

Spannende Infos  
rund um das  
Thema Stickstoff

Themenheft 2

# Die Stickstoffproblematik





# Die Stickstoffproblematik

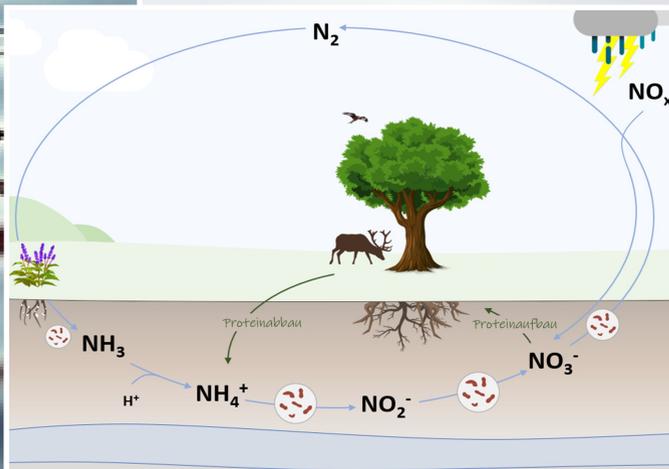
<b>Stickstoff in unserer Lebenswelt</b>	<b>S. 4</b>
Der natürliche Stickstoffkreislauf	S. 4
Die Stickstoff-Fixierung	S. 5
Menschliche Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf	S. 6
<b>Auswirkungen eines übermäßigen Stickstoffeintrages</b>	<b>S. 8</b>
Die Belastbarkeitsgrenzen unseres Planeten	S. 8
Subglobale Betrachtung der Stickstoffproblematik	S. 9
Die Stickstoffproblematik in Niedersachsen	S. 10
Auswirkungen auf die Umwelt	S. 12
Auswirkungen auf den Menschen	S. 14
<b>Politische und rechtliche Grundlagen</b>	<b>S. 16</b>
Sustainable Development Goals	S. 16
Rechtliche Grundlagen	S. 18
<b>Sauberes Wasser – aber wie?</b>	<b>S. 20</b>
Präventive und reaktive Maßnahmen	S. 20
Persönliches Konsumverhalten	S. 21
<b>Zwischenstand – Nitratmonitoring</b>	<b>S. 22</b>
<b>Impressum</b>	<b>S. 22</b>
<b>Literatur</b>	<b>S. 22</b>

# Der natürliche Stickstoffkreislauf

Nitrat ist nur eine von vielen Verbindungen, die im sogenannten Stickstoffkreislauf eine Rolle spielen. Um die Nitrat-Problematik zu verstehen, ist es daher wichtig, weitere Stickstoffverbindungen und die Zusammenhänge zwischen ebendiesen zu kennen.



Die globalen Aufnahme- und Verteilungswege von Stickstoff und seinen Verbindungen lassen sich als Kreislauf beschreiben:



Der natürliche Stickstoffkreislauf.

Ein Großteil des Stickstoffs liegt als molekularer Stickstoff ( $N_2$ ) in der Atmosphäre vor - wir atmen tagtäglich große Mengen hiervon ein und aus. Er ist für den menschlichen Körper weder direkt nützlich noch schädlich. Molekularer Stickstoff kann durch stickstofffixierende Bakterien in freie Stickstoffatome gespalten werden, welche sich mit Wasserstoff-Molekülen zu Ammoniak-Molekülen ( $NH_3$ ) verbinden. Ist der Boden sauer ( $pH < 7$ ), kann Ammoniak mit Wasserstoff-Ionen im Boden zu Ammonium ( $NH_4^+$ ) reagieren. Durch verschiedene Mikroorganismen wird Ammonium schrittweise zu Nitrit ( $NO_2^-$ ) und Nitrat ( $NO_3^-$ ) oxidiert, was als Nitrifikation bezeichnet wird. Unter anaeroben (sauerstoff-armen) Bedingungen kann zudem mithilfe bestimmter Bakterien eine sogenannte Denitrifikation stattfinden. Nitrat wird hierbei wieder zu molekularem Stickstoff reduziert, welcher als Gas in die Atmosphäre entweicht.

Bei hohen Temperaturen, z. B. durch Blitze, können außerdem Stickoxide ( $NO_x$ ) entstehen. Diese bilden mit Wasser Nitrate, welche über Niederschläge wieder in den Boden gelangen.

Pflanzen können über ihre Wurzeln Nitrat als Nährstoff aufnehmen und zum Proteinaufbau nutzen. Tiere wiederum nehmen Teile der Pflanzen als Nahrung zu sich. Durch Ausscheidungen der Tiere bildet sich im Boden Ammoniak bzw. Ammonium. Stirbt das Tier, erfolgt ein Proteinabbau mithilfe zersetzender Bakterien. [1]

# Die Stickstoff-Fixierung

Stickstoff ist als Baustein organischer Substanzen wie Aminosäuren, Proteinen und Nucleinsäuren unverzichtbar für den Aufbau von lebendem Gewebe. Eine Pflanze enthält zum Beispiel ungefähr 2 – 4 % Stickstoff. Obwohl die Erdatmosphäre zu 78 % aus molekularem Stickstoff ( $N_2$ ) besteht, gilt Stickstoff beim Pflanzenwachstum üblicherweise als limitierender Nährstoff. Das liegt daran, dass die meisten Pflanzen nicht in der Lage sind, Stickstoff in molekularer 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. Von Tieren wird Stickstoff ausschließlich in organischer Form genutzt, was beispielsweise über Proteine bei der Nahrungsaufnahme geschieht. [1, 2] Mit der Stickstoff-Fixierung ist eine Reduktion oder Oxidation des molekularen Stickstoffs zu reaktiven Stickstoffverbindungen wie Ammonium oder Nitrat gemeint. Die resultierenden Stickstoffverbindungen können von Lebewesen aufgenommen und verwertet werden. [3]

Wurzelknöllchen



Interesse geweckt?

Dann schauen Sie doch mal in Ihrem Garten oder umliegenden Wiesen, ob Sie Lupinen, Klee, Luzernen, Sojabohnen oder Ackerbohnen finden. Wenn Knöllchenbakterien eine Symbiose mit diesen Pflanzen eingegangen sind, dann finden Sie kleine Knöllchen an den Wurzeln (siehe Foto).

Es gibt verschiedene Wege, wie molekularer Stickstoff in sogenannte reaktive Stickstoffverbindungen umgewandelt werden kann.

## A) Biotische Stickstoff-Fixierung:

Einige Bakterien sind in der Lage, Stickstoff biologisch zu fixieren, indem sie molekularen Stickstoff in Ammoniak umwandeln. Manche Arten führen die Fixierung ausschließlich in Symbiose mit Pflanzen aus: besonders bekannt sind Knöllchenbakterien (Rhizobien). Diese leben in Symbiose mit den Wurzeln von Leguminosen. Leguminosen sind Hülsenfrüchtler wie Erbsen, Sojabohnen, Luzernen und Klee. Während die Bakterien die Wirtspflanze mit dem fixierten Stickstoff versorgen, liefert die Pflanze den Bakterien organische Verbindungen, z. B. Kohlenhydrate. [2, 3, 4]

## B) Abiotische Stickstoff-Fixierung

Durch nicht-biologische Vorgänge wird molekularer Stickstoff unter Bildung von Stickstoffoxiden  $NO_x$  (kurz: Stickoxiden) fixiert. Dies geschieht z. B. durch Blitze, Vulkanausbrüche oder Verbrennungen. [4]

## C) Industrielle Stickstoff-Fixierung

Seit Anfang des 20. Jahrhunderts wird das Haber-Bosch-Verfahren zur technischen Stickstoff-Fixierung angewendet, bei dem aus Wasserstoff und Stickstoff Ammoniak hergestellt wird. Die Jahresproduktion beträgt über 180 Millionen Tonnen, wobei die Produktion stetig zunimmt. [5]

# Menschliche Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf



Menschliche Tätigkeiten haben erhebliche Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf. Durch die industrielle Stickstoff-Fixierung, insbesondere für die Herstellung von Düngemitteln, gelangen große Mengen reaktiver Stickstoffverbindungen in das Ökosystem. Außerdem gelangt ein kleinerer Teil reaktiver Stickstoffverbindungen durch das Abwasser und den Oberflächenablauf in die Natur. Gleichzeitig entstehen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, z. B. in Industrie und Verkehr, Stickoxide. Diese wirken in der Atmosphäre als Treibhausgase oder bilden mit Wasser Nitrate und gelangen über Niederschläge in den Boden.

Derartigen Störungen des Stickstoffkreislaufs folgt eine Reihe an nachteiligen Auswirkungen, die später noch detaillierter betrachtet und erklärt werden.

Gelangt mehr gebundener Stickstoff in den Boden als die Pflanzen aufnehmen können, kann dies in einer Versauerung des Bodens resultieren. Ein übermäßiger Eintrag von Stickstoffverbindungen in Oberflächengewässer (z. B. Seen und Flüsse) kann zur Eutrophierung, zum sogenannten Umkippen des Gewässers, führen. Darüber hinaus kann sich eine zu hohe Nitratkonzentration im Trinkwasser oder in der Nahrung auch auf die Gesundheit des Menschen auswirken.



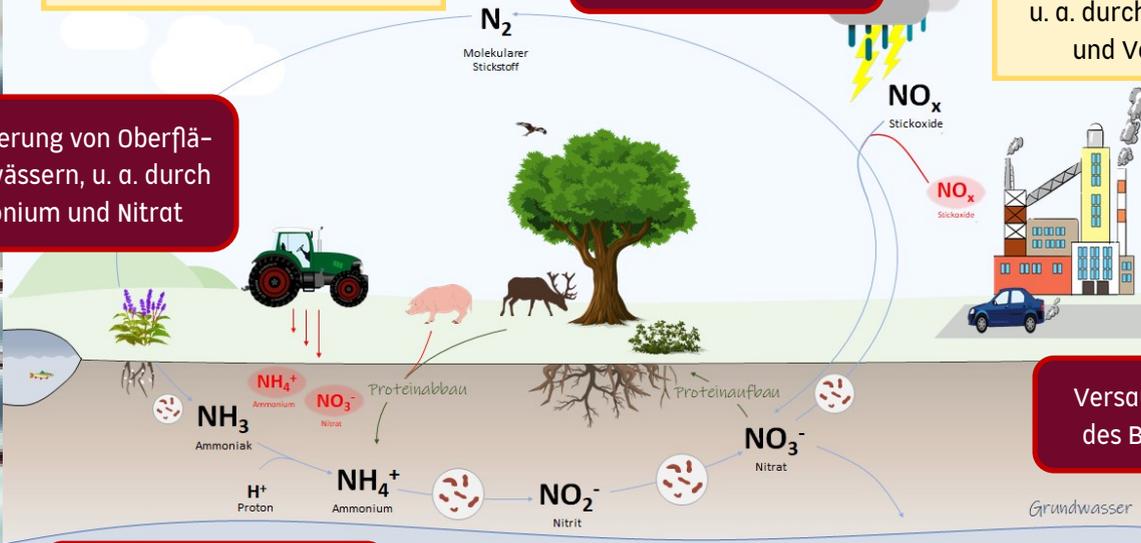
Warum wird bei Diskussion rund um das Grund- und Trinkwasser eigentlich häufig von einer Nitratbelastung, jedoch selten von einer Ammoniumbelastung gesprochen? Wenn Wasser in das Grundwasser ausgewaschen wird, durchläuft es verschiedene Bodenschichten. Ammonium-Ionen werden durch den Boden adsorbiert, also herausgefiltert. Nitrat-Ionen durchlaufen den Boden jedoch ungehindert und gelangen dadurch in das Grundwasser. Während im Grundwasser also meist nur eine Nitratbelastung vorliegt, wird bei der Bewertung der Güte von Oberflächengewässern neben Nitrat auch Ammonium berücksichtigt. [1, 4]

Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen, u. a. durch Düngemittel

Belastung der Luft, u. a. durch Stickoxide

Stickoxid-Emission, u. a. durch Industrie und Verkehr

Eutrophierung von Oberflächengewässern, u. a. durch Ammonium und Nitrat



Versauerung des Bodens

Belastung des Grundwassers, u. a. durch Nitrat

Einflüsse des Menschen

Auswirkungen auf die Umwelt

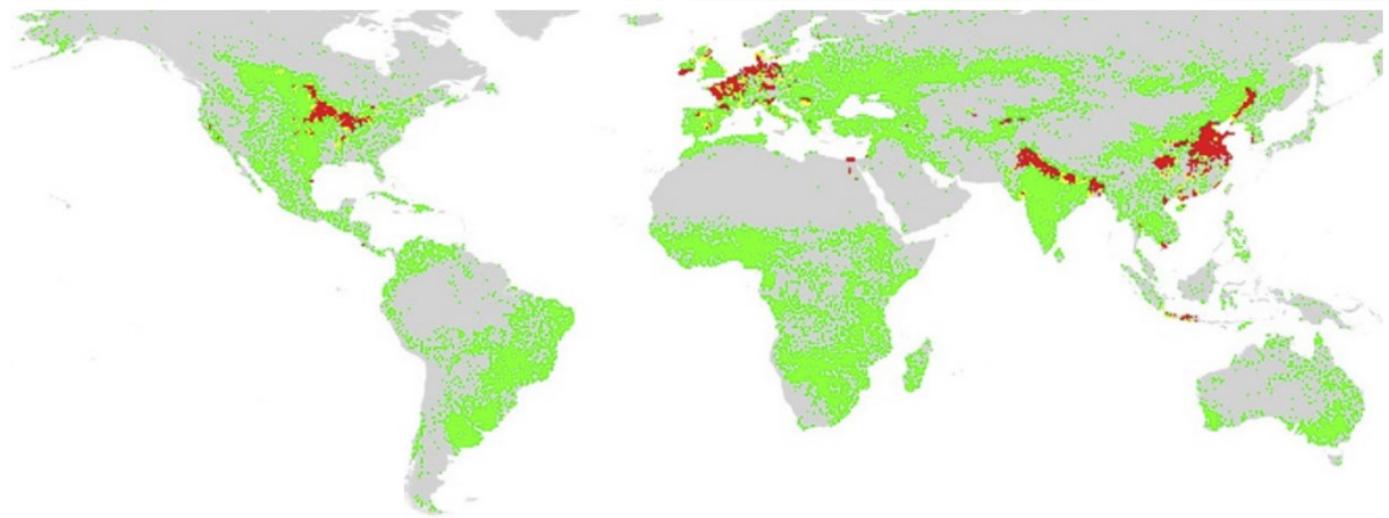
Wie schlimm steht's denn nun mit der Stickstoffbelastung von Gewässern? ➔



# Subglobale Betrachtung der Stickstoffproblematik

Anhand definierter Kontrollvariablen hat das Forscherteam außerdem die sogenannte subglobale Verteilung der Stickstoff-Problematik untersucht, also die Belastung durch reaktiven Stickstoff im internationalen Vergleich. Als Variablen wurden dabei die Stickstoff-Fixierung und Düngeraustragung herangezogen. In der unten abgebildeten Karte sind die Ergebnisse zu sehen. Da für einige Bereiche der Erde Werte fehlen, konnte die Belastung nicht überall berechnet werden. Diese Bereiche sind in grau markiert. In rot sind besonders belastete Gebiete gekennzeichnet. [6]

Insbesondere in Mitteleuropa, aber auch in Nordamerika, China und Indien ist die Stickstoffbelastung sehr hoch. Auch in Deutschland liegt eine hohe Belastung der Umwelt durch reaktive Stickstoffverbindungen vor. Die Ergebnisse zeigen, dass in Deutschland vor allem im Nordwesten dringender Handlungsbedarf besteht, um schwerwiegenden Folgen für Mensch und Umwelt entgegenzuwirken.



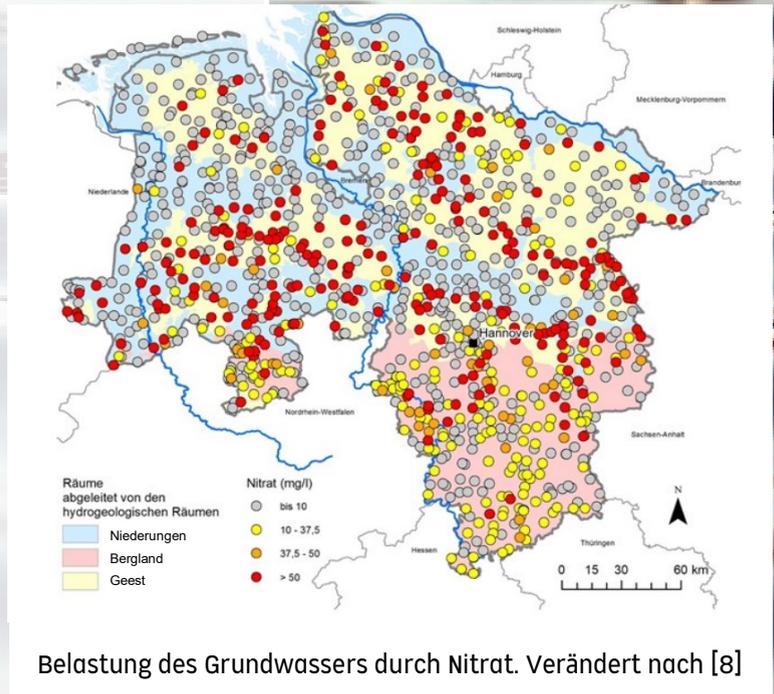
Internationaler Vergleich der Belastung durch reaktiven Stickstoff  
(Kontrollvariablen: Stickstoff-Fixierung und Düngeraustragung). [6]

# Stickstoffproblematik in Niedersachsen

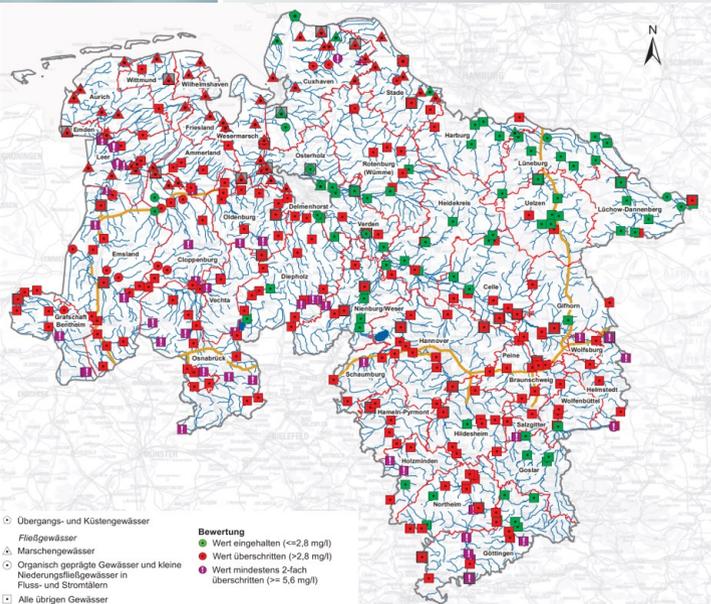
## Grundwasser

Mit einem Anteil von etwa 60 % wird ein Großteil der Bodenfläche in Niedersachsen für landwirtschaftliche Zwecke genutzt. [7] Eine wesentliche Belastungsquelle für Gewässer liegt daher in der intensiven Ausbringung von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln. Aber auch Abwässer aus Haushalten, z. B. durch undichte Abwasserkanäle, und der Verkehr tragen zu Grundwasserbelastungen bei. [5, 8]

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 18 % der Grundwasser-Messstellen überschritten (Datenbestand 2019). Bei diesem Wert sind geringer belastete untere Grundwasserstockwerke miteingeschlossen. Werden ausschließlich die oberen Grundwasserleiter betrachtet, überschreiten sogar rund 29 % den Grenzwert. Ein Schwerpunkt der nitratbelasteten Grundwassergebiete liegt im westlichen Niedersachsen in den Geestgebieten. 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 in das Grundwasser ausgewaschen werden. [8]



## Oberflächengewässer



Belastung der Oberflächengewässer durch Stickstoff.  
Verändert nach [11]

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 unter 50 mg/L mag zwar nach chemischem Zustand „gut“ sein, nach der Bewertung des ökologischen Zustands jedoch nicht immer. [9]

Anstelle des Nitratgehaltes wird bei der ökologischen Betrachtung die Gesamtstickstoffmenge, also die Stickstoffmenge aus den einzelnen Ionen Ammonium, Nitrat und Nitrit untersucht. Für Oberflächengewässer wurde in Niedersachsen hinsichtlich der Gesamtstickstoffmenge ein Zielwert von 2,8 mg/L TN (total nitrogen = Gesamtstickstoff) festgelegt. Dieser Wert kann in Niedersachsen größtenteils nicht eingehalten werden. Insbesondere im Westen Niedersachsens überschreiten nahezu alle Messstellen diesen Zielwert. [9, 10]

### Exkurs: Die Gesamtstickstoffmenge

Mit der Gesamtstickstoffmenge ist im Kontext von Gewässeranalysen üblicherweise die Summe aus Nitrat-, Nitrit- und Ammoniumstickstoff gemeint. Aus einem gemessenen Ammonium- oder Nitratgehalt kann nach untenstehender Rechnung der Gehalt an Ammonium-Stickstoff (Ammonium-N) und Nitrat-Stickstoff (Nitrat-N) ermittelt werden.

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

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

Bei einer Nitrat-Konzentration von 12,5 mg/L beträgt die Nitrat-Stickstoff-Konzentration schon 2,82 mg/L – damit ist der Zielwert von 2,8 mg/L TN (Gesamtstickstoff) in Oberflächengewässern bereits überschritten.

# Auswirkungen auf die Umwelt



Die globale Freisetzung reaktiver Stickstoffverbindungen hat sich durch menschliche Einflüsse in den letzten 100 Jahren mehr als verdoppelt, im europäischen Raum sogar vervierfacht. Die Hauptursachen hierfür liegen im weitverbreiteten Anbau von Nutzpflanzen, 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. [5, 12]

Die von Menschen verursachte Intensivierung des Stickstoffkreislaufs stellt jedoch eine große Belastung für die Umwelt dar.

## Versauerung

Industrie und Verkehrswesen führen zu einer vermehrten Freisetzung von Schwefel- und Stickoxiden. In der Atmosphäre reagieren diese Verbindungen über verschiedene Reaktionswege zu Säuren und können so „Saurer Regen“ verursachen. [13]



Erfolgt im Boden ein übermäßiger Stickstoffeintrag, kann dies ebenfalls zu einer Versauerung führen. Infolge mikrobieller Umsetzungsprozesse stickstoffhaltiger Verbindungen (z. B. Harnstoff und Ammoniak) bilden sich Protonen ( $H^+$ ), der Boden wird saurer. [14]

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. [15]



Ebenso wie bei der Eutrophierung gibt es auch für die Versauerung Critical Loads (kritische Belastungsgrenzen). 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 Bodenreinhaltung 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. [16]



## Verlust von Biodiversität



Große Brennnessel

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. Diese nährstoffliebenden und schnell wachsenden Pflanzen nehmen anderen Pflanzen Licht und Raum und gefährden so deren Bestand. [5]

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.

## Eutrophierung



Starkes Algenwachstum

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. 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. [1]

# Auswirkungen auf 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 Interpretation der Ergebnisse verschiedener Studien wider.

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. [17]

Der hohe Nitratgehalt von Gemüse lässt sich dabei nicht pauschalisieren, sondern kann in Abhängigkeit von verschiedenen Faktoren extrem schwanken. Dabei können folgende Faktoren Einfluss auf den Nitratgehalt haben.

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, hat im Mittel die höchsten Nitratgehalte, gefolgt von Wurzel- und Knollengemüse. Fruchtgemüse hat insgesamt einen eher niedrigen Nitratgehalt.

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. [17]



## Potenzielle Gesundheitsrisiken

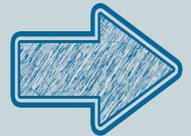
Im Zusammenhang mit Nitrat werden überwiegend zwei Krankheiten thematisiert: Säuglingsmethämoglobinämie und durch die Bildung von Nitrosaminen verursachter Krebs. Auch wenn nach den Informationen vieler Medien die Verbindung von Nitrat zu diesen Krankheiten eindeutig zu sein scheint, herrscht in der Wissenschaft eine gesplante Meinung zu dem Thema. [18]



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 Nitritkonzentration kann die verstärkte Bildung von Methämoglobin bewirken. Insbesondere Säuglinge reagieren empfindlicher auf Nitrit als Erwachsene, was im schlimmsten Fall zur sogenannten Methämoglobinämie führen kann. Ist der Anteil an Methämoglobin im Blut erhöht, treten erste Zeichen einer mangelnden Sauerstoffversorgung wie beispielsweise Kopfschmerzen oder Benommenheit auf. Steigt der Methämoglobinanteil weiter, kann es zu Verwirrtheit, Atemnot, Koma und schließlich zum Tod kommen. Durch ein körpereigenes Enzym wird die Reaktion zu Methämoglobin rückgängig gemacht, daher sind übliche Verzehrsmengen von Nitrat unbedenklich. Bei Säuglingen ist die Aktivität dieses Enzyms jedoch geringer, weshalb bei diesen zu hohe Nitrataufnahmen im schlimmsten Fall zum Erstickten führen können. [19]

Neben der Säuglingsmethämoglobinämie wird in den Medien häufig die potenzielle kanzerogene 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. Auf der anderen Seite kann Nitrit mit sekundären Aminen zu Nitrosaminen reagieren, welche sich im Tierversuch größtenteils als krebserregend erwiesen 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. [18, 20]

Um die negativen Auswirkungen der menschlichen Einflüsse auf den Stickstoffkreislauf, aber auch auf andere Aspekte der Nachhaltigkeit zu reduzieren, wurden verschiedene internationale und nationale gesetzliche Regelungen getroffen. Mehr Infos dazu gibt's auf den kommenden Seiten.



# Sustainable Development Goals

Der Begriff Nachhaltigkeit umfasst zahlreiche Aspekte, entsprechende Frage- und Problemstellungen und unterschiedliche Zielvorstellungen. Gleichzeitig spielen viele Akteure im Bereich der Nachhaltigkeit eine Rolle. Neben der ökologischen Dimension sind auch die ökonomische und soziale Dimension inbegriffen. Aufgrund dieser Vielfältigkeit und -dimensionalität des Begriffes diskutieren Wissenschaft und Politik schon lange über eine Definition. In der politischen Debatte behält seit 1987 die von den Vereinten Nationen aufgestellte Definition Vorherrschaft:

„*Nachhaltige Entwicklung bezeichnet eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der jetzigen Generation dient, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen. (Brutland-Bericht, übersetzt) [21]*“

Diese Definition ist Grundlage für viele politische Entscheidungen, so auch für die 2015 von den Vereinten Nationen verabschiedeten 17 Nachhaltigkeitsziele, welche 2016 mit einer Laufzeit von 15 Jahren in Kraft traten [22]. Diese SDGs (Sustainable Development Goals) sollen global eine nachhaltige Entwicklung ohne Armut gewährleisten.

In den SDGs werden alle Dimensionen einer nachhaltigen Entwicklung berücksichtigt. So sollen zum Beispiel Armut und soziale Ungerechtigkeit reduziert und Bildung und Geschlechtergleichheit für alle geschaffen werden. Aber auch der Zugang zu sauberem Wasser sowie die Gesundheit der Bevölkerung, bezahlbare und saubere Energie, Klimaschutz und eine nachhaltige Städteentwicklung werden berücksichtigt. [22]

Die Stickstoffproblematik spiegelt sich in vielen SDGs wieder. Ganz eindeutig ist der Bezug zu SDG 14 „Leben unter Wasser“ und SDG 15 „Leben an Land“. In diesen Bereichen sind die ökologischen Auswirkungen der menschlichen Eingriffe in den Stickstoffkreislauf zunehmend zu beobachten. Um diese negativen Auswirkungen zu reduzieren, kommt SDG 12 „Nachhaltige/r Konsum und Produktion“, unter anderem auf Seiten der Landwirtschaft und der Verbraucherinnen und Verbraucher, ins Spiel. Wie an diesem Beispiel zu erkennen, sind viele der SDGs untereinander stark vernetzt. So stellt sich beispielsweise die Frage, inwieweit sich eine Sicherstellung der Ernährung der Weltbevölkerung (SDG 2 „Kein Hunger“) mit einer Wasserreinhaltung durch geringere Düngemittelinträge vereinen lässt. An dieser Stelle sind beispielsweise eine bedarfsgerechte Düngung, aber auch das Vermeiden von Lebensmittelverschwendung sowie ein reduzierter Konsum tierischer Produkte nur einige von zahlreichen Lösungsstrategien.

# SUSTAINABLE DEVELOPMENT GOALS



Sustainable Development Goals. [22]

# Rechtliche Grundlagen



2014

Im Oktober 2016 hat die EU-Kommission eine Klage gegen die Bundesrepublik Deutschland beim Europäischen Gerichtshof eingereicht. 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. [23, 24]

Daraufhin folgte im Juni 2018 das Urteil des EuGHs, das feststellte, dass die Nitrat-Belastung in vielen Regionen Deutschlands zu hoch sei. Das Urteil bezog sich auf die Düngeverordnung von 2014. Infolge der Klage wurde die Düngeverordnung 2017 reformiert. Doch auch diese Verschärfungen reichten der EU-Kommission nicht aus, sie forderten strengere Vorgaben. Die Strafzahlungen der Bundesregierung hätten, wenn die Forderungen nicht umgesetzt werden, bis zu 861.000 Euro pro Tag betragen. [23, 25, 26]

Erneut wurde die Düngeverordnung überarbeitet. In der im Mai 2020 in Kraft tretenden neuen Düngeverordnung wurde u. A. der zuvor notwendige Nährstoffvergleich gestrichen und durch eine zusätzliche schriftliche Dokumentation der durchgeführten Düngemaßnahmen ersetzt. Die Düngebedarfsermittlung bleibt bestehen, wurde jedoch in einigen Details geändert. So bezieht sich das Ertragsniveau der angebauten Kulturen nicht mehr auf die letzten 3, sondern auf die letzten 5 Jahre. Auch wurden weitere Aufzeichnungspflichten eingeführt. Die bestehenden Vorgaben bezüglich der Herbsdüngung und Sperrfristen wurden teilweise verschärft. Auch bei gefrorenem Boden darf kein Düngemittel ausgetragen werden. [27]

2021

In nitratbelasteten Gebieten gelten seit Januar 2021 weitere Regelungen. So muss die Stickstoff-Düngung 20 % unter dem errechneten Düngebedarf liegen, die Stickstoff-Obergrenze für den Einsatz organischer Düngemittel muss eingehalten werden und eine Herbsdüngung ist nur noch in Ausnahmefällen erlaubt. Sperrfristen wurden außerdem verlängert und der Zwischenfruchtanbau für viele Fälle gefordert. Darüber hinaus muss jedes Bundesland mindestens zwei weitere Maßnahmen für belastete Gebiete festlegen. [27]

## Wasserreinhaltung

Um das europäische Gewässerschutzrecht zu vereinheitlichen, gibt es seit Oktober 2000 eine Wasserrahmenrichtlinie. [28] Daneben bestehen u. a. die Nitratrichtlinie und Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie. [29] 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. [30]



## Luftreinhaltung

Für die Kontrolle der Luftqualität gibt es die Richtlinie über „Luftqualität und saubere Luft für Europa.“ Die Richtlinie beinhaltet u. a. Grenzwerte für Stickstoffoxide und wird in Deutschland im Bundes-Immissionsschutzgesetz umgesetzt. [31]

## Düngemittleinsatz

Der Einsatz von Düngemitteln wird in Deutschland mithilfe von drei Vorschriften reguliert:

Das Düngegesetz beinhaltet die grundsätzlichen Rahmenbedingungen für die Herstellung und Anwendung von Düngemitteln. Es wurde zuletzt im Juni 2020 geändert und dient zur Umsetzung der EU-Richtlinien, die den Verkehr und die Anwendung von Düngemitteln beinhalten. [32]

In der Düngeverordnung erfolgt die konkrete Anwendung des Düngegesetzes mit genauen Vorschriften, Regeln, Fristen und Grenzen. Ein wesentlicher Bestandteil ist die Düngebedarfsermittlung. Außerdem beinhaltet sie 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. [33]

In der Düngemittelverordnung wird die Einordnung und Zulassung von Düngemitteln für das Inverkehrbringen festgelegt. [34]



# Sauberes Wasser – aber wie?

Die Ansätze zur Lösung der Stickstoffproblematik und zum Überschuss reaktiver Stickstoffverbindungen sind vielfältig. Ein Schwerpunkt liegt in der Wasserreinhaltung von Oberflächengewässern und Grundwasser, welche durch verschiedene Kooperationsmodelle zwischen Wasserversorgern und der Landwirtschaft gefördert wird. Landwirte optimieren auf Basis einer kostenlosen Beratung ihre Bewirtschaftungsweise und erhalten im Gegenzug für den Mehraufwand eine finanzielle Entschädigung. [35]

Dieser Ansatz zählt zu den präventiven, also vorbeugenden Maßnahmen. Sollten vorbeugende Maßnahmen nicht mehr ausreichen, müssen Wasserversorger reaktiv handeln, um sauberes Trinkwasser bereitstellen zu können.

**Weitere präventive Maßnahmen:** Seit 1987 kauft der OOWV (Oldenburgisch-Ostfriesische Wasserverband) 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 [36]. Aus diesen Auflagen, sowie den Auflagen nationaler Verordnungen (z. B. Düngeverordnung), werden bereits einige präventive Maßnahmen deutlich: Eine bedarfsorientiertere Düngung, gezielte Bepflanzung, Nutzung verbesserter Biogasanlagen sowie eine kritische Reflexion und Anpassung des eigenen Verhaltens.

**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 [36]. Ammonium-Ionen werden durch den Boden gut adsorbiert (herausgefiltert), daher wird im Grundwasser die Entfernung von Nitrat-Ionen fokussiert. Die einfachste Möglichkeit ist die sogenannte Rohwasserverschneidung, bei der nitratbelastetes Wasser mit Wasser mit einer geringen Nitratbelastung gemischt wird. Eine weitere wasserwirtschaftliche Möglichkeit ist die Verlagerung von Brunnenstandorten oder die Vertiefung von Brunnen. [36] Auch physikalisch-chemische Verfahren wie ein sogenannter Ionenaustausch oder die Umkehrosmose sind möglich, jedoch sehr kosten- und energieaufwendig. Eine biologische Denitrifikation, wie sie natürlicherweise im Boden vorkommen kann (siehe Stickstoffkreislauf), ist sehr schwer zu handhaben, weshalb die biologische Nitratentfernung in der Praxis nur selten durchgeführt wird. [37]

## 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.

### Konsum und Umgang mit Lebensmitteln



Die Produktion verschiedener Lebensmittel, z. B. Obst, Gemüse oder Fleisch, geht mit ganz unterschiedlich großer Freisetzung reaktiven Stickstoffs einher. Um ein Kilogramm eines tierischen Nahrungsmittelproduktes, z. B. Fleisch oder Eier, herzustellen, müssen jedoch erheblich mehr Energie und Nährstoffe aufgewendet werden, als für die gleiche Menge pflanzlicher Produkte. Eine Verringerung des Konsums tierischer Produkte trägt daher zu einer Verminderung der Freisetzung reaktiver Stickstoffverbindungen bei. [38]

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. [39]

### 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. Trotzdem lässt sich die Stickoxid-Emission durch die Nutzung umweltfreundlicherer Verkehrsmittel wie dem Fahrrad, dem öffentlichen Nahverkehr oder der Bahn weiter reduzieren. Auch durch Fahrgemeinschaften oder die Auswahl eines PKWs mit einem niedrigen Spritverbrauch kann die Emission von Stickoxiden pro Person verringert werden. Durch Flugreisen entstehen besonders viele Stickoxide – auch hier ist der Umstieg auf andere Verkehrsmittel sinnvoll, um die Stickoxidbelastung der Luft und im weiteren Verlauf dann auch von Böden und Gewässern zu verringern.



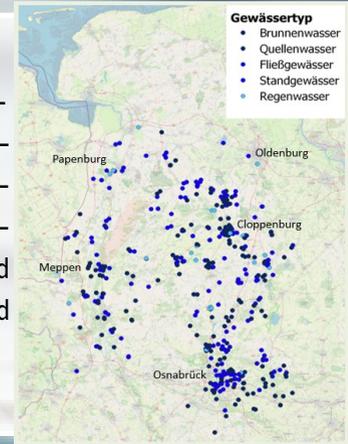
### Wohnen und Bauen



Mit der Ausweitung von Siedlungs- und Verkehrsgebieten nimmt die Bodenversiegelung stetig zu. Regenwasser kann so nur schlecht versickern und die Fruchtbarkeit des Bodens nimmt ab. Private Haushalte können in diesem Zusammenhang einen Beitrag leisten, indem sie auf privaten Grundstücken den Anteil versiegelter Flächen möglichst gering halten. 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 [5, 40].

# Zwischenstand – Nitratmonitoring

Die letzten Messdaten von den rund 600 Gewässern, die beim Nitrat-Monitoring von Ihnen und vielen weiteren Citizen Scientists untersucht wurden, sind im April 2021 bei uns eingegangen. Seitdem werten wir die Daten in Zusammenarbeit mit der Umweltsystemforschung und der Geoinformatik aus. Aufgrund der Vielzahl eingegangener Messdaten mit ganz unterschiedlichen Messstandorten und Randbedingungen ist die Auswertung sehr zeitintensiv. Aber seien Sie versichert: Sobald Ergebnisse vorliegen, werden wir diese veröffentlichen. So erhalten Sie in Form von Karten und Infomaterial eine detaillierte Ergebnisdarstellung der Messungen im ganzen Weser-Ems-Gebiet!



## Impressum

Universität Osnabrück  
Chemiedidaktik  
Barbarastraße 11  
49076 Osnabrück

**Prof. Dr. Marco Beeken**  
marco.beeken@uos.de  
Telefon: 0541 969-3378

**M.Ed. Frauke Brockhage**  
frauke.brockhage@uos.de  
Telefon: 0541 969-2351

Universität Vechta, Präsidium  
Driverstr. 22  
49377 Vechta

**Prof. Dr. Verena Pietzner**  
verena.pietzner@uni-vechta.de  
Telefon: 04441 15 270

Universität Oldenburg, Chemiedidaktik  
Carl-von-Ossietzky-Straße 9-11  
26129 Oldenburg

**M.Ed. Mientje Lüsse**  
mientje.luesse@uol.de  
Telefon: 0441 798-3720

## Literatur

- [1] R. L. Smith, T. M. Smith, Ökologie, 6. Aufl., Pearson Studium, München, 2009.
- [2] J. Reece, L. Urry, M. Cain, S. Wasserman, P. Minorsky, R. Jackson, Campbell Biologie, 10. Aufl., Pearson, Hallbergmoos, 2016.
- [3] W. Reineke, M. Schlömann, Umweltmikrobiologie, 2. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, 2015.
- [4] W. K. Purves, Biologie, 9. Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2011.
- [5] Reaktiver Stickstoff in Deutschland. Ursachen, Wirkung, Maßnahmen, Umweltbundesamt, 2014.
- [6] W. Steffen, K. Richardson, J. Rockström, S. E. Cornell, I. Fetzer, E. M. Bennett, R. Biggs, S. R. Carpenter, W. de Vries, C. A. de Wit, C. Folke, D. Gerten, J. Heinke, G. M. Mace, L. M. Persson, V. Ramanathan, B. Reyers und S. Sörlin, Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet, Science 347, 2015.
- [7] Landesamt für Statistik Niedersachsen, Bodenflächen in Niedersachsen nach Art der tatsächlichen Nutzung 2016, 2018.
- [8] NLWKN, Grundwasserbericht Niedersachsen - Kurzbericht 2020 - Grundwasserstand sowie Güteparameter Nitrat und Phosphat, 2020.
- [9] Umweltbundesamt, Gewässer in Deutschland: Zustand und Bewertung, Dessau-Roßlau, 2017.
- [10] Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Nährstoffbericht für Niedersachsen 2019/2020, 2019.
- [11] NLWKN, Oberirdische Gewässer Band 44 Teil II b Karten, Karte 23, Gesamtstickstoff (TN) - 2014-2018, Hildesheim, Dezember 2020.
- [12] 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.
- [13] S. Zerbe, G. Wiegand, Renaturierung von Ökosystemen in Mitteleuropa, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009.
- [14] T. DeVries, I. Parchmann, Biologie in der Schule 1999, 48, 216.
- [15] Umweltbundesamt, Hintergrundpapier zu einer multimedialen Stickstoffminderungsstrategie, 2009.

- [16] 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 ökosystemspezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland, 2018.
- [17] L. Banspach, "Nitrat-Gehalt in Gemüse", zu finden unter [https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/wa-rengruppen/wc\\_25\\_frischgemuese/et\\_nitrat\\_frisch-gemuese.htm](https://www.lgl.bayern.de/lebensmittel/wa-rengruppen/wc_25_frischgemuese/et_nitrat_frisch-gemuese.htm), 2012.
- [18] D. S. Powlson, T. M. Addiscott, N. Benjamin, K. G. Cassman, T. M. de Kok, H. van Grinsven, J.-L. L'Hiron-del, A. A. Avery, C. van Kessel, Journal of environmental quality 2008, 37, 291.
- [19] J. Wingender, "Nitrat", zu finden unter <https://ro-empp.thieme.de/roempp4.0/do/data/RD-14-01295>, 2009.
- [20] Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Fragen und Antworten zu Nitrat und Nitrit in Lebensmitteln, 2013.
- [21] Zusammensetzung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, Abschlußbericht der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt - Ziele und Rahmenbedingungen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung, Deutscher Bundestag - 13. Wahlperiode. Sachgebiet 1101, 26. Juni 1998.
- [22] Vereinte Nationen, Sustainable Development Goals, abgerufen am 15 Januar 2020 unter <https://sustainabledevelopment.un.org/?menu=1300>
- [23] Europäischer Gerichtshof entscheidet Nitrat-Klage im Verfahren gegen Deutschland. Fact Sheet, 2018.
- [24] J. Döschner, "Klage wegen Nitrat-Belastung in Deutschland. Ignorieren, hinhalten, versagen", zu finden unter <https://www.tagesschau.de/in-land/klage-gegen-deutschland-wegen-nitrat-ver-seuchung-101.html>, 2016.
- [25] "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-bundesumweltmi-nisterium/>, 2018.
- [26] A. Wulfers, Frankfurter Allgemeine Zeitung 2019.
- [27] Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung, Düngeverordnung 2020, September 2020.
- [28] 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.
- [29] 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.  
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.
- [30] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung). TrinkwV, 2001.
- [31] 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.  
b) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz). BImSchG, 1974.
- [32] Düngegesetz. DüngG, 2009.
- [33] Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung). DüV, 2017.
- [34] Verordnung über das Inverkehrbringen von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelverordnung). DüMV, 2012.
- [35] "Grundwasserschutz - Kooperation mit der Landwirtschaft", zu finden unter <https://www.oowv.de/service/fuer-unternehmen/landwirte/>
- [36] 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 Trinkwasserversorgung, Dessau-Roßlau, 2017.
- [37] U. Sauer, Nitratentfernung bei der Trinkwasseraufbereitung, 2018.
- [38] Stickstoff - zuviel des Guten? Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren, 2015.
- [39] UmweltWissen - Schadstoffe. Ammoniak und Ammonium, 2018.
- [40] "Reducing Your N Footprint. Change Your N Foot-print", zu finden unter <http://www.n-print.org/ReducingYourNFootprint>, 2011.

