

Fridays For Future und Schule? – Teil 2

Nachhaltige Unterrichtsvorschläge zur Stickstoffproblematik

MIENTJE LÜSSE | FRAUKE BROCKHAGE | VERENA PIETZNER | MARCO BEEKEN



Nachdem im ersten Teil dieser Reihe wesentliche Inhalte zum Thema Nachhaltigkeit in Gesellschaft, Politik und Wissenschaft sowie die Rolle der Schule für eine Bildung nachhaltiger Entwicklung aufgezeigt wurden, wird in diesem Beitrag die Stickstoffproblematik konkretisiert. Hierbei steht die Situation in Deutschland, besonders vor dem Hintergrund des Urteils des Europäischen Gerichtshofs im Jahr 2018 aufgrund zu hoher Nitrat-Belastungen, im Fokus. Um das Thema vertieft und experimentell im Unterricht untersuchen zu können, werden neben fachlichen Hintergründen exemplarische Unterrichtsinhalte vorgeschlagen.

Bei allen Bezeichnungen, die sich auf Personen beziehen, meint die gewählte Formulierung beide Geschlechter, auch wenn aus Gründen der besseren Lesbarkeit die männliche Form verwendet wird.

Ein globales und regionales Thema

In Medienberichten wird die Stickstoffproblematik häufig mit reißerischen Titeln aufgegriffen, die oftmals ein Bild einseitiger Schuldzuweisungen vermitteln und objektive Betrachtungen vermissen lassen. Eine fachliche Auseinandersetzung mit dieser Thematik ist daher unabdingbar, um verschiedene Sichtweisen nachvollziehen und diskutieren zu können.

Im Beitrag „Fridays For Future und Schule? – Teil 1: Nachhaltigkeit in Gesellschaft, Wissenschaft, Politik und Schule“ wurden bereits ökologische Belastbarkeitsgrenzen verschiedener Bereiche anhand der planetaren Leitplanken aufgezeigt, deren Einhaltung auch in den aktuellen Forderungen von *Fridays For Future Deutschland* verlangt wird [1]. Bei den biogeochemischen Flüssen wurde der sichere Handlungsraum jedoch verlassen, wodurch ein hohes Risiko gravierender Folgen für Mensch und Umwelt besteht. Hierzu gehören zum einen die Phosphatproblematik, deren Einbettung in die Nachhaltigkeitsdiskussion des Chemieunterrichts bereits thematisiert wurde [2].

Neben Phosphor zählt auch Stickstoff mit seinen Verbindungen zu den gefährdeten biogeochemischen Flüssen. Als Kontrollvariable für die Quantifizierung dieser Problematik dient die industrielle, anthropogen verursachte Fixierung von molekularem Stickstoff aus der Atmosphäre, wobei weltweit maximal 62 Terragramm Stickstoff (entspricht

62 · 10⁹ kg) pro Jahr in reaktive Stickstoffverbindungen überführt werden dürften, um einen sicheren Handlungsraum nicht zu überschreiten. Regional sei die Verteilung von Dünger entscheidend für die Auswirkungen auf die Umwelt. In Abbildung 1 ist die subglobale Verteilung für diese Kontrollvariablen für Stickstoff dargestellt [3].

Insbesondere in großen Teilen Europas, auch in Deutschland, wurde der sichere Handlungsraum bereits maßgeblich überschritten und der Stickstoff-Kreislauf durch den menschlichen Einfluss stark destabilisiert [3]. Um die Entwicklungen sowie die aktuelle Situation in Deutschland genauer zu betrachten, lohnt sich die Verwendung und Kontrolle sogenannter Critical Loads:

“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.” [4] (Die Kritische Belastung ist eine quantitative Abschätzung der Exposition gegenüber einem oder mehreren Schadstoffen, unterhalb derer nach derzeitigem Kenntnisstand keine signifikanten schädlichen Auswirkungen auf bestimmte empfindliche Elemente der Umwelt auftreten.)

Diese ökologischen Belastungsgrenzen werden in Deutschland unter anderem auf Probleme wie Eutrophierung und Versauerung angewandt. Insgesamt ist die Depo-

sition reaktiven Stickstoffs in den letzten zwei Jahrzehnten zurückgegangen und vor allem die Säurebelastung hat dank nationaler und internationaler Luftreinhaltepolitik stark abgenommen. Hinsichtlich der Belastungsgrenzen für Eutrophierung verlaufen die Fortschritte jedoch langsamer und es besteht weiterhin in großen Teilen Deutschlands – insbesondere für den Erhalt unserer biologischen Vielfalt – ein erhebliches Risiko (Abbildung 2) [5].

Ein Großteil der betroffenen Gebiete liegt in Niedersachsen, wo sowohl Oberflächengewässer als auch das Grundwasser vielerorts übermäßig mit Nitrat belastet sind. Aufgrund der stark verbreiteten landwirtschaftlichen Nutzung von Bodenflächen in Niedersachsen liegt eine wesentliche Belastungsquelle für Gewässer in der intensiven Düngung [6]. Daneben tragen auch Abwässer aus Haushalten, zum Beispiel durch undichte Abwasserkanäle, und der Verkehr zur Nitratbelastung von Gewässern bei [7]. In diesem Zusammenhang wurde Deutschland 2016 von der EU-Kommission beim Europäischen Gerichtshof (EuGH) verklagt und 2018 aufgrund zu hoher Nitrat-Belastungen in vielen Regionen des Landes vom EuGH verurteilt [8]. Die Stickstoffproblematik ist damit ein hochrelevantes Thema in Politik, Gesellschaft und Wissenschaft, aber auch für die Bildung nachhaltiger Entwicklung.

Die Stickstoffproblematik im Unterricht

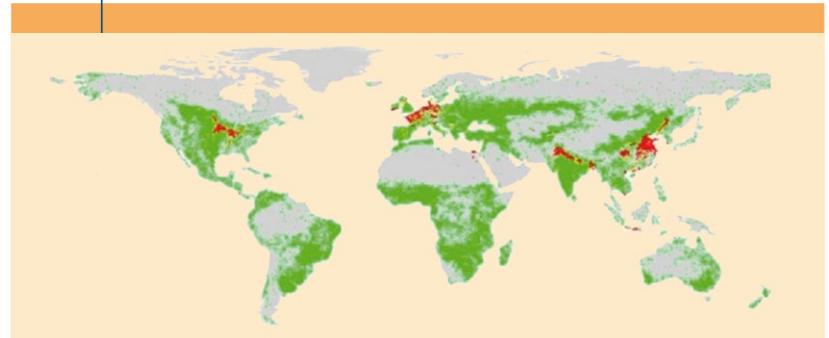
Die Betrachtung der Stickstoffproblematik ist in erster Linie im Bereich der gymnasialen Oberstufe anzusiedeln und bietet dabei vor allem Anknüpfungspunkte in den Fachbereichen der Chemie und Biologie. Inhalte wie der Stickstoffkreislauf und die Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren sollen unter dem Aspekt der Bedeutung und Gefährdung einer nachhaltigen Entwicklung erläutert werden. Dabei gilt es auch, Störungen des Stickstoffkreislaufs und damit einhergehende Probleme wie die Nitratproblematik und Eutrophierung zu thematisieren [9–12].

Ausgehend von den im Stickstoffkreislauf beschriebenen Aufnahme- und Verteilungswegen sind als Basis die wichtigsten Stickstoffverbindungen anzusprechen. Hierbei ist vor allem die Abgrenzung molekularen Stickstoffs zu reaktiven Stickstoffverbindungen hervorzuheben.

Anthropogene Einflüsse stellen eine Störung des Stickstoffkreislaufs dar und sind in Abbildung 3 farblich gekennzeichnet. Biotische (z. B. durch stickstoff-fixierende Bakterien) und abiotische (z. B. durch Blitze) Stickstoff-Fixierung werden durch den Menschen um die industrielle Stickstoff-Fixierung ergänzt. Hierbei spielt das seit Anfang des 20. Jahrhunderts verwendete Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniaksynthese eine wesentliche Rolle. Insbesondere durch die Düngemittelherstellung gelangen erhebliche Mengen reaktiver Stickstoffverbindungen in das Ökosystem. Daneben werden durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe Stickoxide gebildet, was vor allem in Großstädten zu einer Belastung der Luftqualität führen kann.

In der Atmosphäre wirken Stickoxide zudem als Treibhausgase (*C) oder gelangen über Niederschläge als Nitrate

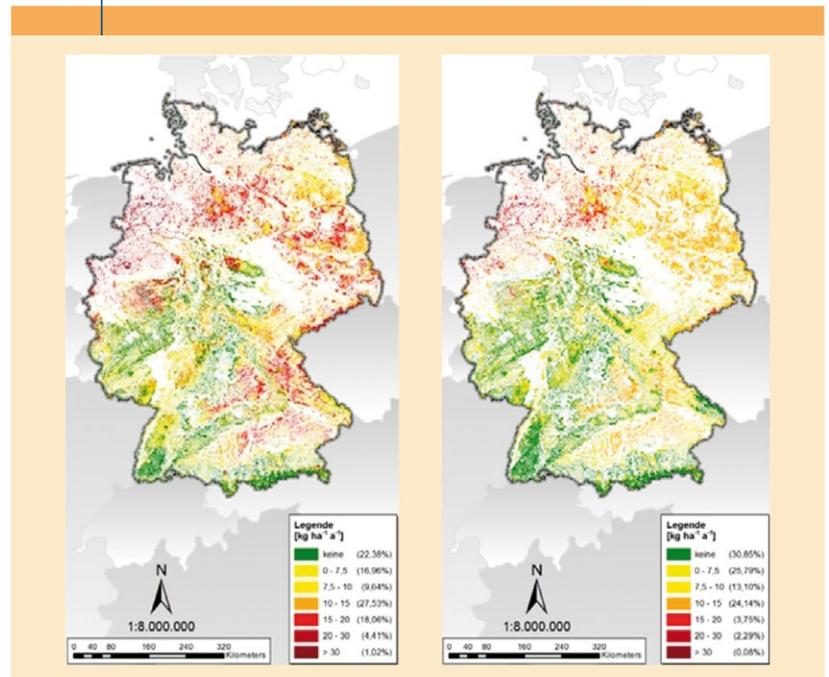
ABB. 1 | KONTROLLVARIABLE STICKSTOFF



Subglobale Verteilung und aktueller Status der Kontrollvariable (Stickstofffixierung und Düngeraustragung) für Stickstoff [3].

- **sicherer Handlungsraum verlassen; hohes Risiko gravierender Folgen;**
- **sicherer Handlungsraum verlassen; erhöhtes Risiko gravierender Folgen;**
- **Menschheit agiert im sicheren Handlungsraum;**
- **Belastbarkeitsgrenze nicht definiert.**

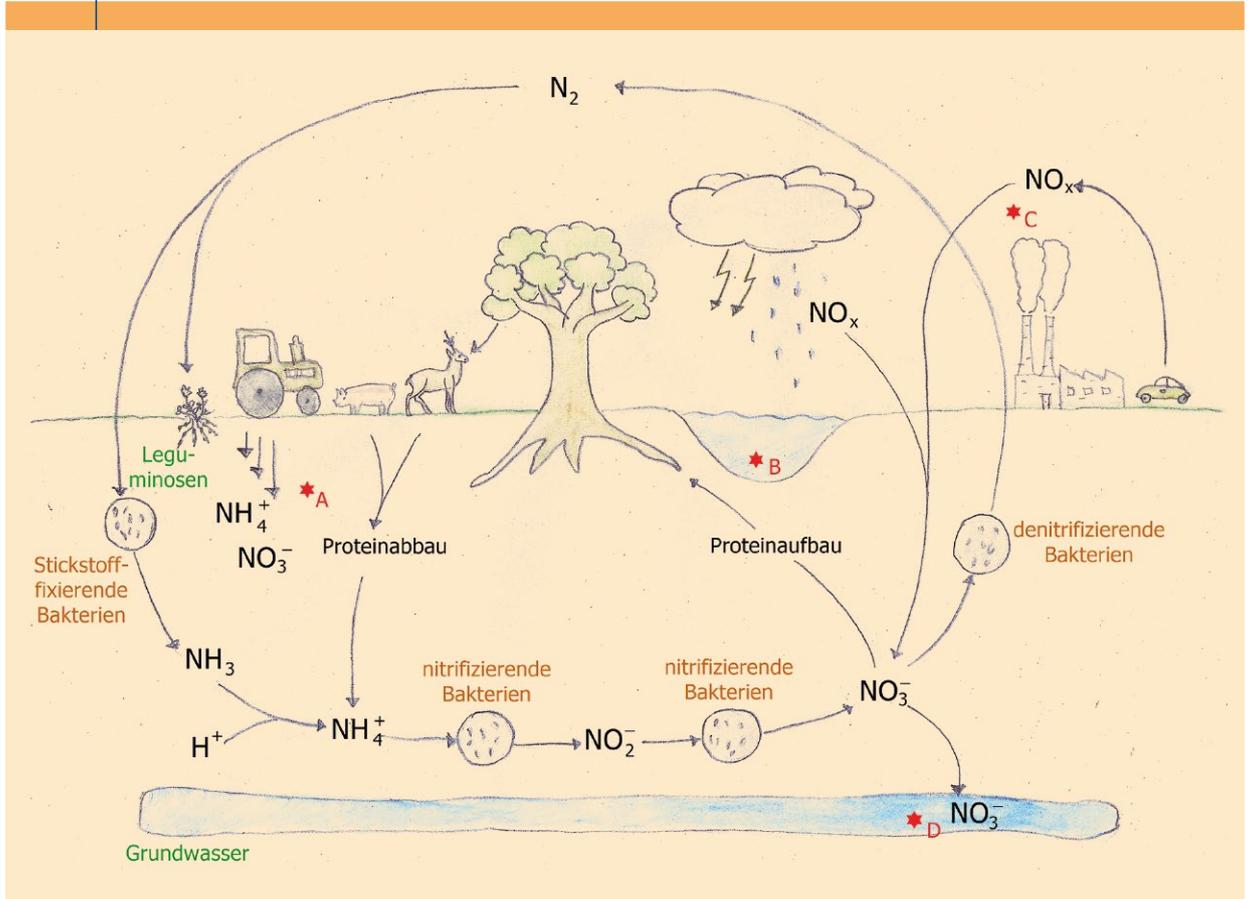
ABB. 2 | ÜBERSCHREITUNG DER BELASTUNGSGRENZEN



Überschreitung der ökologischen Belastungsgrenzen für eutrophierenden Stickstoff in Deutschland [5].

in den Boden. Übersteigen die Einträge reaktiver Stickstoffverbindungen die Aufnahmekapazität der Pflanzen, kann der Boden versauern (*A). In Oberflächengewässern kann der Nährstoffüberschuss zu einem verstärkten Algenwachstum und schlimmstenfalls zu einer Eutrophierung des Gewässers führen (*B). Zuletzt kann auch das Grundwasser von einer Nitrat-Belastung betroffen sein, was aufgrund seiner großen Relevanz als Hauptentnahmequelle für die Trinkwasserbereitstellung besonders häufig in den Medien thematisiert wird. Während Ammonium-Ionen im Boden relativ gut adsorbiert werden, wird überschüssiges Nitrat, das nicht mehr von denitrifizierenden Bakterien zu molekularem

ABB. 3 | VEREINFACHTE DARSTELLUNG DES STICKSTOFFKREISLAUFES MIT ANTHROPOGENEN EINFLÜSSEN



VERSUCH 1: ADSORPTION VON AMMONIUM- UND NITRAT-IONEN IM BODEN (ABBILDUNG 4)

Geräte und Chemikalien: Glasgefäß (z. B. Marmeladenglas, ca. 100 – 300 mL, Plastikflasche sollte kopfüber stabil in der Glasöffnung stehen), Plastikflasche (500 mL), Nagel, Schere, Filterpapier, Messzylinder (100 mL), Wasserprobe mit einem Ammonium- und Nitratgehalt zwischen 100 und 300 mg/L, Kies, Sand, Ammonium-Teststäbchen, Nitrat-Teststäbchen

Durchführung: Zunächst wird mithilfe des Ammonium- und Nitrat-Tests (einfache Teststäbchen genügen) halbquantitativ der Ammonium- und Nitratgehalt der Wasserprobe bestimmt. Mithilfe der Schere wird der Boden der Plastikflasche entfernt. Außerdem wird mit dem Nagel vorsichtig ein Loch in den Flaschendeckel gebohrt. Danach wird ein Filterpapier passend zurechtgeschnitten, in den Flaschendeckel gelegt und die Flasche verschlossen. Die Flasche wird kopfüber auf ein Glas gestellt und es werden zuerst eine Schicht Sand und anschließend eine Schicht Kies hineingegeben. Nun wird etwa 100 mL der Wasserprobe in die Flasche gegeben und das verbleibende Filtrat mit dem Glas aufgefangen. Zum Schluss werden erneut der Ammonium- und Nitratgehalt der Probe bestimmt.

Auswertung: Mit dem Kies-Sand-Filter werden vereinfacht verschiedene Bodenschichten nachgestellt, die das Wasser durchläuft, bevor es in der Grundwasserzone gesammelt wird. Relativ große Ammonium-Ionen werden vom Boden adsorbiert, während Nitrat-Ionen größtenteils in das Grundwasser ausgewaschen werden.



Abb. 4 Vorbereitung der Plastikflasche

VERSUCH 2: AUSWIRKUNG VON STICKOXIDEN AUF PFLANZEN UND LUFTREINIGUNG DURCH MOOS

Geräte und Chemikalien: 4 Schnapdeckelgläser (30 mL) oder kleine Bechergläser, Folie (Frischhaltefolie oder Parafilm), Gummibänder, Klebefilm (z. B. Tesafilm), 2 Spritzen mit je 30 mL Stickoxid-Gas, 2 Spritzen mit je 1 mL Saltzman-Reagenz, Kresse, Moos

Durchführung: In zwei der Schnapdeckelgläser wird etwas Moos und in zwei weitere eine äquivalente Menge Kresse gegeben. Anschließend werden die Schnapdeckelgläser mit Folie abgedeckt und diese mithilfe von Gummibändern oder Klebefilm fixiert. Durch die Spritze werden in je ein Schnapdeckelglas mit Kresse beziehungsweise Moos 30 mL des Stickoxid-Gases eingeleitet. Die beiden übrigen Gläser dienen als Vergleich und werden nicht mit Stickoxid-Gas versetzt. Die Einstichstelle der Folie wird mit Klebefilm verschlossen, anschließend wird mindestens 30 Minuten abgewartet. Danach werden jeweils 1 mL Saltzman-Reagenz in die beiden Schnapdeckelgläser mit den hinzugefügten Stickoxiden gegeben und die Verfärbung beobachtet.

Auswertung: Einige Pflanzen, darunter Kresse, können durch

Stickoxide geschädigt werden, insbesondere dann, wenn zu hohe Stickoxid-Konzentrationen zu einem Wasserverlust der Pflanze führen [15]. Andere Pflanzen sind wiederum in der Lage, Stickoxide als Nährstoffe aufzunehmen und damit als Dünger zu nutzen. Vor allem Moose ziehen mit ihrer großen Oberfläche einen Großteil ihrer Flüssigkeit und Nährstoffe aus der Luft und eignen sich daher zur Reduktion der Stickoxid-Konzentration in der Luft [16].

Sicherheitshinweise: Für Stickoxide gilt ein Tätigkeitsverbot für Schüler. Die Stickoxide müssen daher von der Lehrkraft hergestellt und in die Schnapdeckelgläser gegeben werden.

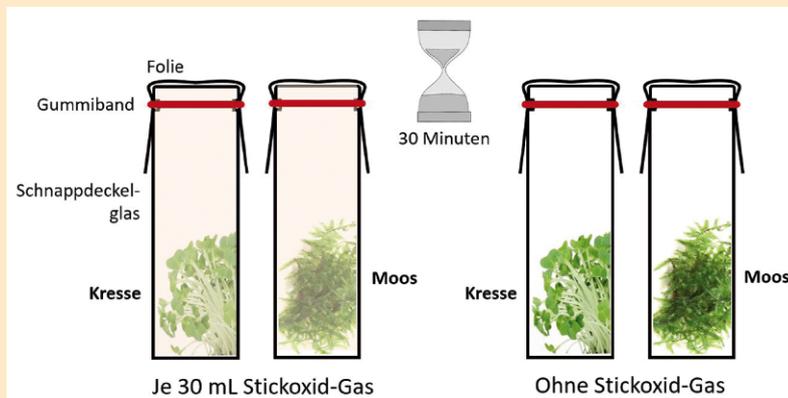


Abb. 5 Auswirkungen von Stickoxiden und Luftreinigung durch Pflanzen

Stickstoff reduziert werden kann, in tiefere Erdschichten und schließlich ins Grundwasser ausgewaschen (*D) [13].

Die Auswaschung von Nitrat ins Grundwasser lässt sich anhand von Versuch 1 näher untersuchen.

Dieser Versuch wurde bereits vielfach in Schülerlaboren verschiedener Jahrgangsstufen eingesetzt. In der Sekundarstufe II lassen sich vertiefend Ursachen für die erhöhte Nitratbelastung unserer Böden und Oberflächengewässer, die letztendlich in eine Belastung des Grundwassers resultieren kann, herausarbeiten. Daneben ist aufgrund der einfachen Handhabung des Versuches auch eine Durchführung in der Sekundarstufe I möglich. Vereinfachte Betrachtungen von Kreisläufen in Ökosystemen sowie die Auswirkungen auf die Umwelt und eine Einschätzung der eigenen Handlungsmöglichkeiten sind beispielsweise Bestandteil niedersächsischer Curricula an Integrierten Gesamtschulen [14].

Ein wesentlicher Aspekt in der Auseinandersetzung mit der Stickstoffproblematik hinsichtlich der Nitratbelastung von Gewässern sollte eine Diskussion durch die Schüler sein. Im Rahmen von Seminarfächern der Sekundarstufe II wurde dies bereits mehrfach in Form einer Podiumsdiskussion durchgeführt, wobei sich die Chance ergibt, fachlich erworbenes Wissen bei gleichzeitiger Betrachtung verschiedener gesellschaftlicher Perspektiven anzuwenden. In der Vorbereitung für die Podiumsdiskussion werden von den Schülern gruppenweise Rollen eingenommen, um verschiedene Positionen (Umweltschutzaktivisten, Landwirte, Ärzte, Wasserverband, Politiker oder Verbraucher) zu verkörpern. Als Unterstützung dienen verschiedene Texte,

Artikel, Sprachaufnahmen und Videos, die den Schülern zur Verfügung gestellt und durch eigene Recherchen ergänzt werden können. Hervorzuheben ist hierbei, dass es sich bei den unterstützenden Materialien nicht um fiktive Darstellungen, sondern um echte Statements der jeweiligen Verbände und Parteien handelt. Die Rolle der Verbraucher nimmt eine besondere Stellung ein, da sie als Publikum agieren und im Namen von Bürgern kritische Fragen aufwerfen können. Diese Art der Auseinandersetzung mit der Thematik hilft den Schülern zum einen, aus der Rolle des Verbrauchers auszusteigen und andere gesellschaftliche und wirtschaftliche Interessen nachzuvollziehen. Zum anderen können eigene Einflussmöglichkeiten erarbeitet und darauffolgend eigene Verhaltensweisen kritisch reflektiert werden.

Ein weiteres, in den Medien stark präsent Thema, sind Stickoxide und damit einhergehende Auswirkungen für Mensch und Umwelt. An dieser Stelle bietet sich Versuch 2 an.

Ausgehend von diesem Versuch können die Schüler nicht nur die Wirkung von Stickoxiden auf Pflanzen, sondern auch den Einfluss des Menschen und die Auswirkungen auf diesen beleuchten und mögliche Gesundheitsrisiken identifizieren. Daneben liegt auch hier ein wesentlicher Aspekt darin, potenzielle Handlungsstrategien zu erkennen und zu diskutieren. Hierzu gehören neben reaktiven Maßnahmen wie Versuchsansätze durch gezielte Moosbepflanzung [16] vor allem präventive Handlungsmöglichkeiten wie der Ausbau und die Nutzung umweltverträglicherer Verkehrsmittel.

ABB. 6 | PERSÖNLICHER STICKSTOFF-FUSSABDRUCK



Ausschnitt des N-Calculators zur Berechnung des persönlichen Stickstoff-Fußabdrucks [19]

Da die Stickoxide im Versuch zuvor von der Lehrkraft hergestellt wurden, muss auf die Frage der Herkunft von Stickoxiden in unserer Umwelt genauer eingegangen werden. Aufhänger kann hier der seit 2015 weltweit bekannte Abgasskandal durch die Manipulation an Dieselmotoren seitens verschiedener Automobilhersteller sein [17]. Dieser Skandal kann als Diskussionsgrundlage herangezogen werden, um wirtschaftliche, politische und ökologische Sichtweisen zu reflektieren und darüber hinaus Ausgangspunkt für die Suche nach Reduktionsstrategien, zum Beispiel die Einspritzung von AdBlue im SCR-Katalysator, sein [18].

Konkretes Material zur Podiumsdiskussion über die Nitratbelastung von Gewässern, der Diskussion des Abgasskandals sowie zu den beiden Experimenten, darunter Arbeitsblätter sowie Versuchsvorschriften zur Herstellung der Wasserprobe, des Saltzman-Reagenz und der Stickoxide, finden Sie online in den *Supporting Information* unter www.chiuz.de bei diesem Aufsatz.

Als Vorbereitung auf eine tiefergehende Diskussion der Stickstoffproblematik, sei es mit einem Fokus auf der Nitratbelastung oder den Stickoxiden, bietet es sich an, den persönlichen „Stickstoff-Fußabdruck“ zu untersuchen. Hierfür wurde von einem internationalen Forscherteam ein webbasierter Rechner entwickelt, der unter www.n-print.org abgerufen werden kann. Er ermittelt auf Basis des angegebenen Konsumverhaltens alle Emissionen reaktiven Stickstoffs (Abbildung 6) [19].

Je nach Datengrundlage können die Werte von anderen Berechnungen abweichen, liefern aber trotzdem einen hilfreichen Überblick darüber, wie sich das persönliche Verhalten auf die Freisetzung reaktiver Stickstoffverbindungen auswirkt. Hier zeigt sich, dass alltägliche Dinge wie der Lebensmittelkonsum sowie die Nutzung von Energieträ-

gern eine wesentliche Rolle spielen. Durch den Konsum tierischer Eiweiße, etwa durch Rind- oder Schweinefleisch, wird im Vergleich zu pflanzlichen Eiweißen beispielweise eine wesentlich größere Menge reaktiven Stickstoffs freigesetzt [19, 20]. Neben der Wahl der Lebensmittel ist auch der Umgang mit Lebensmitteln an sich zu reflektieren. Allein in Deutschland fallen jährlich etwa elf Millionen Tonnen an Lebensmittelabfällen an, wobei mit einem Anteil von 61 % ein Großteil der Abfälle durch private Haushalte produziert wird [21]. Da ein beträchtlicher Teil dieser Abfälle vermeidbar wäre, können an dieser Stelle Ursachen und Handlungsstrategien zur Vermeidung von Lebensmittelabfällen herausgearbeitet werden.

Die Stickstoffproblematik ist sehr vielschichtig und kann schnell in einseitige Schuldzuweisungen resultieren.

Daher ist es wichtig, diese Thematik multiperspektivisch zu betrachten und bereits in der Schule Aufklärung zu leisten und eigene Einflussmöglichkeiten abzuwägen. Die hier vorgestellten Unterrichtsinhalte ermöglichen eine Erarbeitung relevanter Themen für eine nachhaltige Entwicklung anhand konkreter Kontexte und leisten damit einen Beitrag zur Umsetzung der Nachhaltigkeitsziele der Vereinten Nationen. Durch die inhaltliche Erarbeitung in der Schule kann auch die gesellschaftliche Diskussion im Rahmen der Fridays-Future-Bewegung versachlichtet werden. In weiteren Beiträgen dieser Reihe werden die Themen Mikroplastik und Ernährung behandelt, die in der gesellschaftspolitischen Diskussion ebenfalls mehr und mehr Relevanz erhalten.

Supporting information

Zu diesem Aufsatz haben wir unter www.chiuz.de zusätzliches Material bereitgestellt. Rufen Sie online diesen Artikel auf und öffnen Sie die *Supporting Information*. Dort steht Ihnen kostenlos Material, darunter Arbeitsblätter und Versuchsvorschriften, zu den hier vorgestellten Experimenten zur Verfügung.

Zusammenfassung

Eine Vielzahl politischer Entschlüsse legen sowohl international als auch in Deutschland fest, Bildung für nachhaltige Entwicklung in den schulischen Kontext zu integrieren. Viele Initiativen wie Fridays For Future verdeutlichen darüber hinaus die Relevanz einer nachhaltigen Entwicklung in der heutigen Zeit. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, werden verschiedene Unterrichtsinhalte zum Thema Nachhaltigkeit in der Reihe „Fridays For Future und Schule?“ dargestellt und durch Experimente und entsprechendes Unterrichtsmaterial ergänzt. Dieser Beitrag behandelt Hinter-

gründe und Auswirkungen der Stickstoffproblematik. Konkrete Unterrichtsvorschläge anhand ausgewählter Experimente und Diskussionsleitfäden sollen den Lernenden zu einem tieferen Verständnis vor dem Hintergrund einer nachhaltigen Lebensweise befähigen.

Summary

Many political decisions determine that education for sustainable development should be integrated in school education. A number of initiatives such as Fridays For Future boost the relevance of sustainable development. In order to meet the resulting requirements, various teaching contents on the topic of sustainability are presented in the series "Fridays For Future and School?". This article focuses on backgrounds and effects of the nitrogen problem in Germany. Additionally, teaching suggestions are made including specific experiments and discussion guides to help students gaining a deeper insight of the nitrogen problem in the light of sustainability in our society.

Dank

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Förderung dieser Arbeiten.

Schlagwörter

Fridays For Future, Bildung für nachhaltige Entwicklung, Chemieunterricht, Experiment, Stickstoff

Literatur

- [1] Fridays For Future, *Unsere Forderungen für den Klimaschutz*, <https://fridaysforfuture.de/wp-content/uploads/2019/04/Forderungen-min.pdf>, 2019.
- [2] C. Zowada, O. Gulacar, A. Siol und I. Eilks, *Unterricht Chemie* 2019, 32–37.
- [3] 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, *Science* 2015, 347, 1259855.
- [4] UNECE, *Protocol concerning the Control of Emissions of Nitrogen Oxides – Air Pollution – Environmental Policy*, 1998.
- [5] M. Schaap, C. Hendriks, R. Kranenburg, J. Kuenen, A. Segers, A. Schlutow, H.-D. Nagel, A. Ritter und S. Banzhaf, *PINETI-3: Modellierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystem-spezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland*, 2018.
- [6] A. Kayser, *Grundwasserbericht Niedersachsen – Kurzbericht 2018 – Grundwasserstand sowie Güteparameter Nitrat und Phosphat*, 2018.
- [7] F.-D. Kopinke, K. Mackenzie, R. Köhler, A. Georgi, U. Roland und H. Weiß, *Chemie Ingenieur Technik* 2003, 75, 329–339, <https://doi.org/10.1002/cite.200390068>
- [8] Europäischer Gerichtshof, *Vertragsverletzung eines Mitgliedstaats – Richtlinie 91/676/EWG – Art. 5 Abs. 5 und 7 – Anhang II Teil A Nrn. 1 bis 5 und 5 – Anhang III Nr. 1 Ziff. 1 bis 3 und Nr. 2*, 21.06.2018.
- [9] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport, *Bildungsplan des Gymnasiums Biologie Baden-Württemberg*, 2016.
- [10] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport, *Bildungsplan des Gymnasiums Chemie Baden-Württemberg*, 2016.
- [11] Niedersächsisches Kultusministerium, *Kerncurriculum für das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe Biologie Niedersachsen*, 2017.
- [12] Niedersächsisches Kultusministerium, *Kerncurriculum für das Gymnasium – gymnasiale Oberstufe Chemie Niedersachsen*, 2017.
- [13] W. K. Purves, *Biologie*, 9. Aufl., Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 2011.

- [14] Niedersächsisches Kultusministerium, *Kerncurriculum für die Integrierte Gesamtschule Schuljahrgänge 5 – 10 Naturwissenschaften*, 2012.
- [15] St. Smidt, *Wirkungen von Luftschadstoffen auf Pflanzen unter besonderer Berücksichtigung von Waldbäumen*, Wien, 2008.
- [16] Regierungspräsidium Stuttgart, *Luftreinhalteplan für den Regierungsbezirk Stuttgart. Teilplan Landeshauptstadt Stuttgart: 3. Fortschreibung des Luftreinhalteplanes zur Minderung der PM10- und NO₂-Belastungen*, 2018.
- [17] Q. Schiermeier, *Nature* 2015, 45, 8575, <https://doi.org/10.1038/nature.2015.18426>
- [18] *Chem. Unserer Zeit* 2006, 40, 147–149, <https://doi.org/10.1002/ciuz.200690017>
- [19] N-Print, *Nitrogen Footprint*, <http://www.n-print.org/>, 2011.
- [20] Umweltbundesamt, *Reaktiver Stickstoff in Deutschland*, 2014.
- [21] M. Kranert, G. Hafner, J. Barabosz, H. Schuller, D. Leverenz, A. Kölbig, F. Schneider, S. Lebersorger und S. Scherhauser, *Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland*, 2012.

Die Autoren



Mientje Lüsse, geb. 1993, studierte an der Universität Oldenburg Chemie und Englisch für Lehramt an Gymnasien und schloss 2019 mit dem „Master of Education“ ab. Seit 2019 ist sie wissenschaftliche Mitarbeiterin im Arbeitskreis von Verena Pietzner und fertigt ihre Dissertation über ein experimentelles Citizen-Science-Projekt zur Nitratbelastung von Gewässern an.



Frauke Brockhage, geb. 1995, studierte Physik und Mathematik für Lehramt an der Universität Oldenburg (2013–2018). Im Anschluss arbeitete sie am Projekt „Vom BAUKASTENSYSTEM zum Do-It-Yourself OPTIK-LABOR (myphotonics)“ der Ultrakurzzeitphysik der Universität Osnabrück mit, bevor sie in die Didaktik der Chemie wechselte. Hier promoviert sie seit 2019 zu einem Citizen-Science-Projekt zur Nitratbelastung und widmet sich dabei der Bildung für nachhaltige Entwicklung.



Verena Pietzner, geb. 1973, studierte Chemie und Mathematik für Lehramt an der Universität Bielefeld. Nach Promotion und Habilitation (2010) in Braunschweig wurde sie Professorin für Chemie und ihre Didaktik an der Universität Hildesheim; seit 2014 hat sie den Lehrstuhl für Didaktik der Chemie an der Universität Oldenburg inne. Seit Januar 2020 ist sie Vizepräsidentin für Studium, Lehre und Internationales der Universität Oldenburg.



Marco Beeken studierte Chemie und Biologie für das Gymnasiallehramt in Oldenburg. Nach der Promotion im Jahr 2010 im Arbeitskreis von Ilka Parchmann an der Universität Oldenburg war er nach dem Referendariat in Wildeshausen als Studienrat in Rhauderfehn und Cloppenburg tätig. Seit August 2015 ist er Professor für Chemiedidaktik am Institut für Chemie neuer Materialien der Universität Osnabrück.

Korrespondenzadresse

Mientje Lüsse
Institut für Chemie – Didaktik der Chemie
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Carl-von-Ossietzky-Straße 9-11
26129 Oldenburg
E-Mail: mientje.luesse@uol.de