einer einfachen Zellstruktur ohne Zellkern. Bakterien gehören beispielsweise zu den Prokaryoten<sup>[105]</sup>.

### Protonierung

Als Protonierung wird die Anlagerung von Wasserstoff-Ionen  $H^+$  an eine chemische Verbindung bezeichnet<sup>[106]</sup>. Wird beispielsweise die neutrale Verbindung Ammoniak  $NH_3$  protoniert, bildet sich als Produkt das positiv geladene Ammonium-Ion  $NH_4^+$ .

### Verbrauchsdatum

Lebensmittel, die mikrobiologisch leicht verderblich sind, tragen ein Verbrauchsdatum. Dieses ist mit der Aufschrift „verbrauchen bis...“ gekennzeichnet und gilt beispielsweise für frisches Hackfleisch oder Fisch. Es wird empfohlen, Lebensmittel nach Ablauf des Verbrauchsdatums nicht mehr zu verwenden, da dies mit gesundheitlichen Risiken verbunden sein kann<sup>[75]</sup>.

### Wirtschaftsdünger

Zu den Wirtschaftsdüngern gehören Düngemittel, die als

- tierische Ausscheidungen bei der Tierhaltung und/oder
- pflanzliche Stoffe in der pflanzlichen Erzeugung oder in der Landwirtschaft

anfallen oder erzeugt werden<sup>[51]</sup>.

### Zielwert

Zielwerte dienen der Überwachung und finden z. B. bei der Beurteilung von Oberflächengewässern Anwendung. Sie sollten nach der Durchführung einer gesetzlich angeordneten Maßnahme erreicht werden können<sup>[100]</sup>.

### Zyanose

Wenn die Sauerstoffsättigung im Blut abnimmt, kommt es zu einer bläulichen Verfärbung von Haut und Schleimhäuten. Diese Verfärbung wird auch Zyanose genannt<sup>[34]</sup>.

## 8 Bildnachweise

**Abbildung 5:** Sven [CC BY-SA 4.0], abrufbar unter: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Haber-Bosch.svg> (letzter Abruf: 15.05.19)

**Abbildung 8:** Sail over [CC BY 3.0], abrufbar unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hase\\_\(Fluss\)\\_unweit\\_des\\_Stichkanals\\_in\\_Hollage.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hase_(Fluss)_unweit_des_Stichkanals_in_Hollage.jpg) (letzter Abruf: 22.05.19)

**Abbildung 9:** Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), abrufbar unter: [http://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/140353/Grundwasserbericht\\_2018\\_Kurzbericht\\_Daten\\_2017\\_Grundwasserstand\\_sowie\\_Gueteparameter\\_Nitrat\\_und\\_Phosphat.pdf](http://www.nlwkn.niedersachsen.de/download/140353/Grundwasserbericht_2018_Kurzbericht_Daten_2017_Grundwasserstand_sowie_Gueteparameter_Nitrat_und_Phosphat.pdf) (letzter Abruf: 22.05.19)

**Abbildung 10:** verändert nach Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), abrufbar unter: <https://www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/31863.html> (letzter Abruf: 11.02.2020)

**Abbildung 11:** Umweltbundesamt, abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/reaktiver\\_stickstoff\\_in\\_deutschland\\_0.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/reaktiver_stickstoff_in_deutschland_0.pdf) (letzter Abruf: 28.05.2019)

**Abbildung 12:** Umweltbundesamt, nach Schaap et al., abrufbar unter: [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-10-17\\_texte\\_79-2018\\_pineti3.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2018-10-17_texte_79-2018_pineti3.pdf) (letzter Abruf: 29.05.2019)

**Abbildung 14:** Stiftung Warentest, abrufbar unter: <https://www.test.de/Rueckstaende-in-Salat-Kein-Salat-ohne-Nitrat-1653052-2653052/> (letzter Abruf: 06.06.2019)

**Abbildung 15:** Niedersächsisches Landesamt für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit, nach Lebensmittel- und Veterinärinstitut Oldenburg, abrufbar unter: [https://www.laves.niedersachsen.de/lebensmittel/rueckstaende\\_verunreinigungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html](https://www.laves.niedersachsen.de/lebensmittel/rueckstaende_verunreinigungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html) (letzter Abruf: 06.06.2019)

**Abbildung 16:** Latin Everyday [CC BY-SA 2.0], abrufbar unter: [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Curing\\_pork\\_bellies,\\_2017.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Curing_pork_bellies,_2017.jpg) (letzter Abruf: 03.07.2019)

**Abbildung 17:** ZEIT ONLINE, abrufbar unter: <https://www.zeit.de/wissen/2018-06/eugh-verurteilt-deutschland-wegen-hoher-nitrat-belastung> (letzter Abruf: 17.06.2019)

**Abbildung 18:** Neue Osnabrücker Zeitung (NOZ), abrufbar unter: <https://www.noz.de/deutschland-welt/niedersachsen/artikel/1785771/niedersachsen-braucht-milliarden-fuer-natur-und-wasserschutz> (letzter Abruf: 04.07.2019)

**Abbildung 19:** Agricon GmbH, abrufbar unter: <https://www.agricon.de/n-duengung/> (letzter Abruf: 08.07.2019)

**Abbildung 20:** Agricon GmbH, abrufbar unter: <https://www.agricon.de/betrieb/> (letzter Abruf: 08.07.2019)

**Abbildung 23:** N-Print, abrufbar unter: [http://www.n-print.org/sites/n-print.org/files/footprint\\_java/index.html#/home](http://www.n-print.org/sites/n-print.org/files/footprint_java/index.html#/home) (letzter Abruf 09.09.2019)

**Abbildung 25:** OOWV, abrufbar unter: <https://www.oowv.de/wissen/trinkwasser/wasserwerke/> (letzter Abruf: 18.07.2019)

**Abbildung 27:** verändert nach IKZ-Haustechnik, abrufbar unter: <https://www.ikz.de/ikz-archiv/2003/16/0316034.php> (letzter Abruf: 23.07.2019)

**Abbildung 28:** Eigene Darstellung nach K. W. Roennefahrt (1992) Nitratentfernung aus dem Trinkwasser, S. 2.

Alle anderen Abbildungen und Fotos sind selbst erstellt oder unter freier Lizenz von [www.pixabay.com](http://www.pixabay.com) entnommen.

## 9 Literaturnachweise

- [1] A. F. Holleman, E. Wiberg, N. Wiberg, *Lehrbuch der Anorganischen Chemie*, 102. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin, **2007**.
- [2] J. Wingender, "Stickstoff-Kreislauf", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-19-04114>, **2008**.
- [3] E. Riedel, *Anorganische Chemie*, 6. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin, **2004**.
- [4] J. Reece, L. Urry, M. Cain, S. Wasserman, P. Minorsky, R. Jackson, *Campbell Biologie*, 10. Aufl., Pearson, Hallbergmoos, **2016**.
- [5] R. L. Smith, T. M. Smith, *Ökologie*, 6. Aufl., Pearson Studium, München, **2009**.
- [6] W. Reineke, M. Schlömann, *Umweltmikrobiologie*, 2. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, **2015**.
- [7] W. K. Purves, *Biologie*, 9. Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, **2011**.
- [8] RÖMPP-Autor, "Haber-Bosch-Verfahren", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-08-00037>, **2002**.
- [9] *Reaktiver Stickstoff in Deutschland. Ursachen, Wirkung, Maßnahmen*, **2014**.
- [10] J. Wingender, F. H. Frimmel, "Denitrifikation", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-04-00526>, **2008**.
- [11] C. Federolf, G. Kühling, A. Kayser, *Regionalbericht für das Hase-Einzugsgebiet*, **2012**.
- [12] Landesamt für Statistik Niedersachsen, *Bodenflächen in Niedersachsen nach Art der tatsächlichen Nutzung 2016*, **2018**.
- [13] A. Kayser, *Grundwasserbericht Niedersachsen - Kurzbericht 2018 - Grundwasserstand sowie Güteparameter Nitrat und Phosphat*, **2018**.
- [14] F.-D. Kopinke, K. Mackenzie, R. Köhler, A. Georgi, U. Roland, H. Weiß, *Chemie Ingenieur Technik* **2003**, 75, 329.
- [15] *Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung*, Dessau-Roßlau, **2017**.
- [16] *Nährstoffbericht für Niedersachsen 2017/2018*, **2019**.
- [17] *Verordnung über Anforderungen an das Einleiten von Abwasser in Gewässer (Abwasserverordnung). AbwV*, **1997**.
- [18] *Untersuchung des mineralischen Stickstoffs im Boden. Empfehlungen zur Nutzung der Herbst-Nmin-Methode für die Erfolgskontrolle und zur Prognose der Sickerwassergüte*, **2010**.
- [19] J. N. GALLOWAY, J. d. ABER, J. W.N. ERISMAN, S. P. SEITZINGER, R. W. HOWARTH, E. B. COWLING, B. J. COSBY, *BioScience* **2003**, 53, 341.
- [20] E. Graf, *Biologie in der Schule* **1996**, 45, 82.
- [21] R. Bobbink, K. Hicks, J. Galloway, T. Spranger, R. Alkemade, M. Ashmore, M. Bustamante, S. Cinderby, E. Davidson, F. Dentener et al., *Ecological applications: a publication of the Ecological Society of America* **2010**, 20, 30.
- [22] S. Zerbe, G. Wiegleb, *Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa*, Springer, Berlin, Heidelberg, **2009**.
- [23] J. Kues, E. Matzner, D. Murach, *Saurer Regen und Waldsterben. Unterrichtsmaterialien*, Die Werkstatt, Göttingen, **1984**.
- [24] T. DeVries, I. Parchmann, *Biologie in der Schule* **1999**, 48, 216.
- [25] *Hintergrundpapier zu einer multimedialen Stickstoffminderungsstrategie*, **2009**.
- [26] M. Schaap, C. Hendriks, R. Kranenburg, J. Kuenen, A. Segers, A. Schlutow, H.-D. Nagel, A. Ritter, S. Banzhaf, *PINETI-3: Modellierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystem-spezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland*, **2018**.
- [27] UNECE, "Protocol concerning the Control of Emissions of Nitrogen Oxides - Air Pollution - Environmental Policy", zu finden unter [http://www.unece.org/env/lrtap/nitr\\_h1.html](http://www.unece.org/env/lrtap/nitr_h1.html), **1988**.
- [28] Die Bundesregierung, *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuaufgabe 2016*, **2017**.
- [29] L. Banspach, "Nitrat-Gehalt in Gemüse", zu finden unter [https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc\\_25\\_frischgemuese/et\\_nitrat\\_frischgemuese.htm](https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/warengruppen/wc_25_frischgemuese/et_nitrat_frischgemuese.htm), **2012**.
- [30] M. Ledig, G. Wittke, *Naturwissenschaften im Unterricht. Chemie* **1994**, 5 (42), 7.
- [31] "Nitrat in Lebensmitteln", zu finden unter [https://www.laves.niedersachsen.de/lebensmittel/rueckstaende\\_verunreinigungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html](https://www.laves.niedersachsen.de/lebensmittel/rueckstaende_verunreinigungen/nitrat-in-lebensmitteln-147641.html).
- [32] D. S. Powlson, T. M. Addiscott, N. Benjamin, K. G. Cassman, T. M. de Kok, H. van Grinsven, J.-L. L'Hirondel, A. A. Avery, C. van Kessel, *Journal of environmental quality* **2008**, 37, 291.
- [33] J. Wingender, "Nitrat", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-14-01295>, **2009**.

- [34] P. C. Heinrich, M. Müller, L. Graeve, *Biochemie und Pathobiochemie. Löffler/Petrides*, 9. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, **2014**.
- [35] U. Schindler, "Gefahren der Ernährung. Darf man Spinat wieder aufwärmen?", zu finden unter <https://www.spektrum.de/frage/darf-man-spinat-wieder-aufwaermen/1550934>, **2018**.
- [36] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), *Fragen und Antworten zu Nitrat und Nitrit in Lebensmitteln*, **2013**.
- [37] RÖMPP-Redaktion, M. Hofer, "Nitrosamine", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-14-01458>, **2007**.
- [38] a) "Wie ist der Einsatz von Nitritpökelsalz zu bewerten?", zu finden unter <https://www.ugb.de/exklusiv/fragen-service/wie-ist-einsatz-von-nitritpoekelsalz-zu-bewerten/?->, **2011**; b) World Cancer Research Fund, *Food, Nutrition, Physical Activity, and the Prevention of Cancer: a Global Perspective*, Washington, DC, **2007**.
- [39] *Europäischer Gerichtshof entscheidet Nitrat-Klage im Verfahren gegen Deutschland. Fact Sheet*, **2018**.
- [40] J. Döschner, "Klage wegen Nitrat-Belastung in Deutschland. Ignorieren, hinhalten, versagen", zu finden unter <https://www.tagesschau.de/inland/klage-gegen-deutschland-wegen-nitrat-verseuchung-101.html>, **2016**.
- [41] "Zum Urteil des Europäischen Gerichtshofs zur Nitratrichtlinie erklärt das Bundesumweltministerium", zu finden unter <https://www.bmu.de/meldung/zum-urteil-des-europaeischen-gerichtshofs-zur-nitratrichtlinie-erklart-das-bundesumweltministerium/>, **2018**.
- [42] A. Wulfers, *Frankfurter Allgemeine Zeitung* **2019**.
- [43] *Zweithöchste Nitratbelastung des Grundwassers in der EU: Deutsche Umwelthilfe klagt für "Sauberes Wasser" gegen die Bundesrepublik Deutschland*, Berlin, **2018**.
- [44] R. Klinger, *Nitratklagebegründung in der Verwaltungsstreitsache Deutsche Umwelthilfe e.V. gegen Bundesrepublik Deutschland*, Berlin, **2018**.
- [45] "Wasserrecht", zu finden unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wasser/wasserrecht#textpart-1>, **2018**.
- [46] *Die Nitrat-Richtlinie der EU*, **2010**.
- [47] Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, *Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik*. Rechtsakte, **2000**, zu finden unter [https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC\\_1&format=PDF](https://eur-lex.europa.eu/resource.html?uri=cellar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF).
- [48] a) Rat der Europäischen Union, *Richtlinie 91/676/EWG des Rates vom 12. Dezember 1991 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen*. Rechtsakte, **1991**, zu finden unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31991L0676:DE:HTML>; b) Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, *Richtlinie 2008/56/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 2008 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Meeresumwelt (Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie)*. Rechtsakte, **2008**, zu finden unter <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32008L0056:DE:HTML>.
- [49] *Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung). TrinkwV*, **2001**.
- [50] a) Europäisches Parlament und Rat der Europäischen Union, *Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa*. Rechtsakte, **2008**, zu finden unter <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32008L0050&qid=1419250736800&from=DE>; b) "Luftreinhaltung in der EU", zu finden unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/regelungen-strategien/luftreinhaltung-in-der-eu#textpart-1>, **2014**; c) *Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz). BImSchG*, **1974**.
- [51] *Düngegesetz. DüngG*, **2009**.
- [52] *Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung). DüV*, **2017**.
- [53] *Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung). DüMV*, **2012**.
- [54] K. Krenn, "Düngeverordnung vs. Düngegesetz: So hängt das zusammen", zu finden unter



- <https://www.agrarheute.com/management/recht/duengeverordnung-vs-duengegesetz-so-haengt-zusammen-519750>, **2017**.
- [55] *Verordnung über den Umgang mit Nährstoffen im Betrieb und betriebliche Stoffstrombilanzen (Stoffstrombilanzverordnung)*. *StoffBilV*, **2018**.
- [56] "Stoffstrombilanzverordnung - wer ist aufzeichnungspflichtig und was ist zu dokumentieren", zu finden unter <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/duengebehoerde/nav/2248/article/32673.html>, **2019**.
- [57] "Düngung", zu finden unter [https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/\\_Texte/Duengung.html](https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Duengung.html), **2019**.
- [58] S. Klages, *Die neue Düngeverordnung*, 2. Aufl., **2018**.
- [59] C. Plaß, *Reform der Düngeverordnung: Skeptische Reaktionen*, **2019**.
- [60] a) NDR, *Dünge-Kompromiss sorgt in Niedersachsen für Unruhe*, **2019**; b) NDR, *Gülle in Fülle - Das sind die Fakten*, **2018**; c) S. Awater-Esper, *So sieht die Einigung zur Düngeverordnung aus*, **2019**.
- [61] "Grundwasserschutz - Kooperation mit der Landwirtschaft", zu finden unter <https://www.oowv.de/service/fuer-unternehmen/landwirte/>.
- [62] M. Oelmann, C. Czichy, U. Scheele, S. Saun, O. Dördelmann, E. Harms, M. Penning, M. Kaupe, A. Bergmann, C. Steenpaß, *Quantifizierung der landwirtschaftlich verursachten Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung*, Dessau-Roßlau, **2017**.
- [63] A. Frangenberg, B. Kullmann, H. Trott, *Pflanzenernährung: Ernährung - Wachstum - Ernte*, **2013**.
- [64] *Grünland-Report. Alles im Grünen Bereich?*, **2014**.
- [65] U. Rohmann, H. Sontheimer, *Nitrat im Grundwasser. Ursachen, Bedeutung, Lösungswege*, DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut der Universität, Karlsruhe, **1985**.
- [66] "Biogasanlagen", zu finden unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/industriebereichen/biogasanlagen#textpart-1>, **2019**.
- [67] W. Kempkens, *Frankfurter Allgemeine Zeitung (F.A.Z.)* **2017**.
- [68] "Green fertilizer upcycling from manure: Technological, economic and environmental sustainability demonstration. Turning manure into gold", zu finden unter <https://cordis.europa.eu/project/rcn/110857/brief/en>, **2016**.
- [69] a) Ductor Corporation, "This Is How Ductor's Innovation Works", zu finden unter <https://ductor.com/our-innovation/>; b) Internationales Wirtschaftsforum Regenerative Energien (IWR), "Neue Biogastechnik entfernt Stickstoff aus organischen Abfällen", zu finden unter <https://www.bioenergiebranche.de/news/artikel-32787-neue-biogastechnik-entfernt-stickstoff-aus-organischen-abfluen>, **2016**.
- [70] Statista, "Bestandsentwicklung an Nutztieren in Deutschland im Verlauf der Jahre 1900 bis 2017", zu finden unter <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/659045/umfrage/nutztierbestand-in-deutschland/>, **2018**.
- [71] H. Warning-Schroeder, *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* **1994**, 47, 81.
- [72] *Stickstoff - zuviel des Guten? Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren*, **2015**.
- [73] *UmweltWissen - Schadstoffe. Ammoniak und Ammonium*, **2018**.
- [74] *Ermittlung der Mengen weggeworfener Lebensmittel und Hauptursachen für die Entstehung von Lebensmittelabfällen in Deutschland. Zusammenfassung einer Studie der Universität Stuttgart (März 2012)*, **2012**.
- [75] "Mindesthaltbarkeits- und Verbrauchsdatum", zu finden unter [https://www.bmel.de/DE/Ernaehrung/ZuGutFuerDieTonne/\\_Texte/Mindesthaltbarkeit\\_kein\\_Verfallsdatum.html](https://www.bmel.de/DE/Ernaehrung/ZuGutFuerDieTonne/_Texte/Mindesthaltbarkeit_kein_Verfallsdatum.html), **2019**.
- [76] H. Warning-Schroeder, *Unterricht Biologie* **1994**, 18, 47.
- [77] "About the N-Print Site. Purpose of the N-Print Site", zu finden unter <http://www.n-print.org/>, **2011**.
- [78] "Vergleich der durchschnittlichen Emissionen einzelner Verkehrsmittel im Personenverkehr", zu finden unter [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/bilder/dateien/vergleich\\_der\\_durchschnittlichen\\_emissionen\\_einzeln\\_verkehrsmittel\\_im\\_personenverkehr\\_bezugsjahr\\_2017.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/366/bilder/dateien/vergleich_der_durchschnittlichen_emissionen_einzeln_verkehrsmittel_im_personenverkehr_bezugsjahr_2017.pdf), **2018**.
- [79] Umweltbundesamt, "Emissionsdaten", zu finden unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#textpart-1>, **2018**.
- [80] "Reducing Your N Footprint. Change Your N Footprint", zu finden unter <http://www.n-print.org/ReducingYourNFootprint>, **2011**.

- [81] a) Umweltbundesamt, "Bodenversiegelung", zu finden unter <https://www.umweltbundesamt.de/daten/flaeche-boden-land-oekosysteme/boden/bodenversiegelung#textpart-1>, **2019**; b) D. Ulonska, *Versickerungsfähige Bauweisen mit Betonpflaster-systemen*, Bonn, **2012**.
- [82] U. Prüße, K.-D. Vorlop, *CHEMKON* **1996**, 3, 62.
- [83] "Semipermeable Membran", zu finden unter <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/semipermeable-membran/8391>, **1998**.
- [84] *Möglichkeiten der Nitratentfernung aus dem Trinkwasser. Merkblatt Nr. 1.6/2*, **2013**.
- [85] M. Fomina, G. M. Gadd, *Bioresource Technology* **2014**, 160, 3.
- [86] a) R. M. Paixão, I. M. Reck, R. G. Gomes, R. Bergamasco, M. F. Vieira, A. M. S. Vieira, *Environmental Science and Pollution Research* **2018**, 25, 21544; b) C. A. Reddy, P. N. H. B. P., J. M. S., *International Advanced Research Journal in Science, Engineering and Technology* **2015**, 2, 94.
- [87] K. W. Roennefahrt, *Nitratentfernung aus dem Trinkwasser*, Expert-Verlag, **1992**.
- [88] U. Sauer, *Nitratentfernung bei der Trinkwasseraufbereitung*, **2018**.
- [89] U. Prüße, M. Hähnlein, J. Daum, K.-D. Vorlop, *Catalysis Today* **2000**, 55, 79.
- [90] *Wieviel zahlen Trinkwasserkunden für die Überdüngung?*, **2017**.
- [91] *Gewässerüberwachungssystem Niedersachsen (GÜN). Nährstoffe in niedersächsischen Oberflächengewässern. Stickstoff und Phosphor*, **2014**.
- [92] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, *Gewässerschutzberatung im Beratungsgebiet Mittlere Ems Süd*, **2017**.
- [93] H. Keune, U. Dämmgen, *Praxis der Naturwissenschaften. Chemie* **1997**, 46, 16.
- [94] A. Finck, *Dünger und Düngung. Grundlagen und Anleitung zur Düngung der Kulturpflanzen*, 1. Aufl., VCH, Weinheim, Basel (Schweiz), Cambridge, New York, NY, **1989**.
- [95] *Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung). GrwV*, **2010**.
- [96] "WEB-Module Düngung. Die EDV-Lösung für das Nährstoffmanagement auf landwirtschaftlichen Betrieben", zu finden unter <https://www.lwk-niedersachsen.de/index.cfm/portal/96/nav/2208/article/33981.html>, **2019**.
- [97] Deutsche Presse-Agentur, *Kreiszeitung* **2011**.
- [98] *Richtlinie 2000/60/EG zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. Wasserrahmenrichtlinie*, **2000**.
- [99] "Stickstoffdioxid: Gesundheitliche Bedeutung von Grenzwerten", zu finden unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe-im-ueberblick/stickstoffoxide/stickstoffdioxid-gesundheitliche-bedeutung-von#fragen-und-antworten>, **2019**.
- [100] H. Scheidmann, *Rechtliche Bedeutung von Grenzwerten*, **2011**.
- [101] "Fachbegriffe erklärt. Großvieheinheit (GVE)", zu finden unter [https://www.bmel-statistik.de/tabellenfinden/fachbegriffe-erklart/?tx\\_gbglossary\\_main%5Bdefinition%5D=102&tx\\_gbglossary\\_main%5BstartLetter%5D=G&tx\\_gbglossary\\_main%5BbackPid%5D=1138&tx\\_gbglossary\\_main%5Baction%5D=show&tx\\_gbglossary\\_main%5Bcontroller%5D=Glossary&cHash=5bb5b00bf9385beb5d45cc73418998c6](https://www.bmel-statistik.de/tabellenfinden/fachbegriffe-erklart/?tx_gbglossary_main%5Bdefinition%5D=102&tx_gbglossary_main%5BstartLetter%5D=G&tx_gbglossary_main%5BbackPid%5D=1138&tx_gbglossary_main%5Baction%5D=show&tx_gbglossary_main%5Bcontroller%5D=Glossary&cHash=5bb5b00bf9385beb5d45cc73418998c6), **2019**.
- [102] RÖMPP-Redaktion, H.-J. Wölk, "Katalysatoren", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-11-00602>, **2016**.
- [103] a) RÖMPP-Redaktion, E. Amelingmeier, "Mineralisation", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-13-02504>, **2009**; b) RÖMPP-Redaktion, G. Mayer, E. Amelingmeier, "Biomineralisation", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-02-01532>, **2009**.
- [104] RÖMPP-Redaktion, G. Frenking, G. Mayer, "pH", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-16-01431>, **2009**.
- [105] RÖMPP-Redaktion, M. Perner, "Prokaryonten", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-16-04254>, **2012**.
- [106] RÖMPP-Redaktion, S. Kubik, "Protonierung", zu finden unter <https://roempp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-16-04648>, **2005**.

## 10 Impressum

### Teilprojekt 1:

M. Ed. Frauke Brockhage  
Universität Osnabrück  
Didaktik der Chemie  
Barbarastraße 11  
49076 Osnabrück

Mail: frauke.brockhage@uos.de  
Telefon: 0541 969 2351

Prof. Dr. Marco Beeken  
Universität Osnabrück  
Didaktik der Chemie  
Barbarastraße 11  
49076 Osnabrück

Mail: marco.beeken@uos.de  
Telefon: 0541 969 3378

### Teilprojekt 2:

M. Ed. Mientje Lüsse  
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
Didaktik der Chemie  
Carl-von-Ossietzky-Straße 9-11  
26129 Oldenburg

Mail: mientje.luesse@uol.de  
Telefon: 0441 798 3720

Prof. Dr. Verena Pietzner  
Universität Vechta  
Driverstraße 22  
49377 Vechta

Mail: verena.pietzner@uni-vechta.de  
Telefon: 04441 15 270

