

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

Abschlussbericht

Aktenzeichen: 34540

Verfasser: Mientje Lüsse (mientje.luesse@uni-oldenburg.de)
Frauke Brockhage (fbrockhage@uni-osnabrueck.de)

Institution: Universität Osnabrück, Didaktik der Chemie
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg, Didaktik der Chemie

Abteilungsleiter:in: Prof. Dr. Verena Pietzner (verena.pietzner@uni-oldenburg.de)
Prof. Dr. Marco Beeken (marco.beeken@uni-osnabrueck.de)

Berichtszeitraum: Dezember 2018 – Juni 2022

Ort: Oldenburg, Osnabrück

gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Projektblatt

06/02		Projektkennblatt der Deutschen Bundesstiftung Umwelt			
Az	34540	Referat	41	Fördersumme	297.466 € + 24.127 €
Antragstitel		Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern			
Stichworte		Citizen Science, Nitratbelastung, Monitoring von Gewässern, Heimexperimente, Wanderausstellung			
Laufzeit		Projektbeginn		Projektende	
38 + 6 Monate		12.12.2018		30.09.2022	
Projektphase(n)				4	
Zwischenberichte		Juni 2019 Dezember 2020		Dezember 2019 Juni 2021 Dezember 2021	
Bewilligungsempfänger		Universität Oldenburg Prof. Dr. Verena Pietzner Institut für Chemie, Didaktik der Chemie Ammerländer Heerstr. 114-118 26129 Oldenburg seit 01.01.2022: Präsidentin, Universität Vechta		Tel 0441 / 798-3833 Fax 0441 / 798-3691 Projektleitung Verena Pietzner, Marco Beeken Bearbeiter Mientje Lüsse, Frauke Brockhage	
Kooperationspartner		Universität Osnabrück Institut für Chemie neuer Materialien, Abt. Didaktik der Chemie Prof. Dr. Marco Beeken Barbarastr. 7 49069 Osnabrück			

Zielsetzung und Anlass des Vorhabens

Mit dem globalen Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum steigt auch der Verbrauch von Rohstoffen, Flächen und Energie (Faulstich et al. 2015). Durch den Menschen werden natürliche Stoffkreisläufe beeinflusst, darunter auch der Stickstoffkreislauf. Der dadurch erhöhte Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen in Luft, Boden und Wasser stellt eine erhebliche Belastung von Ökosystemen dar, die sich beispielsweise in der Eutrophierung von Gewässern und Versauerung von Böden zeigt (Faulstich et al. 2015). Ein Großteil der anthropogenen Stickstoffemissionen ist in Deutschland auf die Landwirtschaft, den Verkehr, die Energieumwandlung und Industrieprozessen zurückzuführen. Dazu kommt der menschliche Konsum, mit welchem stickstoffemittierende Prozesse der Abwasserbeseitigung, Reststoff- und Abfallwirtschaft einhergehen. Durch die landwirtschaftliche Produktion, insbesondere der Herstellung und Ausbringung stickstoffhaltiger Düngemittel, wird Ammoniak und Lachgas (N₂O) in die Atmosphäre emittiert, sowie Nitrat in die Hydrosphäre eingetragen. Durch den Verkehr und die Industrie werden bei Verbrennungsprozessen überwiegend Stickstoffoxide freigesetzt (Umweltbundesamt 2009b). Auch in Niedersachsen sind Gewässer, das Grundwasser eingeschlossen, von einer anthropogen verursachten Nitratbelastung betroffen. Im Jahr 2017 wurde der Nitrat-Grenzwert von 50 mg/L an 16 % der niedersächsischen Grundwasser-Messstellen überschritten. Belastungsschwerpunkte bilden dabei die Geestgebiete, in deren sandigen Böden das Niederschlagswasser schnell versickert und es zur Auswaschung von Nitrat in das Grundwasser kommt (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) 2020). Da das Grundwasser eine wesentliche Ressource für die Trinkwassergewinnung darstellt, müssen Trinkwasserversorger Maßnahmen ergreifen, um den Nitrat-Grenzwert, welcher für Trinkwasser ebenfalls bei 50 mg/L liegt, einzuhalten. Zu diesen Maßnahmen gehört das Ankaufen unbelasteten Trinkwassers oder die Nutzung von Wasser aus tieferen Grundwasserschichten, um dieses mit belastetem Wasser zu verschneiden und so den Grenzwert einzuhalten (Oelmann et al. 2017). Neben dem hohen Kostenaufwand haben

diese Maßnahmen den Nachteil, dass sie nur nachträglich angewandt werden können und damit keine Lösung des eigentlichen Problems, dem übermäßigen Nitratreintrag, darstellen. Eine langfristige Problemlösung muss präventiv ansetzen und die Freisetzung reaktiver Stickstoffverbindungen in die Umwelt reduzieren. Mögliche Maßnahmen wären hier eine spezifischere, dem Bedarf angepasste Düngung, die Verringerung des NO_x-Ausstoßes im Verkehr und die Verringerung der Gülledüngung. Darüber hinaus würde eine Veränderung des Konsumverhaltens, z. B. ein geringerer Konsum tierischer Eiweiße und das persönliche Fahrverhalten, eine Reduzierung des Stickstoffeintrags in die Umwelt erzielen (Umweltbundesamt 2009a).

Das Citizen Science-Projekt „Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern“ befasst sich mit dieser Stickstoffproblematik. Übergeordnet steht hierbei das Ziel, dass sich Bürger:innen umfassend und aktiv mit der Nitratbelastung in verschiedenen Gewässertypen auseinandersetzen.

Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Projekt gliedert sich in zwei Teilprojekte. Im Teilprojekt 1 ist aus umweltchemischer Sichtweise in den genannten Regionen ein flächendeckendes Nitrat-Monitoring über einen Zeitraum von 1,5 Jahren durchgeführt worden. Die Datengewinnung ist dabei über ein Citizen-Science-Vorhaben erfolgt: Nach einer öffentlichen Bekanntmachung des Projektes konnten sich interessierte Bürger:innen als Forschungsprojekt-Teilnehmer:innen anmelden. Schüler:innen verschiedener Gymnasien übernahmen dabei die Rolle von sog. Forschungspat:innen. Im Rahmen von Seminarfächern sollten sich die beteiligten Schüler:innen mittels diverser Formate intensiv in die Thematik einarbeiten und ein Monitoring-Set zur Erfassung der Nitratwerte kennenlernen, welches für einen Citizen-Science-Ansatz geeignet ist. Diese derartig ausgebildeten Forschungspat:innen haben die beteiligten Bürger:innen hinsichtlich der Anwendung des Sets unterstützt, damit diese das Monitoring durchführen konnten. Im weiteren Projektverlauf wurden die ermittelten Ergebnisse öffentlich präsentiert und in verschiedenen Formaten diskutiert (Ausstellungen, Diskussionsveranstaltungen, Lehrkräftefortbildungen, Schülerlabor-Tage etc.). Im Teilprojekt 2 wurde ein (Heim-)Experimentierset zum Stickstoffeintrag in Boden und Wasser entwickelt. Hier sollten Schüler:innen, aber auch interessierte Bürger:innen experimentell Möglichkeiten kennenlernen und diskutieren, wie die Nitratkonzentration in belastetem Wasser signifikant reduziert werden kann. Weiterhin sollte die Frage geklärt werden, ob und inwiefern sich die verschiedenen Möglichkeiten großtechnisch einsetzen lassen könnten und welche ökologischen und wirtschaftlichen Folgen zu erwarten wären. Im Sinne eines aktiven Umwelthandelns sollte ebenfalls der Fokus darauf gelenkt werden, was Bürger:innen in ihrem Umfeld konkret tun können, um den Nitratreintrag in die Umwelt zu reduzieren. Das geplante Projekt setzte in beiden Teilprojekten auf eine intensive Einbindung verschiedener Institutionen und Interessensvertretungen. So haben beispielsweise der NLWKN und der Kreislandvolkverband Cloppenburg aktiv am geplanten Vorhaben teilgenommen.

Ergebnisse und Diskussion

In beiden Teilprojekten sowie den gemeinsam durchgeführten Aktivitäten konnte das Potenzial des Citizen Science-Ansatzes sowie der Ergänzung durch Heimexperimentierboxen gezeigt werden.

In Teilprojekt 1 wurden anhand der Monitorings zeitliche und räumliche Einflüsse auf die Nitratbelastung untersucht und evidenzbasiert nachgewiesen. Obgleich die beprobten Messstellen kein repräsentatives Messnetz gebildet haben, geben die Daten einen Überblick über die Nitratbelastung in der beprobten Region und weisen eine gute Übereinstimmung mit anderen Messinitiativen auf. Die Nitrat-Teststäbchen haben sich in einer Begleituntersuchung als geeignete Methode zur großflächigen, kostengünstigen Untersuchung der Nitratbelastung von Gewässern herausgestellt. Eine Verbesserung kann gegebenenfalls durch die Kombination der Teststäbchen mit einem kostengünstigen Farbsensor erreicht werden. Insgesamt konnte der angewandte Citizen Science-Ansatz als innovative, geeignete Methode zur Gewässerschutzforschung und zum Monitoring verschiedener Gewässertypen, insbesondere in nicht oder wenig beprobten Gebieten, bewertet werden.

Die im zweiten Teilprojekt konzipierte Stickstoff-Box wurde von den Teilnehmer:innen des Citizen Science-Projektes im Rahmen einer ersten, quantitativen Begleitstudie positiv bewertet. Aufgrund der Heterogenität der Zielgruppe sollte zukünftig jedoch noch stärker auf eine Eignung für eine breit gefächerte Lerngruppe geachtet werden. Eine anschließende qualitative Begleitstudie zeigte, dass der Einsatz von Heimexperimenten insgesamt eine gute Möglichkeit bietet, vor allem fachliche Inhalte zu vertiefen und die Bürger:innen zum Austausch anzuregen. Teilweise zeigten die Teilnehmer:innen, welche die Experimente aus der Stickstoff-Box durchgeführt haben, eine erhöhte Bereitschaft, ihr eigenes Verhalten zu reflektieren.

Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation

Entsprechend der verschiedenen Zielgruppen des Projektes wurden verschiedene Medien für die Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation genutzt. Insgesamt wurden 6 Themenhefte veröffentlicht, in denen die Ergebnisse des Nitrat-Monitorings sowie verschiedene Materialien für die teilnehmenden Bürger:innen, Lehrer:innen und Schüler:innen und weitere interessierte Personen transparent, jedoch vereinfacht dargestellt werden. Die Ergebnisse des Nitrat-Monitorings wurden darüber hinaus über verschiedene Medien (Zeitungen, Radio, Fernsehen) geteilt sowie in einer Abendveranstaltung der Öffentlichkeit vorgestellt. Darüber hinaus fand bei der DBU-Geschäftsstelle ein Austausch mit anderen Citizen Science Projekten statt.

Um den wissenschaftlichen Mehrwert von Citizen Science sowie das Bildungspotenzial von Citizen Science festzuhalten, wurden mehrere wissenschaftliche Paper veröffentlicht. Ergänzend wurden Fachbeiträge auf zahlreichen Tagungen, national und international, in Form von Postern und Vorträgen präsentiert. Bislang sind 10 wissenschaftliche Publikationen aus dem Projekt hervorgegangen.

Fazit

Das durchgeführte Projekt bestätigt, dass der Citizen Science-Ansatz einen wertvollen Beitrag zur Gewässerschutzforschung leisten kann. Eine Ergänzung von Citizen Science-Projekten durch Heimexperimentierboxen zeigte sich als innovative Möglichkeit für eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Stickstoffproblematik sowie eine Sensibilisierung der Teilnehmenden. Das durchgeführte Citizen Science-Projekt kann damit nicht nur hinsichtlich des wissenschaftlichen Mehrwerts, sondern auch aufgrund der Sensibilisierung der Gesellschaft für die Stickstoffbelastung von Gewässern als gelungen bewertet werden.

Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	I
1. Zusammenfassung.....	1
2. Anlass und Zielsetzung des Projekts	2
3. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden.....	7
3.1 Zeitlicher Ablauf.....	7
3.2 Teilprojekt 1: Nitrat-Monitoring	8
3.3 Teilprojekt 2: Stickstoff-Box.....	16
3.4 Gemeinsame Arbeiten	23
3.4.1 Schülerlabore.....	23
3.4.2 Lehrerfortbildungen	24
3.4.3 Digitale Ausstellung	24
3.4.4 Lerneinheit zur Nitratproblematik.....	26
3.4.5 Diskussionsveranstaltungen	26
3.4.6 Weiteres.....	27
4. Ergebnisse	28
4.1 Teilprojekt 1: Nitrat-Monitoring	28
4.1.1 Ergebnisse: Validierung der Teststäbchen	30
4.1.2 Ergebnisse: Räumliche Verteilung der Probenahmestellen	31
4.1.3 Ergebnisse: Überblick über die Nitratbelastung.....	33
4.1.4 Ergebnisse: Einflüsse der Merkmale des Gewässers an der Probenahmestelle .	34
4.1.5 Ergebnisse: Räumliche Einflüsse	35
4.1.6 Ergebnisse: Jahreszeitliche Einflüsse.....	37
4.1.7 Ergebnisse: Vergleich mit weiteren Messinitiativen.....	38
4.1.8 Gesamtbewertung des Potenzials des Citizen Science-Ansatzes.....	39
4.2 Teilprojekt 2: Stickstoff-Box.....	40

4.2.1	Ergebnisse der Fragebogenstudie	40
4.2.2	Ergebnisse der Interviewstudie	42
4.3	Gemeinsame Arbeiten	44
4.3.1	Schülerlabore.....	44
4.3.2	Lehrerfortbildungen	45
4.3.3	Diskussionsveranstaltungen	45
4.3.4	Digitale Ausstellung und Lerneinheit zur Nitratproblematik.....	46
4.3.5	Weitere Arbeiten	46
5.	Diskussion	47
6.	Öffentlichkeitsarbeit	50
6.1	Tagungsbeiträge.....	52
6.2	Publikationen	53
7.	Fazit	56
8.	Literaturverzeichnis.....	58
9.	Elektronischer Anhang.....	63

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Planetare Leitplanken nach Steffen et al. (2015), Persson et al. (2022) und Wang-Erlandsson et al. (2022), erstellt von Azote for Stockholm Resilience Centre (2022).....	2
Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung des Stickstoffkreislaufes mit anthropogenen Einflüssen	4
Abbildung 3: Wesentlicher Aufbau des Citizen Science-Projektes	7
Abbildung 4: Begleitmaterialien für das Nitrat-Monitoring. Links und Mitte: Begleitheft 1; Rechts: Mess-Protokoll (eigene Abbildung mit Ausschnitten aus Brockhage et al. 2022e).	9
Abbildung 5: Ablauf eines Schülerforschungsprojektes zu Nitrat in Lebensmitteln (Abbildung aus Brockhage et al. 2021, zusammengestellt von Frauke Brockhage mit Abbildungen von der Schülerin J. Westendorf).....	10
Abbildung 6: Projektbegleitende Materialien zu Informationen über die Stickstoffproblematik. Links und Mitte: Begleitheft 2; Rechts: Digitale Ausstellung (eigene Abbildung mit Ausschnitten aus Brockhage et al. 2022c).	11
Abbildung 7: Projektbegleitende Materialien zu den Ergebnissen des Nitrat-Monitorings. Links und Mitte: Begleitheft 3; Rechts: Ausschnitt aus der Präsentation der öffentlichen Abendveranstaltungen (eigene Abbildung mit Ausschnitten aus Brockhage et al. 2022d).....	16
Abbildung 8: Darstellung der Ergebnisse in einer Online-Karte am Beispiel eines untersuchten Brunnens (Screenshot der Webseite https://www.home.uni-osnabrueck.de/fbrockhage/nitratmonitoring/map.html).	16
Abbildung 9: Die Stickstoff-Box, bestehend aus benötigten Materialien und Chemikalien sowie dem Begleit- und Experimentierheft.	17
Abbildung 10: Ausschnitt aus dem Begleitheft mit Exkurs zum Haber-Bosch-Verfahren.	18
Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Begleitheft mit Sachaufgabe und Experimenten zur bedarfsorientierten Düngung.	19
Abbildung 12: Ausschnitt aus dem Experimentierheft mit der Herstellung einer Wasserprobe zur Messung des Ammoniumgehalts.....	20
Abbildung 13: Ausschnitt aus dem Experimentierheft mit der Untersuchung der Nitratgehalte von Gemüse und Obst.....	21

Abbildung 14: Ausschnitt aus der digitalen Ausstellung.	25
Abbildung 15: Untersuchungsgebiet und Messstellen des Citizen Science-Projektes (eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten).	29
Abbildung 16: Validierung der Nitrat-Teststäbchen (eigene Abbildung mit Verwendung der Daten aus Rolf 2021).	30
Abbildung 17: Heatmap der Brunnenwasser-Probenahmestellen (Radius: 8,92 km, kernel shape: bi-quadratisch) (eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten).....	32
Abbildung 18: Nitratbelastung der beprobten Grundwasser-Probenahmestellen.	33
Abbildung 19: Nitratbelastung der beprobten Oberflächengewässer- und Regenwasser- Probenahmestellen.	34
Abbildung 20: Jahreszeitliche Schwankungen der Nitratbelastung von Probenahmestellen in den Gewässertypen Fließgewässer, stehende Gewässer und Brunnenwasser.....	37
Abbildung 21: Vergleich der Citizen Science-Daten mit den Daten des VSR- Gewässerschutz (eigene Abbildung mit Daten aus VSR-Gewässerschutz e.V. 2021).	38
Abbildung 22: Nitratbelastung der beprobten Grundwasser-Probenahmestellen.	39

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zeitlicher Ablauf des Citizen Science-Projekts	8
Tabelle 2: Hypothesen zu Einflüssen auf die Nitratbelastung der beprobten Gewässer	12
Tabelle 3: Anmeldezahlen, sortiert entsprechend verschiedener Anmeldeöglichkeiten	28
Tabelle 4: Kategorisierung der Nitratmessungen entsprechender der Ziel- und Grenzwerte für Grundwasser und Oberflächengewässer (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 1998; Bundesregierung 09.11.2010)	31
Tabelle 5: Besuch des Schülerlabors Sek. II	44
Tabelle 6: Besuch des Schülerlabors Sek. I	45
Tabelle 7: Angebotene Lehrerfortbildungen	45
Tabelle 8: Erfüllung der Teilziele des Citizen Science-Projektes	47
Tabelle 9: Beispiele der Medienresonanz zum Citizen Science-Projekt (inkl. Screenshots der angegebenen Webseiten)	50

Abkürzungsverzeichnis

BNE	Bildung für nachhaltige Entwicklung
LAWA	Länderarbeitsgemeinschaft Wasser
NLWKN	Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

1. Zusammenfassung

Das Citizen Science-Projekt „Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern“ hat die übergeordnete Zielsetzung verfolgt, dass sich Bürger:innen umfassend und aktiv mit der Thematik „Nitratbelastung in verschiedenen Gewässertypen“ auseinandersetzen. Es gliederte sich in zwei Teilprojekte, die von den Universitäten Osnabrück und Oldenburg durchgeführt wurden.

Mit dem Citizen Science-Ansatz wurde mithilfe von etwa 600 Bürger:innen und 200 Schüler:innen ein flächendeckendes Nitrat-Monitoring über 18 Monate in den Landkreisen Osnabrück, Vechta, Emsland und Cloppenburg durchgeführt (Teilprojekt 1, Universität Osnabrück). Hierbei wurden an über 540 Standorten mehr als 8700 Gewässerproben untersucht. Die erhobenen Messwerte wurden in Zusammenarbeit mit weiteren Institutionen ausgewertet, diskutiert und in verschiedenen öffentlichen Formaten präsentiert und diskutiert.

Außerdem wurde ein Heimexperimentier-Set, die Stickstoff-Box, entwickelt und erprobt (Teilprojekt 2, Universität Oldenburg). Mithilfe der Stickstoff-Box konnten zunächst Schüler:innen der Sekundarstufe II und später Bürger:innen die Problematik einer zu hohen Stickstoffbelastung von Böden und Gewässern sowie Möglichkeiten der Nitratentfernung aus Trinkwasser experimentell erkunden. Hierzu gehörten auch Experimente zum Eintrag und zur Auswaschung von Ammonium- und Nitratverbindungen in Böden und Gewässern. Im Rahmen der Stickstoff-Box erfolgte außerdem eine Aufarbeitung rechtlicher Rahmenbedingungen sowie Anregungen zur Reflexion der persönlichen Einflussmöglichkeiten der Bürger:innen auf die Stickstoffeinträge in die Umwelt.

In mehreren wissenschaftlichen Begleitforschungen wurde die Wirksamkeit der Teilnahme am Citizen Science-Projekt, insbesondere hinsichtlich der Nutzung der Stickstoff-Box, untersucht. Insgesamt hat sich gezeigt, dass mit dem Citizen Science-Projekt nicht nur eine große Anzahl an Messwerten generiert werden konnte, die einen bedeutenden Beitrag zur Gewässerschutzforschung geleistet haben, sondern das Projekt auch einen Beitrag zur Umweltbildung liefern konnte. Dabei wurden mit Schüler:innen, Lehrer:innen und Bürger:innen verschiedenste Zielgruppen angesprochen.

2. Anlass und Zielsetzung des Projekts

Aus dem Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum der Erde resultieren eine Vielzahl an globalen Herausforderungen. Diese entstehen insbesondere vor dem Hintergrund einer gesteigerten Nachfrage an Rohstoffen, Flächen und Energie, welche nur begrenzt zur Verfügung stehen (Faulstich et al. 2012). Zusätzlich stehen die Menschen durch die Folgen des Klimawandels, welche sich beispielsweise durch Extremwetterereignisse zeigen, vor dem Problem der gefährdeten Sicherung von Lebens- und Ernährungsgrundlagen (Brandt 2009). Zur Abschätzung des aktuellen ökologischen Zustands der Erde und der potenziellen Spielräume menschlichen Handelns haben Steffen et al. (2015) das Konzept der sogenannten *Planetaren Leitplanken* entwickelt, woran sich umweltbezogene Zukunftsszenarien hinsichtlich verschiedener ökologischer Belastbarkeitsgrenzen abschätzen lassen sollen. Wie in Abbildung 1 zu sehen, sind einige dieser Grenzen orange bis rot gekennzeichnet. Das heißt, dass ein sicherer Handlungsspielraum bereits verlassen wurde und folglich ein erhöhtes oder hohes Risiko gravierender Folgen besteht. Diese zeigen sich beispielweise hinsichtlich der Stabilität von Ökosystemen, welche zur Nahrungsmittelsicherstellung essenziell sind (Steffen et al. 2015; Wang-Erlandsson et al. 2022; Persson et al. 2022).

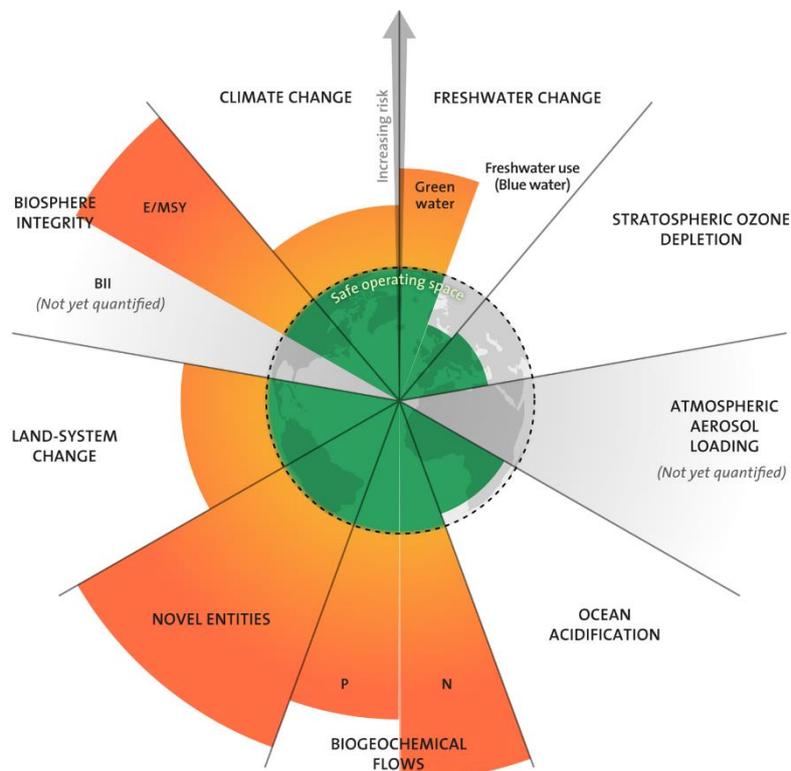


Abbildung 1: Planetare Leitplanken nach Steffen et al. (2015), Persson et al. (2022) und Wang-Erlandsson et al. (2022), erstellt von Azote for Stockholm Resilience Centre (2022)

Die biogeochemischen Flüsse befinden sich nach den planetaren Leitplanken bereits in einem rot gekennzeichneten Bereich, da hier die Grenze des sicheren Handlungsraumes deutlich überschritten wurde. Zu den biogeochemischen Flüssen gehört auch der Stickstoffkreislauf, der durch anthropogene Prozesse stark beeinflusst wird. Insbesondere aus der Nahrungsmittel- und Energiebereitstellung wird zunehmend reaktiver Stickstoff in die Atmosphäre freigesetzt. Dabei handelt es sich um Stickstoffverbindungen, die schnell in andere Stickstoffverbindungen umgewandelt werden können, beispielsweise Nitrat, Stickstoffoxide oder Ammonium. Da Pflanzen Stickstoff nur in dieser sogenannten fixierten Form des Stickstoffs aufnehmen können, sind diese Verbindungen ein essenzieller Bestandteil des natürlichen Stickstoffkreislaufes. Dort wird molekularer Stickstoff stufenweise mithilfe stickstofffixierender Bakterien in reaktive Stickstoffverbindungen umgewandelt und steht den Pflanzen auf diese Weise als Nährstoff zur Verfügung. Wird jedoch durch menschliche Einflüsse mehr Stickstoff freigesetzt als von den Pflanzen verwertet werden kann, kann dies erhebliche Folgen für Mensch und Umwelt haben. In Deutschland liegen Hauptemissionsquellen reaktiven Stickstoffs in industriell hergestellten Düngemitteln und im Straßenverkehr. Daraus resultierende Stickstoffüberschüsse können im Boden (*A, Abbildung 2) zu einer Versauerung führen. Zudem können stickstoffliebende Pflanzenarten wie Brennnesseln oder Löwenzahn andere Pflanzenarten, die auf stickstoffärmere Böden angewiesen sind, verdrängen. Diese Verdrängung wirkt sich langfristig negativ auf die Biodiversität aus. Der Verlust an Biodiversität zeigt sich auch in Oberflächengewässern (*B). Dort kann ein übermäßiger Stickstoffeintrag im schlimmsten Fall zur Eutrophierung des Gewässers führen, in welchem als Folge nur noch wenige Organismen leben können. Durch den Ausstoß an Stickstoffoxiden durch Industrie und Verkehr kann insbesondere in Stadtgebieten die Luftqualität (*C) beeinträchtigt werden. Stickstoffoxide können nicht nur eine negative Auswirkung auf die menschliche Gesundheit haben, sondern können sich auch mit Regenwasser zu Nitrat verbinden und in dieser Form in Oberflächengewässer und Böden transportiert werden. Langfristig kann überschüssiges Nitrat im Boden in tiefere Bodenschichten ausgewaschen und so ins Grundwasser (*D) gelangen. Nitrat im Grundwasser resultiert in Kosten und Mehraufwand bei der Trinkwasseraufbereitung (Hamacher et al. 2021; Galloway et al. 2003).

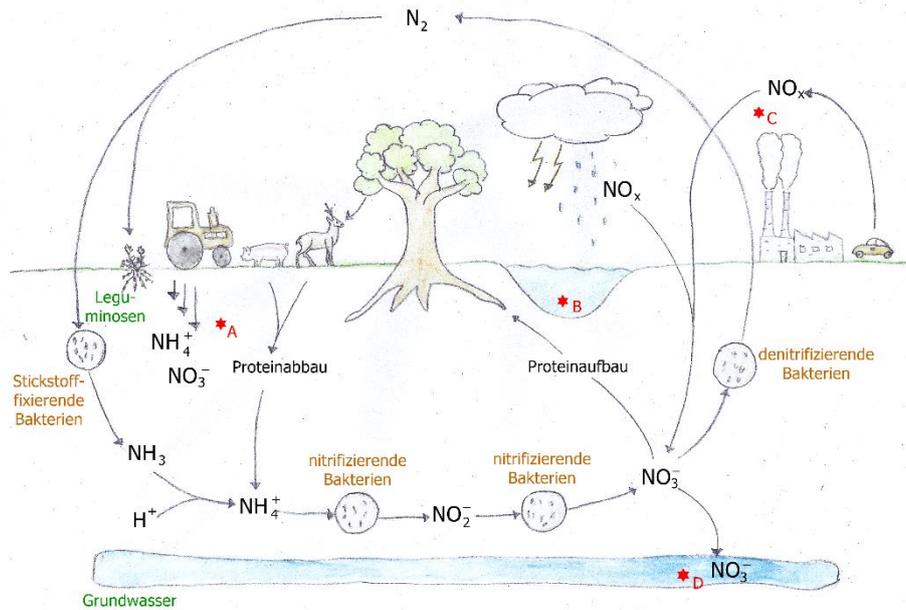


Abbildung 2: Vereinfachte Darstellung des Stickstoffkreislaufes mit anthropogenen Einflüssen

In Deutschland liegt der Grenzwert für Nitrat in Grundwasser bei 50 mg/L und wurde im Zeitraum von 2016 bis 2018 an 17,3 % der Grundwassermessstellen des EUA-Messnetzes überschritten (Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020). Ein Schwerpunkt der Nitratbelastung liegt dabei in Niedersachsen, insbesondere in den Geestgebieten des westlichen Niedersachsens, die sowohl stark durch landwirtschaftliche Bewirtschaftung geprägt sind als auch aufgrund der Bodenbeschaffenheit die Versickerung von Nitrat begünstigen (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) 2020). Auch in Oberflächengewässern, die hinsichtlich ihrer Gesamtstickstoffmenge (TN) bewertet werden, kann der Zielwert von 2,8 mg/L TN größtenteils nicht eingehalten werden (Landwirtschaftskammer Niedersachsen 2021).

Das Thema Nitrat und die Nitratbelastung von Gewässern nehmen in Niedersachsen in der gesellschaftlichen Diskussion einen großen Stellenwert ein. Durch mediale Berichterstattung verstärkte unreflektierte, einseitige Schuldzuweisungen zeugen jedoch von fachlicher Uninformiertheit seitens vieler Bürger:innen. Durch Überschriften wie „Landwirte bringen mehr Stickstoff aus, als das Gesetz erlaubt“ (Höber 2020) wird das Ansehen der Landwirt:innen geschädigt und Unmut, sowohl seitens unbeteiligter Bürger:innen als auch bei Landwirt:innen, gefördert (Gerlach 2020). Gleichzeitig ist das Interesse der Bürger:innen am Thema groß, vor allem wenn sie womöglich durch erhöhte Nitratwerte in privaten Brunnen selbst betroffen sind (Nitratbelastung im Grundwasser 2021).

Vor diesem Hintergrund ist von den Universitäten Oldenburg und Osnabrück das gemeinsame Citizen Science-Projekt *Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern* ins Leben gerufen worden. Im Rahmen dieses Projektes sollten Bürger:innen mithilfe von Teststäbchen Nitratwerte in Gewässern untersuchen und zudem die Möglichkeit der experimentellen Erarbeitung des Themas mit der sogenannten Stickstoff-Box erhalten. Dabei wurden sowohl fachwissenschaftliche Ziele als auch Bildungsziele verfolgt. Aus fachwissenschaftlicher Sicht ist vor dem Hintergrund der bestehenden Nitratbelastung im Nord-Westen Niedersachsen eine regelmäßige Überwachung der Nitratwerte verschiedener Gewässertypen wichtig. Dies geschieht in erster Linie durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), der beispielsweise regelmäßig im Grundwasserbericht über aktuelle Nitratwerte des Messnetzes berichtet (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) 2020). Im Rahmen des Citizen Science-Projektes ist daher die Frage verfolgt worden, welche Nitratwerte Bürger:innen in der Region messen, auch im Vergleich zu offiziellen Messwerten. Gleichzeitig sollten in diesem Zusammenhang die Möglichkeiten und Grenzen von Citizen Science, auch unter Berücksichtigung einer vereinfachten Messmethode, untersucht werden. Ein weiterer, wesentlicher Aspekt lag im Bereich der Bildung, insbesondere der Umweltbildung. Dabei stand die Frage im Fokus, inwiefern Citizen Science einen Beitrag zur Umweltbildung leisten kann. Insgesamt wurde zu Beginn des Projektes folgende zentrale Zielsetzung formuliert:

Die Projektteilnehmer:innen sollen sich umfassend mit der Thematik „Nitratbelastung in verschiedenen Gewässertypen“ auseinandersetzen, ein regional begrenztes Nitratmonitoring sowie verschiedene chemische Experimente zum Eintrag und zur Auswaschung von Ammonium- und Nitratverbindungen in Boden und Gewässer durchführen.

Diese zentrale Zielsetzung sollte durch verschiedene Teilziele erfüllt werden, die verschiedene Zielgruppen, darunter Bürger:innen, Schüler:innen und Lehrer:innen, adressieren:

- Informationsbeschaffung und Aufklärung über die Nitrat-Problematik in verschiedenen Gewässertypen
- Entwicklung von Ausstellungen zur Nitratthematik für verschiedene Personen- und Zielgruppen
- Monitoring/Bestimmung von Nitratwerten in verschiedenen Gewässertypen über einen Zeitraum von 1,5 Jahren

- Online-Kartographie der erhobenen Nitratwerte, aufgeteilt nach verschiedenen Gewässertypen
- Durchführung von verschiedenen Methoden zur Bestimmung von Nitratkonzentrationen in Gewässern (nasschemisch-quantitativ, halb-quantitativ, photometrisch) und Diskussion über Gütekriterien und Vor- und Nachteile der jeweiligen Verfahren
- Durchführung von Diskussionsveranstaltungen zur Nitratproblematik mit Expert:innen (insbesondere Diskussion der gewonnenen Monitoring-Ergebnisse)
- Entwicklung von (Modell-)Experimenten zur Reduktion der Nitratkonzentrationen in verschiedenen Gewässertypen (Experimentierset)
- Durchführung der Experimente aus der Stickstoff-Box
- Diskussion der Versuchsergebnisse in verschiedenen Diskussionsforen in den beteiligten Regionalen Umweltzentren
- Diskussion/Reflexion der eigenen Verhaltensweisen in Bezug auf eine Reduktion des Nitratreintrags in die Gewässer
- Information über verschiedene großtechnische Ansätze zur Reduktion des Nitratgehaltes im Trinkwasser (z. B. Ionentausch, umkehrosmotische Verfahren)
- Entwicklung von Ideen bzw. Handlungsempfehlungen, um den Nitratreintrag in die Umwelt nachhaltig zu reduzieren
- Kritische Reflexion und Auseinandersetzung zur heutigen Trinkwassernutzung
- Darstellung der zentralen Projektergebnisse in Medien und mithilfe innovativer Veranstaltungsformaten zur Wissenschaftskommunikation

3. Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden

Das Citizen Science-Projekt bestand aus mehreren Projekt- und Zielgruppen, die auf unterschiedliche Art und Weise am Projekt beteiligt waren (Abbildung 3). Zu diesen Gruppen gehörten die Universitäten Oldenburg und Osnabrück als Projektkoordination, ca. 200 Schüler:innen und ca. 600 Bürger:innen. Das Projekt wurde in zwei Teilprojekte aufgeteilt, wobei der Fokus im Teilprojekt 1 auf dem Nitrat-Monitoring und im Teilprojekt 2 auf der Stickstoff-Box lag. Darüber hinaus wurden in gemeinsamer Arbeit beider Universitäten zahlreiche Materialien für Schüler:innen, Lehrer:innen und Bürger:innen erstellt sowie Schülerlabore und Lehrerfortbildungen konzipiert und durchgeführt. Ein Beirat, in dem unter anderem Professor:innen verschiedener Universitäten, der NLWKN und der Kreislandvolkverband Cloppenburg und einige Lehrkräfte vertreten waren, hat das Projekt über den ganzen Projektzeitraum durch regelmäßige Treffen begleitet.

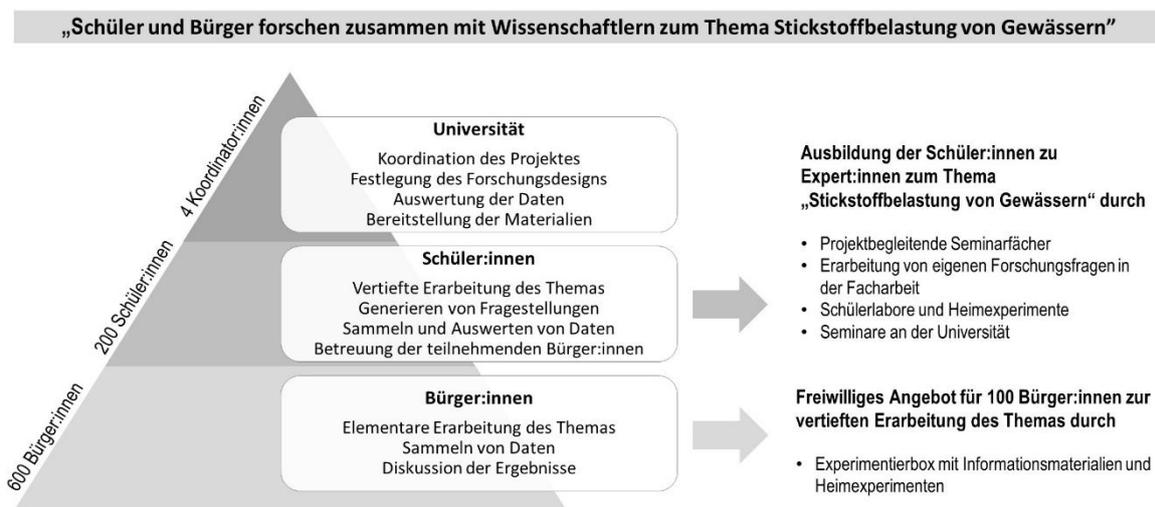


Abbildung 3: Wesentlicher Aufbau des Citizen Science-Projektes

3.1 Zeitlicher Ablauf

Um die in Kapitel 2 dargestellte Zielsetzung zu erreichen, wurden fünf Arbeitspakete gebildet, die innerhalb der beiden Teilprojekte oder gemeinsam bearbeitet wurden. Die Arbeitspakete gliedern sich in die vorbereitende Materialentwicklung, die Durchführung des Nitrat-Monitorings sowie begleitende Bildungsangebote in Form von Schülerlaboren, Lehrerfortbildungen und Ausstellungen. In Tabelle 1 wird die Zeitplanung des Projektes, angelehnt an diese Arbeitspakete, dargestellt, wobei der zunächst angestrebte Zeitplan aufgrund der Corona-Pandemie adaptiert sowie das Projekt um insgesamt 6 Monate verlängert wurde. Zeiträume, in denen ver-

schiedene Arbeitspakete nicht bearbeitet werden konnten, werden in der Tabelle in Rot dargestellt, entsprechende Verlängerungen in Grün. In Kapitel 5 werden die notwendigen Änderungen unter dem Kontext der erreichten Ziele diskutiert.

Tabelle 1: Zeitlicher Ablauf des Citizen Science-Projekts

	2019			2020				2021				2022		
Quartal	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3
AP 1: Materialentwicklung	■	■					■	■						
AP 2: Monitoring		■	■	■	■	■	■	→	→	→	→	■		
AP 3: Schülerlabor			■	■	■	■	■	→	→	→	→	→	→	■
AP 4: Fortbildungen					■	■	■	→	→	→	→	→	■	■
AP 5: Ausstellungen											■	■		
Begleitforschung	Citizen Science: Wirkung im Hinblick auf Kenntnisse und Einstellungen zum Gewässerschutz, NoS, NoSt, Selbstwirksamkeit Schülerlabor: Kenntnisse und Einstellungen zum Gewässerschutz, Umweltbildung											Abschlussauswertung, Publikationsvorbereitung		

Die dargestellten Arbeitspakete und zugehörige Arbeitsschritte werden in den folgenden Unterkapiteln konkretisiert.

3.2 Teilprojekt 1: Nitrat-Monitoring

Teilprojekt 1 fokussiert sich auf das Nitrat-Monitoring, bei dem ab September 2019 rund 600 Bürger:innen und 200 Schüler:innen gemeinsam mit Wissenschaftler:innen der Universität Osnabrück die Nitratbelastung verschiedener Gewässertypen (Fließgewässer, stehende Gewässer, Regenwasser, Brunnenwasser, Quellwasser) in den Landkreisen Osnabrück, Cloppenburg, Emsland und Vechta sowie der Stadt Osnabrück untersucht haben. Vorbereitend wurden von der Universität Osnabrück verschiedene Begleitmaterialien konzipiert sowie die Monitoring-Boxen zusammengestellt (siehe Abbildung 4).

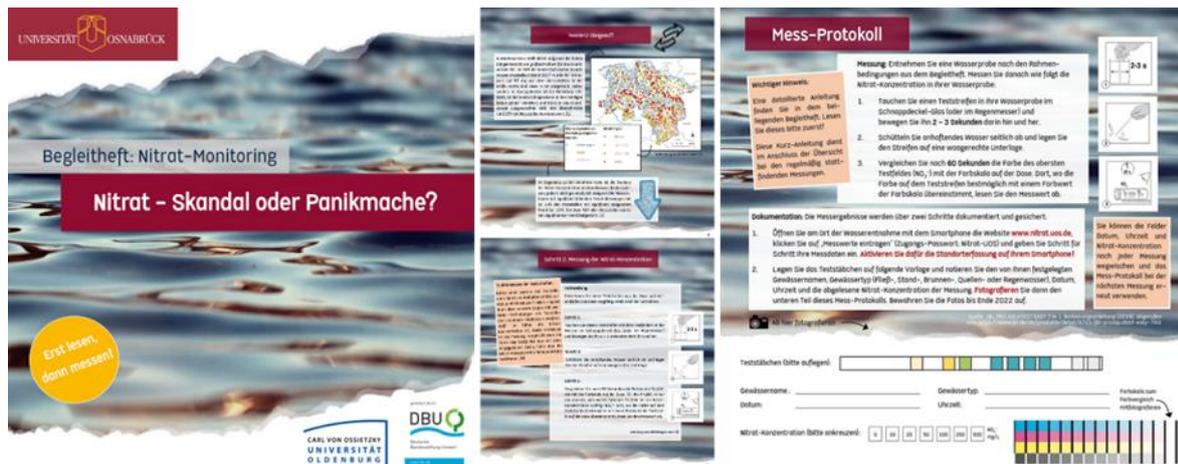


Abbildung 4: Begleitmaterialien für das Nitrat-Monitoring. Links und Mitte: Begleitheft 1; Rechts: Mess-Protokoll (eigene Abbildung mit Ausschnitten aus Brockhage et al. 2022e).

Parallel wurden im Sommer 2019 zwei Projekttreffen mit beiden Universitäten und den Lehrer:innen der teilnehmenden Seminarfächer von 12 Schulen aus der Region durchgeführt, in denen das Nitrat-Monitoring vorgestellt, mögliche Seminarfachthemen diskutiert, das Schülerlabor erprobt sowie eine Probe-Nitratmessung durchgeführt wurden. Die Lehrer:innen dienten sodann als Multiplikator:innen und haben wiederum die Schüler:innen in die Nitratmessung mit den verwendeten Teststäbchen eingewiesen. Die Schüler:innen, welche die jeweiligen Seminarfächer drei Schulhalbjahre von August 2019 bis Februar 2021 besucht haben, agierten im Citizen Science-Projekt als sogenannte Forschungspat:innen und haben die teilnehmenden Bürger:innen bei den Nitrat-Messungen betreut. Um zu Expert:innen auf dem Gebiet der Stickstoffbelastung von Gewässern zu werden, konnten die Schüler:innen in einem Schülerlabor (vgl. Kapitel 3.4.1) Eintragspfade, Messmethoden und Reduktionsmaßnahmen von Stickstoff in Gewässern experimentell erarbeiten, sich in ihrer Seminararbeit auf eine Fragestellung aus dem Bereich der Nachhaltigkeit fokussieren sowie an von den Wissenschaftler:innen angebotenen, digitalen Seminare zum Nitrat-Monitoring teilnehmen. In folgender Abbildung 5 wird exemplarisch der Forschungsprozess einer Schülerin zur Forschungsfrage „Welche Unterschiede ergeben sich hinsichtlich des Nitratgehalts in Gemüsesorten bezüglich ihrer Herkunft“ dargestellt.

Schülerteilprojekt des Nitrat-Monitorings (Gymnasium Damme)



Abbildung 5: Ablauf eines Schülerforschungsprojektes zu Nitrat in Lebensmitteln (Abbildung aus Brockhage et al. 2021, zusammengestellt von Frauke Brockhage mit Abbildungen von der Schülerin J. Westendorf).

Ab August 2019 wurde das Nitrat-Monitoring überregional über verschiedene Plattformen von den Wissenschaftler:innen (Radio, Fernsehen, Social Media, Zeitungen) sowie lokal von den Lehrer:innen und Schüler:innen beworben. Die interessierten Bürger:innen wurden von der Universität Osnabrück auf die teilnehmenden Projektschulen entsprechend ihrer Distanz zugeteilt, haben im Anschluss von ihrem Forschungspaten/ihrer Forschungspatin eine Monitoring-Box erhalten und wurden von diesem/dieser in die Messmethode eingewiesen.

Über 18 Monate haben die Bürger:innen im Anschluss zweiwöchentlich die Nitratbelastung eines Gewässers in ihrer Region gemessen. Mithilfe eines Fragebogens haben die Bürger:innen die beprobten Gewässer außerdem hinsichtlich verschiedener Gewässermerkmale (z. B. Brun-
nentiefe oder Breite des beprobten Fließgewässers) klassifiziert. Die erhobenen Messdaten wurden über eine Webseite an die Universität Osnabrück übermittelt und dort in mehreren Zwischenauswertungen begutachtet sowie ab März 2021 in die Endauswertung einbezogen. Um die Dauer der Datenauswertung zu überbrücken, konnten sich die Bürger:innen durch eine weitere Begleitbroschüre über weitere Aspekte der Stickstoffproblematik sowie übergeordnet einer nachhaltigen Entwicklung informieren. Darüber hinaus wurde eine digitale Ausstellung zur Stickstoffproblematik veröffentlicht (vgl. Kapitel 3.4.3, Abbildung 6).



Abbildung 6: Projektbegleitende Materialien zu Informationen über die Stickstoffproblematik. Links und Mitte: Begleitheft 2; Rechts: Digitale Ausstellung (eigene Abbildung mit Ausschnitten aus Brockhage et al. 2022c).

Kontrollschleifen und vorbereitende Untersuchungen: Vor der Endauswertung haben die Bürger:innen ihre eingegebenen Messdaten, die Koordinaten der Probenahmestelle sowie Angaben zur Klassifizierung der Probenahmestelle überprüft und ggfs. ergänzt oder korrigiert. Die Wissenschaftler:innen haben die eingegangenen Daten ebenfalls kontrolliert und doppelt angelegte oder Test-Probenahmestellen, mehrfach verwendete Standortnamen sowie doppelt eingetragene Messwerte korrigiert. Vor der Untersuchung zeitlicher und räumlicher Einflüsse auf die Nitratbelastung wurden die Probenahmestellen zudem hinsichtlich der Standortgenauigkeit und Messregelmäßigkeit bewertet. Als weitere vorbereitende Begleituntersuchung wurden die verwendeten Teststäbchen (JBL PROAQUATEST EASY 7in1) in einer Laborstudie im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität Osnabrück validiert. Dazu haben 19 Proband:innen die Nitratkonzentrationen von 20 Nitratlösungen mit definierter Konzentration von 0 bis 500 mg/L mit den Nitrat-Teststreifen gemessen. Die gemessenen Werte wurden im Anschluss den tatsächlich vorliegenden Nitratkonzentrationen der Lösungen zugeordnet. Nach Ausschluss der beiden niedrigsten und höchsten von den Proband:innen gemessenen Werte pro Nitratlösung definierter Konzentration als Ausreißer, wurden die Intervalle bestimmt, welche die tatsächlichen Nitratkonzentrationen für die mit den Teststreifen gemessenen Werte abdecken. Diese Intervalle wurden mit den geltenden Grenz- und Zielwerte für Grund- und Oberflächengewässer verglichen. Aus diesem Vergleich wurde eine Kategorisierung der Messwerte der Teilnehmer:innen abgeleitet, mithilfe derer die Messdaten vor der Datenauswertung umcodiert wurden (Brockhage et al. 2022a; Rolf 2021). Anhand dieser Begleituntersuchung kann auch die nachfolgend formulierte Sub-Forschungsfrage 1.1 beantwortet werden.

Forschungsfragen: Die Citizen Science-Daten wurden von den Wissenschaftler:innen der Universität Osnabrück mit Unterstützung der Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück sowie des NLWKN hinsichtlich der folgenden Fragestellung ausgewertet:

1. Inwieweit kann der Citizen Science-Ansatz einen Beitrag zum Monitoring verschiedener Gewässer sowie zur Gewässerschutzforschung leisten?

Zur Beantwortung dieser übergeordneten Forschungsfrage wurden folgende Sub-Forschungsfragen untersucht:

- 1.1. Welche Messmethoden sind geeignet, um mithilfe des für den Citizen Science Ansatzes die Nitratkonzentration verschiedener Gewässertypen zu untersuchen?
- 1.2. Inwieweit kann ein flächendeckendes, längerfristiges Nitrat-Monitoring verschiedener Gewässertypen in einem definierten Gebiet mit dem Citizen Science-Ansatz umgesetzt werden?
- 1.3. Inwieweit lassen sich mit den Citizen Science-Daten räumliche und zeitliche Einflussfaktoren auf die Nitratbelastung untersuchen und inwieweit stimmen die Ergebnisse mit den aus der Theorie abgeleiteten Hypothesen überein?
- 1.4. Inwieweit sind die Ergebnisse des Citizen Science-Projektes konsistent mit oder komplementär zu den Datensätzen anderer Messinitiativen?

Hypothesen: Die für Forschungsfrage 1.3 abgeleiteten Hypothesen sind in folgender Tabelle zusammengefasst (theoretische Hintergründe hierzu sind unter anderem zu finden in Brockhage et al. 2022d und Brockhage et al. 2022a). Zur Übersicht wurden folgende Abkürzungen verwendet: FG = Fließgewässer, SG = stehende Gewässer, RW = Regenwasser, BW = Brunnenwasser, QW = Quellenwasser.

Tabelle 2: Hypothesen zu Einflüssen auf die Nitratbelastung der beprobten Gewässer

Einflüsse der Merkmale des Gewässers an der Probenahmestelle	
FG-H1	„Je schmaler das beprobte Fließgewässer an der Messstelle ist, desto höher ist die Nitratbelastung.“
FG-H2	„Je stärker der Wasserstand des beprobten Fließgewässers (bspw. durch Trockenfallen) schwankt, desto größer sind die Schwankungen der Nitratbelastung.“
SG-H1	„Je stärker der Wasserstand des beprobten stehenden Gewässers (bspw. durch Trockenfallen) schwankt, desto größer sind die Schwankungen der Nitratbelastung.“
BW-H1	„Je tiefer verfiltert der beprobte Brunnen ist, desto geringer ist die Nitratbelastung.“
BW-H2	„Je tiefer verfiltert der beprobte Brunnen ist, desto geringer sind die Schwankungen der Nitratbelastung.“
Räumliche Einflüsse	
FG-H3	"Die Nitratbelastung der beprobten Fließgewässer ist in landwirtschaftlichen und bebauten Flächen höher als in Wäldern und naturnahen Flächen."
SG-H2	"Die Nitratbelastung der beprobten stehenden Gewässer ist in landwirtschaftlichen und bebauten Flächen höher als in Wäldern und naturnahen Flächen."

RW-H1	"Die Nitratbelastung des beprobten Regenwassers ist in städtisch geprägten Flächen sowie in Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen höher als in Flächen mit anderer Nutzungsarten."
BW-H3	„Die Nitratbelastung der beprobten Brunnen in Geestgebieten ist höher als die Nitratbelastung der beprobten Brunnen in Niederungsgebieten.“
Zeitliche Einflüsse	
FG-H4	„Die Nitratkonzentrationen der beprobten Fließgewässer sind in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten.“
SG-H3	„Die Nitratkonzentrationen der beprobten stehenden Gewässer sind in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten.“
BW-H4	„Die Nitratkonzentrationen der beprobten Brunnen unterscheiden sich nicht nachweisbar zwischen den Jahreszeiten im Beprobungszeitraum.“
QW-H1	„Die Nitratkonzentrationen der beprobten Quellen unterscheiden sich nicht nachweisbar zwischen den Jahreszeiten im Beprobungszeitraum.“

Methodik: Zur Untersuchung der Messdaten wurden folgende Methoden verwendet (angelehnt an Brockhage et al. 2022a).

Räumliche Verteilung der Probenahmestellen: Die räumliche Verteilung der Probenahmestellen wurde, klassifiziert nach den einbezogenen Gewässertypen, mit „Heatmaps“ untersucht. Um zu dichte Messstellen zu identifizieren, wurde in Anlehnung an die Empfehlungen des NLWKN für das Grundwassermonitoring ein Maximum von 5 Messstellen pro 250 km² festgelegt (Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) und Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) 2006). Daher wurde für die Heatmaps ein Radius von 8,92 km verwendet.

Einstufung der Nitratbelastung der beprobten Gewässer: Aufgrund des ordinalen, nicht metrischen Skalenniveaus der erhobenen Daten wurden Perzentile für die allgemeine Klassifizierung der Nitratbelastung der Probenahmestellen über den gesamten Untersuchungszeitraum berechnet. Angelehnt an die Richtlinien für die Grundwasserüberwachung in der Grundwasserverordnung wurde für jede Grundwassermessstelle (hier Brunnen- und Quellwassermessungen) das 50. Perzentil (als ordinales Gegenstück zum arithmetischen Mittel) aller Nitratmessungen über den gesamten Untersuchungszeitraum ermittelt (Bundesregierung 09.11.2010). Für Oberflächengewässer wurde eine frühere Empfehlung der LAWA (Länderarbeitsgemeinschaft Wasser) verwendet, die Nitrat im Gegensatz zum aktuellen ökologischen Zielwert für Gesamtstickstoff in Oberflächengewässern in Deutschland gesondert betrachtet (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 1998; Bundesregierung 20.06.2016). Entsprechend dieser wurde zur Einstufung der allgemeinen Nitratkonzentration das 90. Perzentil aller Messwerte für jede Probenahme-

stelle im Oberflächengewässer herangezogen. Die Unterschiede zwischen den Nitratbelastungen der verschiedenen Gewässertypen (getrennt nach Oberflächen- und Grundwasser) wurden mit dem Mann-Whitney U Test analysiert (Mann und Whitney 1947).

Einflüsse der Merkmale des Gewässers an der Probenahmestelle: Anhand der Klassifizierung der Gewässer durch die Teilnehmenden mithilfe eines Fragebogens wurden verschiedene Einflüsse der Gewässermerkmale (z. B. Breite des Fließgewässers, Schwankungen des Wasserstandes, Filtertiefe des Brunnens) auf die Nitratbelastung untersucht. Zur Überprüfung der Hypothesen wurden Kendall-Tau-b bzw. Kendall-Tau-c Rangkorrelationskoeffizienten berechnet, welche den Zusammenhang zwischen zwei mindestens ordinal skalierten Merkmalen messen (Kendall und Gibbons 1990).

Räumliche Analysen: Für räumliche Analyse wurden nur Probenahmestellen mit einer akzeptablen Standortgenauigkeit (Koordinaten weniger als 250 m vom nächstgelegenen/beprobteten Gewässer entfernt) berücksichtigt. Diese Probenahmestellen wurden durch räumliche Verknüpfungen den folgenden Geodaten zugeordnet, um den Einfluss der Landbedeckung und -nutzung beziehungsweise der hydrogeologischen Bedingungen zu analysieren:

- Landbedeckung und -nutzung: CORINE Land Cover 5 ha (2018) 2021
- Hydrogeologie: Hydrogeologische Raumgliederung von Deutschland (HYRAUM) 2015

Für die Gewässertypen Fließgewässer, Regenwasser und Brunnenwasser lagen nach der räumlichen Zuordnung jeweils mindestens 5 Messstellen in jeder Corine-Klasse bzw. jedem hydrogeologischen Raum. Daher wurden diese Gewässertypen bei den räumlichen Analysen berücksichtigt. Im Anschluss an die räumliche Zuordnung wurden Kruskal-Wallis- und Dunn-Bonferroni-Post-hoc-Tests durchgeführt, um zu prüfen, ob sich die Nitratbelastungen für die verschiedenen räumlich klassifizierten Probenahmestellen signifikant unterscheiden (Kruskal und Wallis 1952; Dunn 1964).

Zeitliche Analysen: Für die Analyse der jahreszeitlichen Schwankungen wurde zunächst innerhalb jeder der sechs meteorologischen Jahreszeiten während des Untersuchungszeitraums das 50. Perzentil der Mehrfachmessungen für jede Probenahmestellen berechnet. Friedman-Tests für abhängige Stichproben, Dunn-Bonferroni-Post-hoc-Tests und deskriptive Statistiken wurden anschließend verwendet, um die Unterschiede der Nitratbelastung von Oberflächen- und Grundwasser zwischen den einzelnen Jahreszeiten zu analysieren (Dunn 1964; Friedman 1937).

Für die Analysen mit dem Friedman- und Dunn-Bonferroni-Post-hoc-Test wurden nur Probenahmestellen berücksichtigt, die mindestens einmal in jeder der sechs Jahreszeiten untersucht wurden. Darüber hinaus umfasst die deskriptive Statistik für jede einzelne Jahreszeit alle Probenahmestellen, die mindestens einmal während der jeweiligen Jahreszeit beprobt wurden.

Vergleich mit anderen Messinitiativen: Für den Vergleich mit anderen Messinitiativen wurden exemplarisch die Gewässertypen Brunnenwasser und Fließgewässer herangezogen, da für diese folgende Daten zum Vergleich verfügbar waren:

- VSR-Gewässerschutz e. V.: Interaktive Nitratkarte - Überblick über die Belastung in den Kreisen (VSR-Gewässerschutz e.V. 2021)
- NLWKN: Nitratwerte verschiedener Messstellen, 2019 bis einschl. 2021 (nur projektinterne Datennutzung genehmigt)

Zunächst wurden die Citizen Science- und die VSR-Gewässerschutz-Daten deskriptiv verglichen, indem für beide Monitoring-Initiativen der prozentuale Anteil der Brunnenwassermessstellen, die den chemischen Grenzwert von 50 mg/L Nitrat überschreiten, für alle beteiligten Landkreise berechnet wurde. Anschließend wurden die Ergebnisse der Brunnen- und Fließgewässermessungen des NLWKN und des Citizen Science-Projekts durch eine „Nearest Neighbor“ Analyse räumlich verglichen. Um vertikale Unterschiede im Grundwasser zu berücksichtigen, wurden die Messstellen nach ihrer mittleren Filtertiefe in 10-m-Schritten klassifiziert. Innerhalb jeder dieser Kategorien wurde die Nearest Neighbor Analyse durchgeführt. Anschließend wurden die Nitratkonzentrationen der zugeordneten Brunnen- und Fließgewässermessstellen verglichen.

Die Ergebnisse dieser Analysen sowie das Fazit zur Eignung des Citizen Science-Ansatzes wurden in einer Begleitbroschüre für die Teilnehmer:innen des Projektes transparent, didaktisch reduziert dargestellt (vgl. Abbildung 7) sowie in einem wissenschaftlichen Paper open-access veröffentlicht (Brockhage et al. 2022a; Brockhage et al. 2022d). In zwei Diskussionsveranstaltungen Anfang 2022 wurden die Ergebnisse den Teilnehmer:innen und der interessierten Öffentlichkeit präsentiert.



Abbildung 7: Projektbegleitende Materialien zu den Ergebnissen des Nitrat-Monitorings. Links und Mitte: Begleitheft 3; Rechts: Ausschnitt aus der Präsentation der öffentlichen Abendveranstaltungen (eigene Abbildung mit Ausschnitten aus Brockhage et al. 2022d).

Darüber hinaus wurden die Probenahmestellen sowie die Messwerte und weitere Informationen zu den beprobten Gewässern auf einer interaktiven Online-Karte veröffentlicht (Abbildung 8).

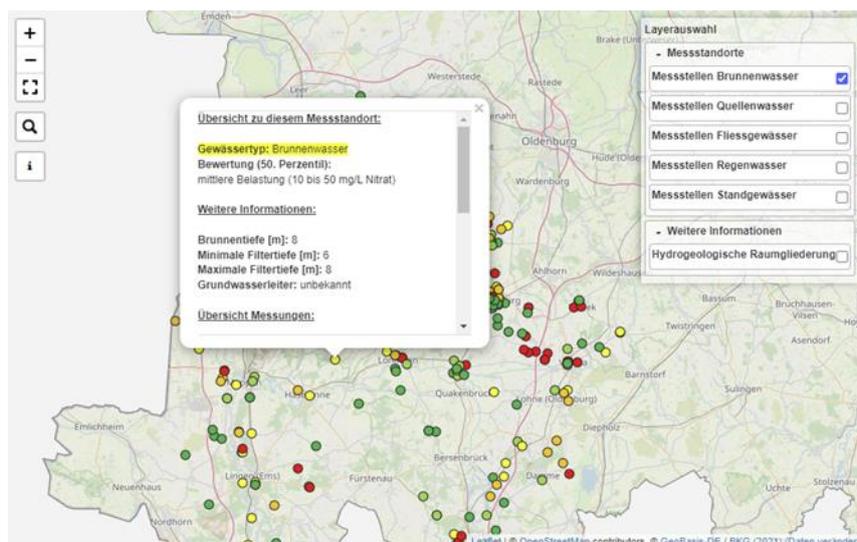


Abbildung 8: Darstellung der Ergebnisse in einer Online-Karte am Beispiel eines untersuchten Brunnens (Screenshot der Webseite <https://www.home.uni-osnabrueck.de/fbrockhage/nitratmonitoring/map.html>).

Begleitet wurde das Nitrat-Monitoring durch die Stickstoff-Box, die im Rahmen des Teilprojektes 2 an der Universität Oldenburg entstanden ist und im folgenden Kapitel dargestellt wird.

3.3 Teilprojekt 2: Stickstoff-Box

Der Schwerpunkt von Teilprojekt 2 und auch der Schwerpunkt der damit zusammenhängenden wissenschaftlichen Begleitforschung lag auf der Entwicklung eines Heimexperimentierkits für die Teilnehmer:innen des Citizen Science-Projekts. Die Inhalte dieser sogenannten Stickstoff-

Box wurden interaktiv gestaltet und enthielten neben Informationsmaterial auch Aufgaben und einfache Experimente. Die Stickstoff-Box zielte darauf ab, mithilfe eines experimentellen Ansatzes den Teilnehmer:innen Informationen rund um das Thema Stickstoff zu vermitteln. Damit sollten die Nutzer:innen dazu angeregt und befähigt werden, auf Basis ihres erworbenen Wissens die Vermittlung des Themas in den Medien sowie ihr eigenes Verhalten und eigene Einstellungen kritisch zu hinterfragen. Für die Konzeption der Stickstoff-Box wurden zunächst einige bestehende Experimente rund um das Thema Stickstoff erprobt und anschließend für den Heimgebrauch adaptiert und um selbst entwickelte Experimente ergänzt. Daraus entstand die in Abbildung 9 dargestellte Stickstoff-Box. Die Box beinhaltet einige Materialien und Chemikalien, z. B. Ionenaustauscher, Natriumnitrat, Kressesamen, Schnappdeckelgläser und Pipetten. Zudem sind zwei Hefte enthalten, das Begleit- und Experimentierheft. Das Begleitheft ist ein Informationsheft und erklärt Aufnahme- und Verteilungswege reaktiven Stickstoffs anhand des Stickstoff-Kreislaufes sowie die Auswirkungen anthropogener Einflüsse. Auswirkungen von Stickstoffüberschüssen werden thematisiert und geltende gesetzliche Vorgaben, beispielsweise Grenz- und Zielwerte sowie die Düngeverordnung werden außerdem angesprochen.

Ein Fokus liegt zudem auf präventiven und reaktiven Maßnahmen zum Umweltschutz, insbesondere mit Blick auf die Wasserreinheit. Dabei wird insbesondere auf den Einfluss des Einzelnen, also die individuelle Verantwortung der Bürger:innen eingegangen. Im Verlaufe des Heftes befinden sich immer wieder Sachaufgaben, um vertieft über behandelte Themen nachzudenken. Außerdem dienen kleine Exkurs-Boxen dazu, bestimmte Aspekte zu vertiefen, beispielsweise das Haber-Bosch-Verfahren zur Ammoniaksynthese (Abbildung 10).



Abbildung 9: Die Stickstoff-Box, bestehend aus benötigten Materialien und Chemikalien sowie dem Begleit- und Experimentierheft.

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^[6]. Die Jahresproduktion beträgt über 180 Millionen Tonnen, wobei die Produktion stetig zunimmt^[9].

Abiotische Stickstoff-Fixierung

Durch nicht-biologische Vorgänge werden global jährlich etwa 20 Tonnen Stickstoff unter Bildung von Stickstoffoxiden NO_x fixiert. Dies geschieht z. B. durch Blitze (Abbildung 4), Vulkanausbrüche oder Waldbrände^[7].



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 Abhitzekegel das Gasmisch abgekühlt, das Ammoniak verflüssigt und abgetrennt. Das Restgas wird zuletzt um frisches Synthesegas ergänzt und folgt dem Synthesekreislauf zurück zu den Ammoniakreaktoren^[10].

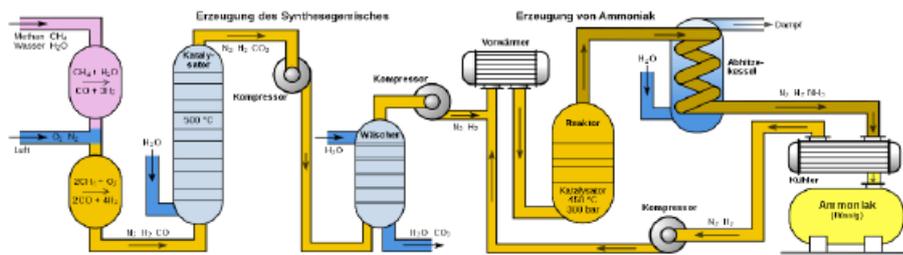


Abbildung 5: Prinzip der großtechnischen Ammoniaksynthese nach dem Haber-Bosch-Verfahren

Abbildung 10: Ausschnitt aus dem Begleitheft mit Exkurs zum Haber-Bosch-Verfahren.

Die Stickstoff-Box enthält insgesamt fünfzehn Experimente, die ebenso wie die Sachaufgaben in die Inhalte des Heftes eingebettet sind und im separaten Experimentierheft aufgeführt werden (Abbildung 11).

31

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^[63].

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^[63]. 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



Abbildung 11: Ausschnitt aus dem Begleitheft mit Sachaufgabe und Experimenten zur bedarfsorientierten Düngung.

Zu Beginn des Experimentierhefts befinden sich allgemeine (Sicherheits-)Hinweise zum Experimentieren sowie Material- und Chemikalienlisten. Anschließend werden die Experimente Schritt für Schritt dargestellt, wobei zunächst zu jedem Experiment ein einleitender Informationstext zu finden ist. Diesem Text folgen gegebenenfalls besondere Hinweise und anschließend die benötigten Materialien und Chemikalien, bevor die Durchführung beschrieben wird. Für

einige Experimente müssen mithilfe der vorhandenen Chemikalien (z. B. Natriumnitrat) Wasserproben selbst hergestellt werden. Da handelsübliche Küchenwaagen nicht immer genau genug abwiegen können, sind zur Orientierung stets Fotos der entsprechenden Menge der benötigten Chemikalie im Vergleich zur Größe einer 1-Euro-Münze dargestellt (Abbildung 12).

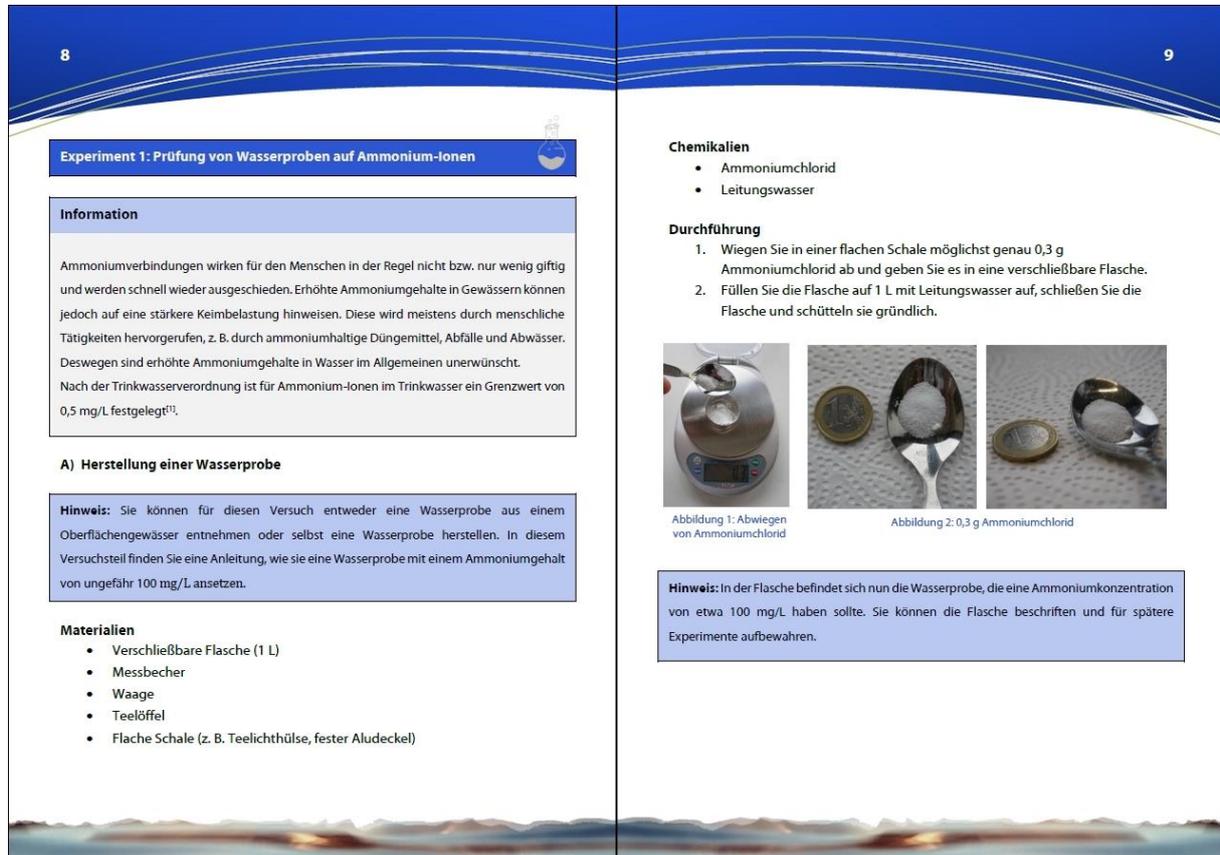


Abbildung 12: Ausschnitt aus dem Experimentierheft mit der Herstellung einer Wasserprobe zur Messung des Ammoniumgehalts

Beobachtungen und Ergebnisse lassen sich je nach Art des Experimentes direkt in das Heft eintragen (Abbildung 13). Viele Experimente sind zudem um Anregungen zur Veränderung oder Erweiterung der Versuche sowie um Hinweise bei potenziell auftretenden Schwierigkeiten ergänzt. Die möglichen Beobachtungen und Ergebnisse werden in einer abschließenden Auswertung der Experimente erklärt und je nach Experiment eingeordnet.

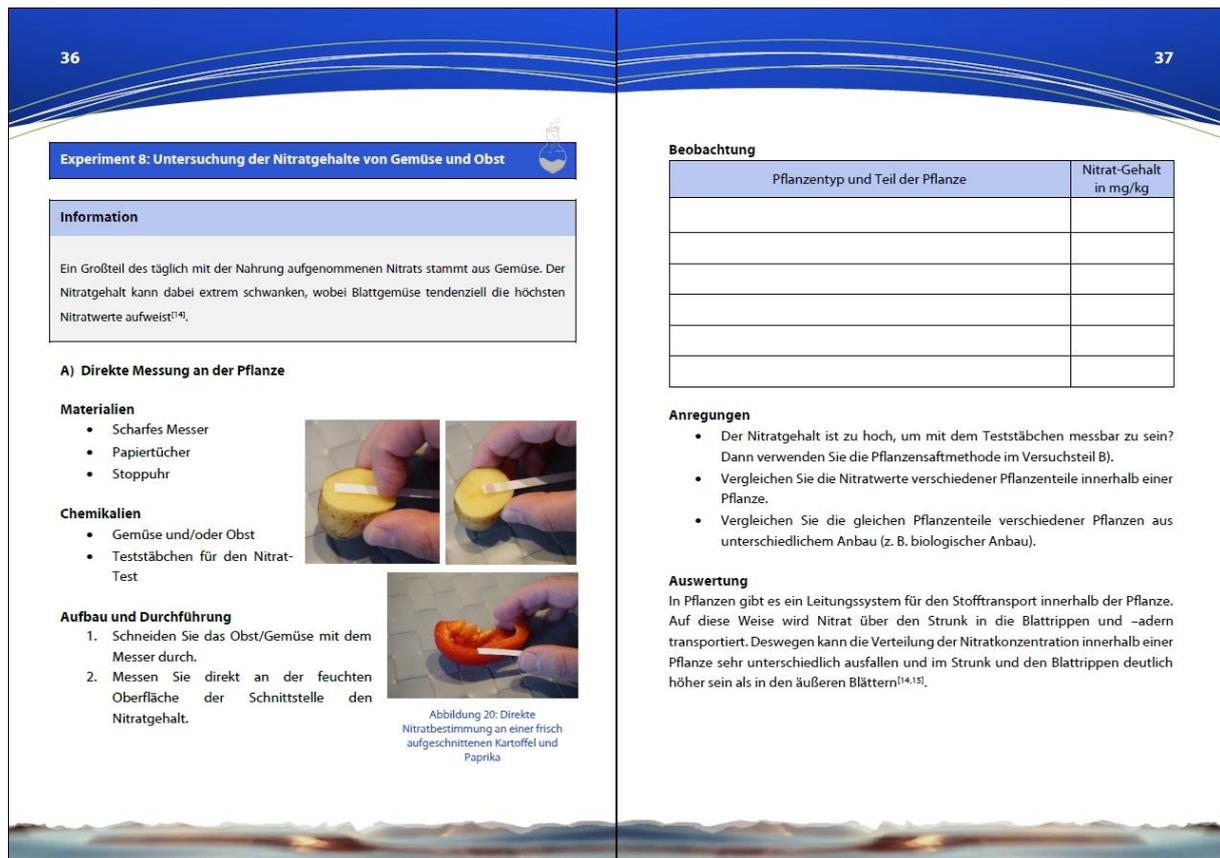


Abbildung 13: Ausschnitt aus dem Experimentierheft mit der Untersuchung der Nitratgehalte von Gemüse und Obst

Als Einführung dienen zwei einfache Experimente, die in die Messung von Ammonium- und Nitrat-Ionen einweisen:

- Experiment 1: Prüfung von Wasserproben auf Ammonium-Ionen
- Experiment 2: Prüfung von auf Nitrat-Ionen

Anschließend werden Aufnahme- und Verteilungswege von Stickstoffverbindungen angesprochen. In Experiment 5 werden beispielsweise mithilfe eines Müllbeutels Autoabgase aufgefangen und diese in Wasser eingeleitet. Da Stickoxide mit Wasser zu Nitrat umgesetzt werden, lässt sich dieses in der erhaltenen Wasserprobe mithilfe von Nitrat-Teststäbchen nachweisen. Experiment 6 zeigt zudem, dass Nitrat im Gegensatz zu Ammonium im Boden schlecht adsorbiert und daher relativ leicht in tiefere Bodenschichten und ins Grundwasser ausgewaschen werden kann.

- Experiment 3: Untersuchung der Wurzelknöllchen von Leguminosen
- Experiment 4: Harnstoffzersetzung im Boden
- Experiment 5: Stickoxide in Abgasen
- Experiment 6: Adsorption von Ammonium- und Nitrat-Ionen im Boden
- Experiment 7: Wirkung von Harnstoff auf Böden

Ein weiterer inhaltlicher Fokus liegt auf der Frage, inwiefern Nitrat und Nitrit eine Rolle in Ernährung der Bürger:innen spielen. Dabei wird untersucht, welche Gemüsesorten besonders viel Nitrat enthalten und welche Rolle die Art des Gemüseanbaus (z. B. Gewächshaus, Düngung) auf den Nitratgehalt des Gemüses haben kann.

- Experiment 8: Untersuchung der Nitratgehalte von Gemüse und Obst
- Experiment 9: Nitrat und Nitrit im Spinat
- Experiment 10: Nitrit-Gehalt in Pökelfleisch
- Experiment 11: „Umrötung“ durch Nitritpökelsalz

Zuletzt behandeln einige Experimente präventive und reaktive Maßnahmen zur Wasserreinhaltung. Ein Aspekt ist die bedarfsorientierte Düngung, um Pflanzen einerseits ausreichend zu ernähren und andererseits Stickstoffüberschüsse zu vermeiden. Hierfür muss der bereits vorhandene Stickstoffgehalt des Bodens, der sogenannte N_{\min} -Wert bekannt sein, was anhand Experiment 13 gezeigt wird.

- Experiment 12: Auswirkung verschiedener Stickstoffeinträge auf das Pflanzenwachstum am Beispiel Kresse
- Experiment 13: Bestimmung des Stickstoffgehaltes im Boden
- Experiment 14: Stickstoffmineralisation im Boden
- Experiment 15: Nitratentfernung durch Ionenaustausch

Einige der Experimente, beispielsweise die Messung der Nitratgehalte in Obst und Gemüse, sind relativ simpel und schnell, da bei vielen Obst- und Gemüsesorten lediglich die Reaktionszone des Teststreifens an eine frisch aufgeschnittene Stelle des zu messenden Lebensmittels gehalten werden muss. Andere Experimente erfordern mehr Aufwand und Vorbereitungszeit, beispielsweise die Untersuchung der Adsorption von Ammonium- und Nitrat-Ionen im Boden. Dort wird zuvor mithilfe einer PET-Flasche ein Kies-Sand-Filter selbst gebaut. Bei einigen Experimenten handelt es sich um Langzeitexperimente, bei denen Ergebnisse erst nach einigen Tagen sichtbar werden. Dazu gehören zum Beispiel die Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Stickstoffeinträge auf das Kressewachstum oder die Wirkung von Harnstoff auf Böden.

Nach der Erstellung einer ersten Version der Stickstoff-Box wurde diese im Herbst 2019 dreizehn Schulen zur Verfügung gestellt, die bereits als Projektpartner im Rahmen von Seminarfächern oder Projektwochen am Projekt beteiligt waren. Auf Basis des Feedbacks von Schüler:innen und Lehrer:innen wurde eine zweite, optimierte Version der Box für die teilnehmenden Bürger:innen des Citizen Science-Projekts erstellt. Die etwa 600 am Nitrat-Monitoring teilnehmenden Bürger:innen wurden per E-Mail über die Möglichkeit der Nutzung der Stickstoff-Box

informiert. Insgesamt nutzten 97 Bürger:innen dieses Angebot und erhielten die Box per Post im August und September 2020.

3.4 Gemeinsame Arbeiten

3.4.1 Schülerlabore

Im Zuge des Citizen Science-Projektes wurden zwei Schülerlabore entwickelt, wobei eins der Schülerlabore für die Sekundarstufe II und das andere Schülerlabor für die Sekundarstufe I konzipiert wurde.

Schülerlabor Sekundarstufe II

Damit die am Projekt beteiligten Schüler:innen ihre Funktion als Forschungspat:innen einnehmen können, sollten sie seitens der Universitäten und Lehrkräfte entsprechend vorbereitet werden. Dies geschah u. a. durch den Besuch eines Schülerlabors. Da die Schüler:innen sich im Rahmen der schulischen Seminarfächer auch theoretisch mit dem Thema Stickstoff beschäftigt haben, lag der Fokus des Schülerlabors auf dem experimentellen Arbeiten. Dabei sollten die Schüler:innen u. a. die Gelegenheit erhalten, Experimente durchzuführen, die aufgrund der verwendeten Materialien, Chemikalien und Geräte nicht in der Schule oder privat umsetzbar sind. Im Schülerlabor konnten die Schüler:innen verschiedene qualitative, halb-quantitative und quantitative Messmethoden zur Nitrat- und Ammoniumbestimmung kennenlernen und reflektieren. Dazu gehörten beispielsweise nasschemische, kolorimetrische und photometrische Verfahren. Darüber hinaus konnten sich die Schüler:innen über Wege zur Nitratentfernung aus dem Trinkwasser informieren, beispielsweise mithilfe einer vereinfacht nachgebauten Umkehrosmoseanlage. Ein weiterer inhaltlicher Schwerpunkt galt dem Themenbereich „Stickstoff in unserer Lebenswelt“. Dort konnte beispielsweise anhand von Schweineblut die Wirkung von Nitrit auf Blut untersucht werden. Auch die Wurzelknöllchen von Leguminosen (z. B. Klee oder Lupinen) konnten im Rahmen dieses Themenbereichs analysiert werden. Während bei der Stickstoff-Box die Wurzelknöllchen lediglich mit einer Lupe auf ihre Farbe und innere Struktur betrachtet werden konnten, hat das Schülerlabor mehr Möglichkeiten geboten. Anhand von Fluoreszenz und Chemolumineszenz ließ sich hier das Leghämoglobin nachweisen, dessen Anwesenheit in den Wurzelknöllchen notwendig für den Prozess der Stickstoff-Fixierung ist.

Schülerlabor Sekundarstufe I

Während die erste Schülerlaborkonzeption am Projekt beteiligte Seminarfächer (Sekundarstufe II) adressierte, wurde die zweite Schülerlaborkonzeption für projektexterne Schulklassen der

Jahrgänge 9/10 erstellt. Dafür wurde das vorhandene Schülerlabor adaptiert und umfasste zum einen den Themenbereich Ammonium und Nitrat und zum anderen den Bereich Stickoxide. Auf diese Weise sollten die Schüler:innen einen fachlichen Überblick über die gesamte Stickstoffproblematik erhalten können. In einer zusätzlichen Bewertungsstation konnten sie außerdem ihr eigenes Verhalten kritisch reflektieren. Als Handreichung wurden außerdem ein Poster und ein Flyer erstellt, auf dem die wichtigsten Informationen zusammengefasst und eigene Ziele zur Reduktion des individuellen Stickstofffußabdruckes formuliert wurden. Die Konzeption des Schülerlabors wurde zudem im Rahmen eines Themenheftes verschriftlich und kann unter <https://doi.org/10.48693/127> (Stand 01.08.2022) abgerufen werden (Brockhage et al. 2022b).

3.4.2 Lehrerfortbildungen

Ergänzend zu den beiden dargestellten Schülerlaboren wurde eine Lehrerfortbildung konzipiert. Anhand verschiedener Experimente, die aus den Schülerlaboren und der Lerneinheit übernommen wurden, wurde in der Lehrerfortbildung gemeinsam mit den Lehrkräften erarbeitet, inwieweit die Stickstoffproblematik experimentell Einzug in den Chemieunterricht oder weitere naturwissenschaftliche Fächer Einzug erhalten kann. Durch die vielseitige Auswahl der Experimente wurde der Unterricht der Sekundarstufe I und II adressiert. Um die Lehrerfortbildung trotz der Einschränkungen der COVID-19-Pandemie anzubieten, wurden einige Experimente verfilmt und in eine digitale Lehrerfortbildung eingebettet.

Darüber hinaus wurde die Lehrerfortbildung mit verschiedenen weiteren Themen und Projekten aus dem Bereich der Nachhaltigen Entwicklung verknüpft und unter anderen unter dem Titel „Nachhaltig(keit) unterrichten: Experimenteller Chemieunterricht im Kontext der planetaren Leitplanken“ durchgeführt, wobei in diesem Workshop neben der Stickstoffproblematik auch die Mikroplastikproblematik und der Landnutzungswandel thematisiert wurden.

3.4.3 Digitale Ausstellung

Um neben Personen aus dem schulischen Kontext auch die interessierte Öffentlichkeit zu erreichen, wurde eine Ausstellung zur Stickstoffproblematik konzipiert. Eine zunächst entwickelte Präsenzausstellung wurde aufgrund der COVID-19-Pandemie im Rahmen einer Abschlussarbeit in ein interaktives, digitales Format überführt (Anna Effertz 2021).



Abbildung 14: Ausschnitt aus der digitalen Ausstellung.

Die digitale Ausstellung beginnt mit einer Übersicht über die Thematisierung von Nitrat in den Medien (vgl. Abbildung 14, C). Verschiedene Zeitungsbeiträge sollen für die Thematik motivieren und darstellen, dass in den Medien oftmals nur ein unvollständiges Bild der Nitratproblematik abgebildet wird. Anhand von insgesamt sechs verschiedenen Themenpunkten soll durch die Ausstellung sodann ein umfassenderer Einblick in die Nitratproblematik ermöglicht werden. Hierzu wird zunächst ein Überblick über verschiedene Dimensionen einer Nachhaltigen Entwicklung sowie politischer Zielsetzungen und wissenschaftlicher Einschätzungen gegeben (vgl. Abbildung 14, D). Im Anschluss erfolgt die Fokussierung auf die Nitratproblematik. In dem digitalen Ausstellungspark können die Besucher:innen die Themen

- Stickstoffkreislauf
- Stickstoffbelastung in Niedersachsen
- Stickstoff als Schadstoff
- Nitrat vs. Mensch
- Interessensgruppen

vieldimensional erarbeiten (vgl. Abbildung 14, B). Durch verschiedene Quizelemente (vgl. Abbildung 14, E und F) werden die Besucher:innen interaktiv in die Ausstellung eingebunden.

Den Abschluss der Ausstellung bildet die Station „Maßnahmen gegen die Stickstoff- und Nitratbelastung“, in welcher auch der individuelle Stickstofffußabdruck thematisiert wird, um die Besucher:innen für eine nachhaltige Lebensweise zu sensibilisieren. Die digitale Ausstellung ist online zu finden unter www.nitrat.uos.de → Interaktive, digitale Ausstellung.

3.4.4 Lerneinheit zur Nitratproblematik

Für die Sekundarstufe I wurde nach dem gesellschaftskritisch-problemorientierten Unterrichtsverfahren eine Lerneinheit zur Nitratproblematik entwickelt. Diese lässt sich in die Jahrgangsstufen 9/10 einbetten und nimmt dabei vor allem Bezug auf die Themenfelder Chemie und Gesellschaft und Umweltschutz. Unter dem Einsatz von Alltagsmedien und gestuften Hilfestellungen in Form von QR-Codes werden in drei Modulen Hintergründe zum Thema Nitrat erarbeitet, verschiedene Blickwinkel beleuchtet und das eigene Verhalten reflektiert. Die Lerneinheit ist mit allen benötigten Materialien und Erwartungshorizonten online verfügbar (<https://uol.de/chemiedidaktik/arbeitsgebiete-und-projekte/citizen-science/nitrat-skandal-oder-panikmache-eine-lerneinheit-fuer-die-sekundarstufe-i>, Stand 27.07.2022).

3.4.5 Diskussionsveranstaltungen

Die Ergebnisse des Projektes wurden in zwei Diskussionsveranstaltungen im Frühjahr 2022 präsentiert. Um möglichst viele Teilnehmer:innen und weitere interessierte Personen zu erreichen, wurde eine der Diskussionsveranstaltungen in Kooperation mit dem Schlaun Haus Oldenburg digital umgesetzt. Im März 2022 wurde die zweite Präsenzdiskussionsveranstaltung als Abschluss des Projektes in Präsenz in der katholischen Akademie in Stapelfeld durchgeführt. In den Diskussionsveranstaltungen wurden zunächst der Stickstoffkreislauf sowie die anthropogenen Einflüsse auf diesen dargestellt, um das Citizen Science-Projekt zu legitimieren. Im Anschluss wurde das Konzept des Citizen Science-Projektes sowie der Ablauf der Datenerhebung und -auswertung des Nitrat-Monitorings präsentiert. Daraufhin wurden die Ergebnisse des Nitrat-Monitorings von den Wissenschaftler:innen vorgestellt. Die Präsentationsphase endete mit einem Überblick über die Lösungsansätze zur Nitratproblematik, unter anderem durch einen Vertreter des Kreislandvolkverbandes Cloppenburg. Des Weiteren wurden die Einflüsse von Ernährung, Mobilität, Konsum und Haushalt auf den individuellen Stickstofffußabdruck dargestellt, um die Teilnehmenden zu motivieren, eigene Verhaltensweisen zu reflektieren. Es schloss sich eine Diskussionsphase an, in welcher die Eignung des Citizen Science-Ansatzes gemeinsam mit den Teilnehmenden diskutiert sowie offene Fragen hinsichtlich der Methodik beantwortet wurden.

3.4.6 Weiteres

Für die am Projekt beteiligten Seminarfächer der Sekundarstufe II wurde ein **WebQuest** zur Nitratbelastung entwickelt. Dieses dient der inhaltlichen Erarbeitung des Themas und behandelt u. a. Fragestellungen wie die Herkunft von Nitrat in unserer Umwelt und Folgen von Nitratbelastung. Das WebQuest ist digital abrufbar (<https://uol.de/chemiedidaktik/arbeitsgebiete-und-projekte/citizen-science/webquest-zur-nitratbelastung>, Stand 01.08.2022) und somit auch der Öffentlichkeit zugänglich.

Außerdem wurde ein **CitizenLab** entwickelt, welches eine verkürzte Version der Stickstoff-Box ist. In einer Begleitbroschüre werden Hintergründe zum Stickstoffkreislauf und verschiedene Stickstoffverbindungen erklärt, bevor vier Experimente Schritt für Schritt dargestellt sind:

- 1) Woher kommen die Stickoxide?
- 2) Nitrat in Obst und Gemüse
 - a. Direkte Messung an der Pflanze
 - b. Messung des Pflanzensaftes
- 3) Kresse und Nitratdüngung
- 4) Nitratentfernung durch Ionenaustausch

Für das CitizenLab wurden einfach durchführbare Experimente ausgewählt, mithilfe derer sich ein möglichst breites Spektrum der Stickstoffproblematik abdecken lassen. Die benötigten Materialien und Chemikalien zur Durchführung der Experimente befanden sich analog zur Stickstoff-Box in einem Karton, sodass das CitizenLab nicht in einem von den Wissenschaftler:innen betreuten Aktionstag, sondern auch eigenständig zuhause durchgeführt werden konnte. Insgesamt wurden 20 CitizenLab-Boxen fertiggestellt.

Im Juli 2022 wurde darüber hinaus ein digitaler **Citizen Science-Workshop** für die Koordinator:innen aller DBU-geförderten Citizen Science-Projekte durchgeführt, in dem Unterstützungsbedarfe und Expertisen der DBU-geförderten Citizen Science-Projekte identifiziert wurden, um im Anschluss das Netzwerk zu nutzen, um die Hürden der jeweiligen Projekte zu überwinden.

4. Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projektes werden im Folgenden entsprechend der Gliederung in zwei Teilprojekte sowie anschließend der gemeinsam durchgeführten Angebote dargestellt.

4.1 Teilprojekt 1: Nitrat-Monitoring

Insgesamt haben sich mindestens 616 Bürger:innen für das Nitrat-Monitoring angemeldet, die sich wie folgt auf die Anmeldeöglichkeiten aufteilen:

Tabelle 3: Anmeldezahlen, sortiert entsprechend verschiedener Anmeldeöglichkeiten

Anmeldeöglichkeit	Anzahl der angemeldeten Bürger:innen
Online-Plattform	547 (davon 21 Personen weit entfernt vom Einzugsgebiet sowie 5 Personen, die sich abgemeldet haben)
Nachmeldungen über die Universität	28
Nachmeldungen über die Schulen	Mind. 67 (ggfs. weitere Nachmeldungen, die nicht an die Universität weitergeleitet wurden)
Summe	Mind. 616

Die angemeldeten Personen wurden hinsichtlich verschiedener demographischer Angaben untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass sich mehr männliche ($n = 358$) als weibliche ($n = 184$) Personen für das Projekt angemeldet haben. Keine Person hat divers als Geschlecht ausgewählt, das Geschlecht der übrigen Personen wurde nicht angegeben. Des Weiteren war die Altersklasse 50 – 59 Jahre unter den Teilnehmenden am häufigsten vertreten ($n = 191$), die Altersspanne der Teilnehmenden reichte jedoch von unter 9 Jahre ($n = 4$) bis über 69 Jahre ($n = 44$). Auch die Berufsfelder der angemeldeten Personen waren heterogen und reichten von Personen aus den Bereichen „Gesundheit, Soziales, Lehre und Erziehung“ ($n = 79$) und „Land-, Forst- und Tierwirtschaft und Gartenbau“ ($n = 59$) über viele weitere Berufsfelder bis zu Schüler:innen/Studierenden/Auszubildenden ($n = 58$) und Pensionär:innen ($n = 73$). Insgesamt wurde damit eine sehr breite Zielgruppe erreicht. Die Bürger:innen wurden von rund 200 Schüler:innen von Seminarfächern der folgenden 13 Schulen sowie von den Wissenschaftler:innen der Universität Osnabrück betreut:

- Albertus-Magnus Gymnasium Friesoythe
- Clemens-August Gymnasium Cloppenburg
- Gymnasium Liebfrauenschule Cloppenburg

- Copernicusgymnasium Löningen
- Gymnasium Damme
- Gymnasium Bersenbrück
- Angelaschule Osnabrück
- Windthorst-Gymnasium Meppen
- Gymnasium Papenburg
- BBS am Museumsdorf, Cloppenburg
- Gymnasium Marianum Meppen
- Gesamtschule Schinkel
- Im Rahmen einer Projektwoche: Gymnasium Antonianum Vechta

8754 Gewässerproben von 545 Probenahmestellen aus den Landkreisen Osnabrück, Vechta, Emsland und Cloppenburg sowie der Stadt Osnabrück wurden von den Projektteilnehmer:innen und Schüler:innen mit Nitrat-Teststäbchen untersucht. Die untersuchten Probenahmestellen werden in Abbildung 15 dargestellt.

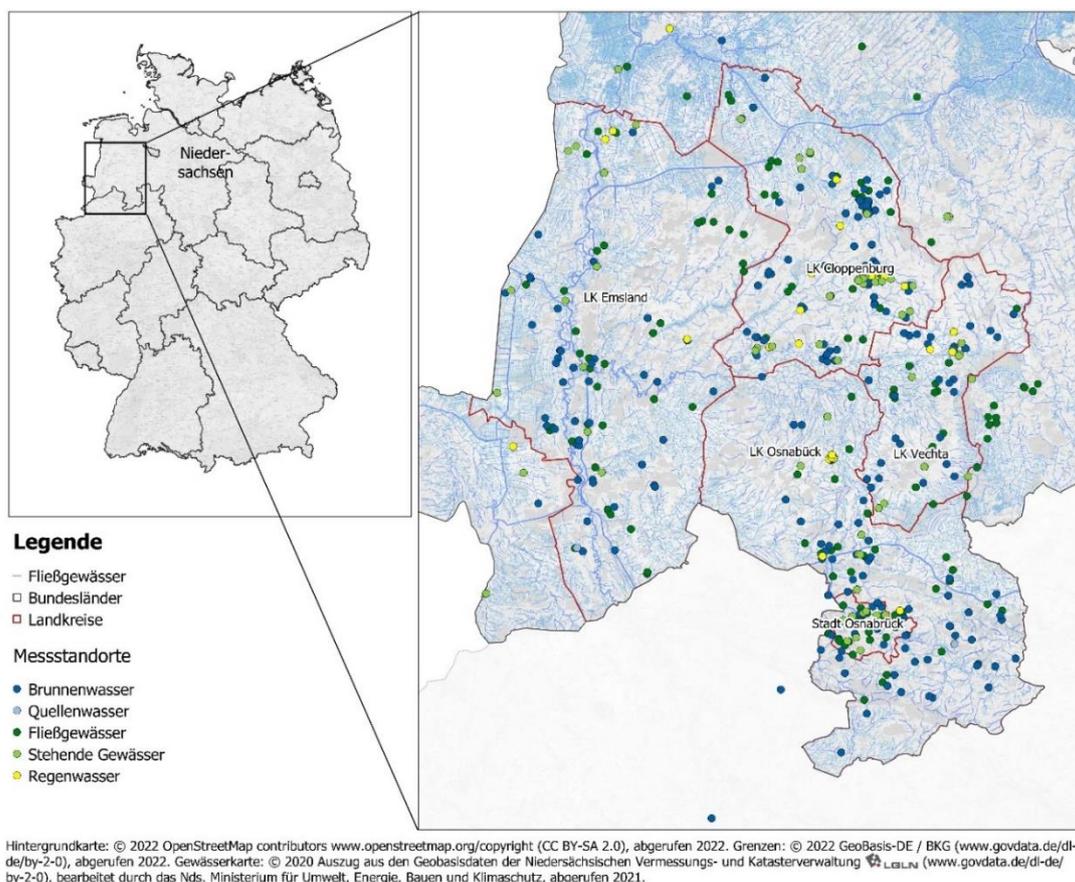


Abbildung 15: Untersuchungsgebiet und Messstellen des Citizen Science-Projektes (eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten).

Am häufigsten wurde Brunnenwasser ($n = 248$) untersucht, gefolgt von Fließgewässern ($n = 186$) und stehenden Gewässern ($n = 73$). Weniger häufig beprobt wurden Regenwassermessstellen ($n = 35$) sowie Quellen ($n = 3$). Vor der Auswertung der Messdaten dieser Probenahmestellen wurden die verwendeten Teststäbchen hinsichtlich ihrer Genauigkeit klassifiziert. Alle im Folgenden dargestellten Ergebnisse wurden bereits in einem wissenschaftlichen Paper und einer Begleitbroschüre für die Teilnehmenden des Citizen Science-Projektes veröffentlicht (Brockhage et al. 2022a; Brockhage et al. 2022d).

4.1.1 Ergebnisse: Validierung der Teststäbchen

In Abbildung 16 werden die tatsächlichen Nitratkonzentrationen zu den Konzentrationen, welche die Bürger:innen mit den Teststreifen gemessen haben, als blaue Intervalle dargestellt. Die Analyse der Teststäbchen zeigt, dass die Nitratkonzentrationen über den gesamten Messbereich überschätzt werden, die gemessenen Werte also über den tatsächlichen Nitratkonzentrationen liegen. Diese Überschätzung ist konsistent, sodass eine Anpassung der erhobenen Messwerte möglich ist. Die Ergebnisse zeigen auch, dass die Farbwahrnehmung des menschlichen Auges nicht präzise genug ist, um die Färbung des Teststreifens der Nitrat-Teststreifen eindeutig der Farbskala zuzuordnen, da sich die blauen Intervalle bei benachbarten Konzentrationsklassen überschneiden (Brockhage et al. 2022a; Rolf 2021).

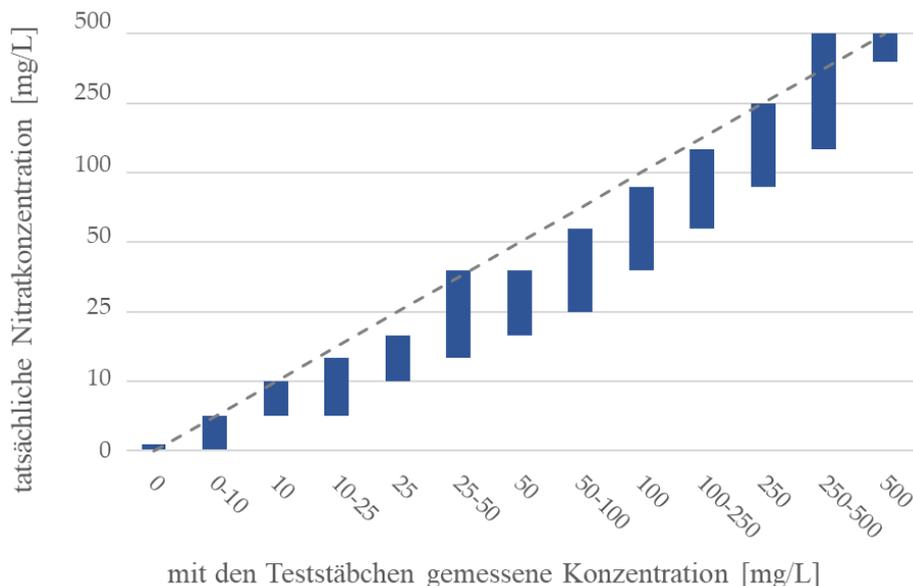


Abbildung 16: Validierung der Nitrat-Teststäbchen (eigene Abbildung mit Verwendung der Daten aus Rolf 2021).

Dennoch ist es mit den Teststreifen möglich, die Nitratbelastung der beprobten Gewässer halbquantitativ entsprechend der chemischen Grenzwerte und ökologischen Zielwerte zu bewerten (Bundesregierung 09.11.2010; Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 1998). Aufgrund der Unsicherheit der Ergebnisse müssen jedoch Zwischenkategorien hinzugefügt werden, bei denen eine eindeutige Zuordnung zu den Grenz- und Zielwerten nicht möglich ist. Die Zwischenkategorien erlauben nichtsdestotrotz eine Einschätzung der Nitratbelastung der Gewässer sowie einen Vergleich der Nitratbelastung mit anderen Probenahmestellen oder zu verschiedenen Zeitpunkten im Rahmen der räumlichen und zeitlichen Analysen. Die vorgeschlagene Kategorisierung findet sich in Tabelle 4, differenziert nach Oberflächengewässern (inkl. Regenwasser) und Grundwasser (Brockhage et al. 2022a).

Tabelle 4: Kategorisierung der Nitratmessungen entsprechender der Ziel- und Grenzwerte für Grundwasser und Oberflächengewässer (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser 1998; Bundesregierung 09.11.2010)

Kategorie	Mit den Teststäbchen gemessene Nitratkonzentration	Klassifizierung für fließende und stehende Gewässer und Regenwasser	Klassifizierung für Brunnen- und Quellenwasser
1	0 mg/L 0 bis 10 mg/L 10 mg/L	Geringe bis mäßige Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration bis 11,1 mg/L)	Geringe Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration bis 10 mg/L)
2	10 bis 25 mg/L 25 mg/L	Mäßige bis erhöhte Belastung	Geringe bis mittlere Belastung
3	25 bis 50 mg/L 50 mg/L	Erhöhte Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration 11,1 bis 44,3 mg/L)	Mittlere Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration 10 bis 50 mg/L)
4	50 bis 100 mg/L 100 mg/L	Erhöhte bis sehr hohe Belastung	Mittlere bis hohe Belastung
5	100 bis 250 mg/L 250 mg/L 250 bis 500 mg/L 500 mg/L	Sehr hohe Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration eindeutig über 44,3 mg/L)	Hohe Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration eindeutig über 50 mg/L)

Die Teststreifen sind damit geeignet, um einfache und kostengünstige, aber auch ausreichend genaue Messungen für den Citizen Science-Ansatz zu kombinieren, um einen großflächigen Überblick über die Nitratbelastung zu erhalten (Brockhage et al. 2022a).

4.1.2 Ergebnisse: Räumliche Verteilung der Probenahmestellen

Die Abdeckung des Untersuchungsgebiets und die räumliche Verteilung der Probenahmestellen werden im Folgenden am Beispiel der Heatmap der beprobten Brunnen dargestellt (vgl. Abbildung 17). Obwohl viele Bereiche des Einzugsgebietes eingeschlossen werden konnten,

wurden in einigen Gebieten, insbesondere in ländlichen Gegenden, keine oder nur wenige Proben genommen. Die Heatmap zeigt darüber hinaus, dass die Dichte der Messstellen in städtischen Gebieten höher ist als in ländlichen, in denen teilweise Messstellen für eine flächendeckende Erfassung fehlen. Aufgrund dieser inhomogenen Verteilung der Messstellen handelt es sich nicht um ein repräsentatives Messnetz.

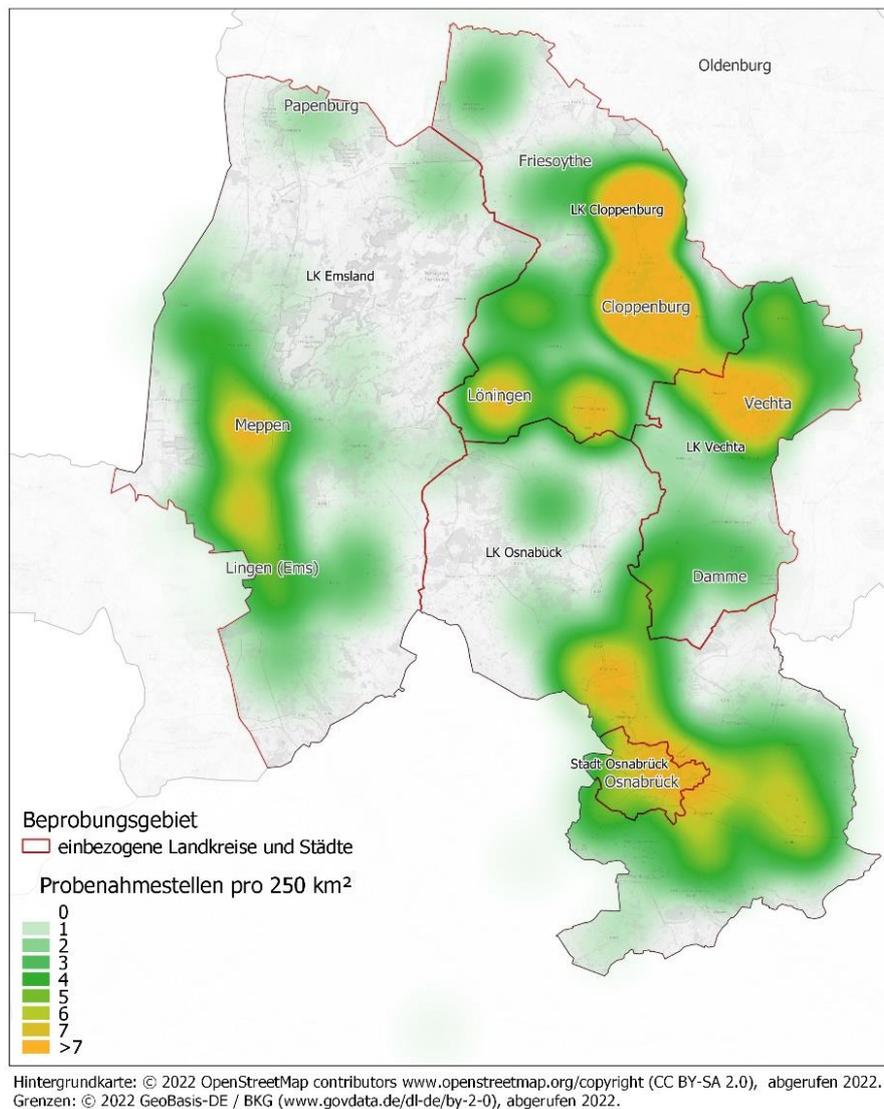


Abbildung 17: Heatmap der Brunnenwasser-Probenahmestellen (Radius: 8,92 km, kernel shape: bi-quadratisch) (eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten).

Die gleiche Beobachtung kann für fließgewässer gemacht werden. Stehende Gewässer, Regen- und Quellwasser wurden in viel geringerer Zahl beprobt und bilden weder ein flächendeckendes noch ein repräsentatives Messnetz. Eine repräsentative Bewertung der Nitratbelastung verschiedener Gewässertypen im gesamten Einzugsgebiet kann anhand der erhobenen Daten damit

nicht vorgenommen werden, zeitliche und räumliche Analysen zu den Einflüssen auf die Nitratbelastung sind jedoch möglich. Darüber hinaus geben die Ergebnisse einen Überblick über Gebiete mit hoher Nitratbelastung, sodass Gegenmaßnahmen diskutiert werden können. Die Ergebnisse können zudem als Grundlage für den Aufbau eines repräsentativen Messnetzes oder für die Ergänzung eines bestehenden Messnetzes durch weitere Messstellen genutzt werden (Brockhage et al. 2022a).

4.1.3 Ergebnisse: Überblick über die Nitratbelastung

Die Ergebnisse des Nitratmonitorings bestätigen, dass ein großer Anteil der Gewässer im Einzugsgebiet hohe oder sehr hohe Nitratbelastungen aufweist. So wird der chemische Grenzwert von 50 mg/L Nitrat im Grundwasser an 16,9 % der beprobten Brunnen eindeutig überschritten (bewertet anhand des 50. Perzentils der Mehrfachmessungen, vgl. Abbildung 18, links). Auch zwei von drei beprobten Quellen weisen mittlere bis hohe Nitratbelastungen auf (vgl. Abbildung 18, rechts).

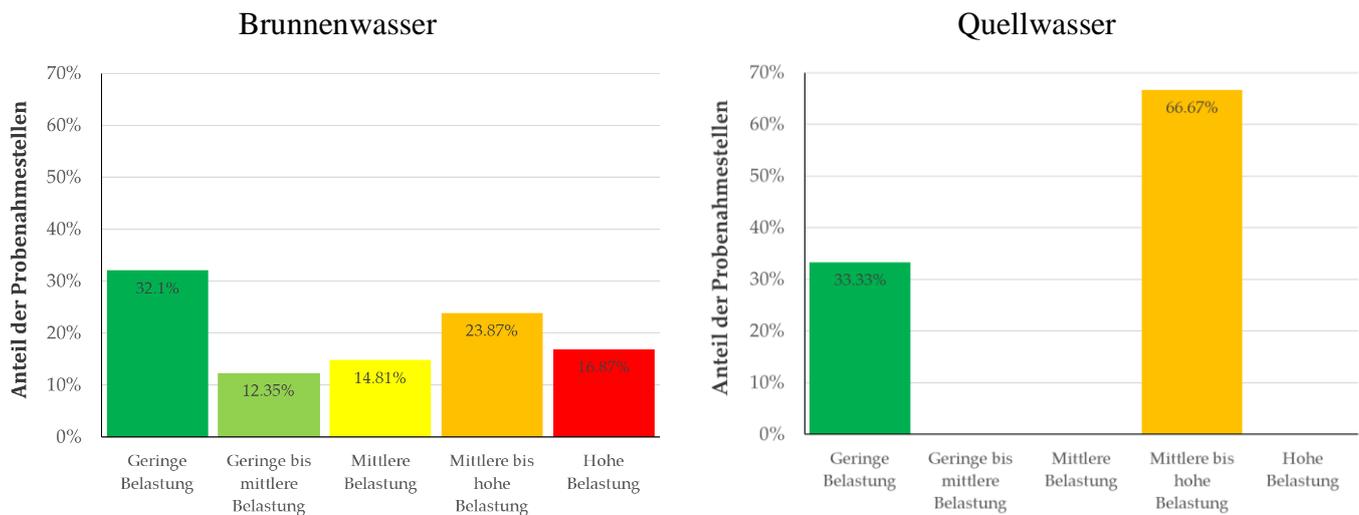


Abbildung 18: Nitratbelastung der beprobten Grundwasser-Probenahmestellen.

Nicht nur das Grundwasser, auch die beprobten Oberflächengewässer weisen hohe Nitratbelastungen auf. Nur 5 % der fließenden Gewässer konnten eindeutig als gering bis mäßig belastet eingestuft werden, 75 % überschritten entsprechend der Bewertung über das 90. Perzentil der Mehrfachmessungen im Messzeitraum den ökologischen Zielwert für Nitrat. Die Belastung der beprobten stehenden Gewässer ist insgesamt deutlich geringer, jedoch sind auch hier an 21,9 % der Messstandorte eindeutige Überschreitungen des ökologischen Zielwertes festzustellen. Die Regenwassermessstellen weisen die geringsten Belastungen auf, jedoch konnten auch hier an 3 Probenahmestellen erhöhte bis sehr hohe Nitratbelastungen gemessen werden.



Abbildung 19: Nitratbelastung der beprobten Oberflächengewässer- und Regenwasser-Probenahmestellen.

4.1.4 Ergebnisse: Einflüsse der Merkmale des Gewässers an der Probenahmestelle

Breite der beprobten Fließgewässer: Um den Zusammenhang zwischen der Breite der beprobten Fließgewässer und der Nitratbelastung zu überprüfen, wurde der Kendall-Tau-b Rangkorrelationskoeffizient berechnet. Die Teilnehmenden haben die Gewässer hierfür entsprechend ihrer Breite in folgende Klassen eingeordnet:

- unter 1 m (n = 20)
- 1 m bis 3 m (n = 51)
- 3 m bis 5 m (n = 15)
- 5 m bis 10 m (n = 15)
- über 10 m (n = 6)

Die Breite der Gewässer und die Nitratbelastung (90. Perzentil) korrelieren schwach negativ miteinander ($n = 107$, $\tau_b = -.149$, $p = .036$). Damit kann Hypothese FG-H1 bestätigt werden. Insbesondere Fließgewässer wie beispielsweise der Bornbach mit einer geringen Breite, die im Citizen Science-Projekt anstelle des Durchflusses vereinfacht gemessen wurde, weisen hohe Nitratbelastungen auf.

Schwankungen des Wasserstandes: Die Schwankungen des Wasserstandes der Fließgewässer wurden durch die Teilnehmenden anhand folgender Klassen bewertet:

- nahezu konstanter Wasserstand ($n = 41$)
- zeitweise sehr geringer Wasserstand ($n = 46$)
- zeitweise trockengefallen ($n = 7$)

Die Schwankungen des Wasserstandes und die Schwankung der Nitratbelastung (Spanne zwischen der höchsten Kategorie und geringsten Kategorie im Probenahmezeitraum, klassifiziert nach Tabelle 4) korrelieren ebenfalls schwach positiv miteinander, wie der Kendall-Tau-b Rangkorrelationskoeffizient zeigt ($n = 94$, $\tau_c = .294$, $p = .001$), sodass auch Hypothese FG-H2 bestätigt wird. Die Nitratkonzentration kann sowohl durch Verdunstung als auch durch starke Abschwemmungen von umliegenden Flächen erhöht sowie bei Starkregenereignissen durch Verdünnung verringert werden, wobei diese Ereignisse mit Schwankungen des Wasserstandes verbunden sind (Osterburg und Runge 2007).

Tiefe der beprobten Brunnen: Die Nitratkonzentrationen des Grundwassers sind unter anderem abhängig von der Tiefe (Wriedt et al. 2019). Eine Korrelation zwischen der Nitratbelastung der beprobten Brunnen und der Filtertiefe liegt jedoch nicht vor (Kendall-Tau-c: $n = 38$, $\tau_c = -.052$, $p = .682$). Somit kann BW-H1 nicht bestätigt werden. Dies kann unter anderen aus variierenden räumlichen Einflüssen, zum Beispiel der Bodenzusammensetzung, resultieren, welche in der Analyse nicht berücksichtigt wurden. Die deskriptive Statistik zeigt jedoch, dass Nitratkonzentrationen über 50 mg/L überwiegend bei Brunnen mit einer Filtertiefe von maximal 20 m auftreten. Darüber hinaus liegt eine signifikant negative Korrelation zwischen der mittleren Filtertiefe der beprobten Brunnen und den Schwankungen der Nitratbelastung vor ($n = 36$, $\tau_c = -.367$, $p = .001$), sodass Hypothese BW-H2 bestätigt werden kann. Insbesondere in tieferen Grundwasserkörpern liegen stabile Bedingungen vor, sodass auch die Nitratbelastungen in der Regel keine starken Schwankungen aufweisen (Bechtel 2008).

4.1.5 Ergebnisse: Räumliche Einflüsse

Einflüsse der Landbedeckung und -nutzung: Die Nitratbelastungen der beprobten Fließgewässer unterscheiden sich signifikant zwischen landwirtschaftlichen Flächen, bebauten Flächen

und Wäldern und naturnahen Flächen (Kruskal-Wallis-Test: $H = 11,048$, $p = 0,004$, $df = 2$). Ein Dunn-Bonferroni-Post-hoc-Test ergab, dass die Nitratbelastung der beprobten Fließgewässer in landwirtschaftlichen Flächen ($z = 3.248$, $p = .003$, $r = .397$) und in bebauten Flächen ($z = 2.479$, $p = .040$, $r = .292$) jeweils signifikant höher waren als die der beprobten Fließgewässer in Wäldern und naturnahen Flächen. Damit wird Hypothese FG-H3 bestätigt.

Aufgrund einer zu geringen Anzahl an Probenahmestellen in stehenden Gewässern konnte Hypothese SG-H2 nicht untersucht werden.

Darüber hinaus wurde ein Kruskal-Wallis-Test mit den Ergebnissen der Regenwasser-Probenahmestellen durchgeführt, um die Unterschiede der Nitratbelastung von Regenwasser in Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen sowie in städtisch geprägten Flächen im Vergleich zu den anderen Corine-Klassen der Ebene 2 zu analysieren. Es wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt ($H = 3,435$, $p = 0,180$, $df = 2$), jedoch zeigt die deskriptive Statistik, dass sich die drei am stärksten belasteten Regenwassermessstellen wie vermutet in Industrie-, Gewerbe- und Verkehrsflächen sowie in städtisch geprägten Flächen befinden.

Obwohl sich die Landbedeckung und -nutzung auch auf die Nitratbelastung des Grundwassers auswirkt, wie bereits verschiedene Studien gezeigt haben (u. A. Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) und Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) 2020), kann dieser Einfluss mit den Citizen Science-Daten nicht analysiert werden. Die Identifizierung der Landnutzung im Zustromgebiet der untersuchten Brunnen erfordert die Kenntnis weiterer Parameter (z. B. die Strömungsrichtung des Grundwassers), die mit dem Citizen Science-Ansatz mit einfachen Methoden nicht ermittelt werden können. Die räumliche Zuordnung der Daten nur anhand von GPS-Koordinaten würde zu einer Verzerrung der Datenergebnisse führen, da vertikale und horizontale Strömungen innerhalb der Grundwasserkörper nicht berücksichtigt werden würden (Cremer 2015).

Hydrogeologische Auswirkungen: Nicht nur die Landbedeckung und -nutzung, auch die hydrogeologischen Bedingungen wirken sich auf die Nitratbelastung des Grundwassers aus (Wriedt et al. 2019). Um diesen Einfluss zu untersuchen, wurde nach einer räumlichen Verknüpfung der Messstellen mit den hydrogeologischen Räumen, klassifiziert nach Geest, Niederung und Bergland (Hydrogeologische Raumgliederung von Deutschland (HYRAUM) 2015), ein Kruskal-Wallis-Test durchgeführt. Es wurden signifikante Unterschiede zwischen den Nitratbelastungen der beprobten Brunnen in Geest, Niederung und Bergland festgestellt ($H = 20,056$, $p < 0,001$, $df = 2$). Ein Post-hoc-Test mit Bonferroni-Korrektur zeigt, dass die Nitratbelastung der beprobten Brunnen in Geestgebieten signifikant höher ist als in der Niederung ($z = -44,841$, $p < 0,001$), was Hypothese BW-H3 bestätigt.

4.1.6 Ergebnisse: Jahreszeitliche Einflüsse

Wie angenommen, unterscheiden sich die Nitratkonzentrationen der Oberflächengewässer signifikant zwischen den verschiedenen Jahreszeiten (Friedman-Test Fließgewässer: Chi-Quadrat = 107,639, $p < 0,001$, $df = 5$, Friedman-Test stehende Gewässer: Chi-Quadrat = 16,216, $p = 0,006$, $df = 5$). Dunn-Bonferroni-Post-hoc-Tests ergaben, dass die Nitratbelastungen der Proben aus Fließgewässern im Sommer 2020 signifikant niedriger waren als im Winter 2019/2020 und Winter 2020/2021 (Sommer 2020 und Winter 2019/2020: $z = 1,777$, $p < 0,001$, $r = 0,672$, Sommer 2020 und Winter 2020/2021: $z = -0,994$, $p = 0,009$, $r = 0,376$). Bei den stehenden Gewässern verbleiben nach der Bonferroni-Korrektur keine signifikanten Unterschiede, jedoch ist in der deskriptiven Statistik deutlich zu erkennen, dass die Nitratbelastungen in den Sommermonaten ebenfalls niedriger sind als in den Wintermonaten (Abbildung 20, oben).



Abbildung 20: Jahreszeitliche Schwankungen der Nitratbelastung von Probenahmestellen in den Gewässertypen Fließgewässer, stehende Gewässer und Brunnenwasser.

Im Gegensatz dazu sind über den Messzeitraum keine saisonalen Unterschiede in den Nitratkonzentrationen der Brunnenwassermessstellen zu beobachten (Chi-Quadrat = 8,850, $p = 0,115$, $df = 5$) (Abbildung 20, unten). Auf Grundlage der Citizen Science-Daten können damit die Hypothesen FG-H4, SG-H3 und BW-H4 bezüglich der jahreszeitlichen Einflüsse verifiziert werden. Für Quellwasser lagen zu wenige Daten vor, um die Hypothese zu überprüfen.

4.1.7 Ergebnisse: Vergleich mit weiteren Messinitiativen

Vergleich mit den Daten des VSR-Gewässerschutzes: Unter Berücksichtigung der Messgenauigkeit der Teststreifen (vgl. Tabelle 4) und der sich daraus ergebenden Fehlerbereiche zeigt der Vergleich zwischen dem Datensatz des Citizen Science-Projektes und den VSR-Daten, dass die Anteile der Brunnen, die den chemischen Grenzwert überschreiten, in den verschiedenen Landkreisen vergleichbar sind (vgl. Abbildung 21).

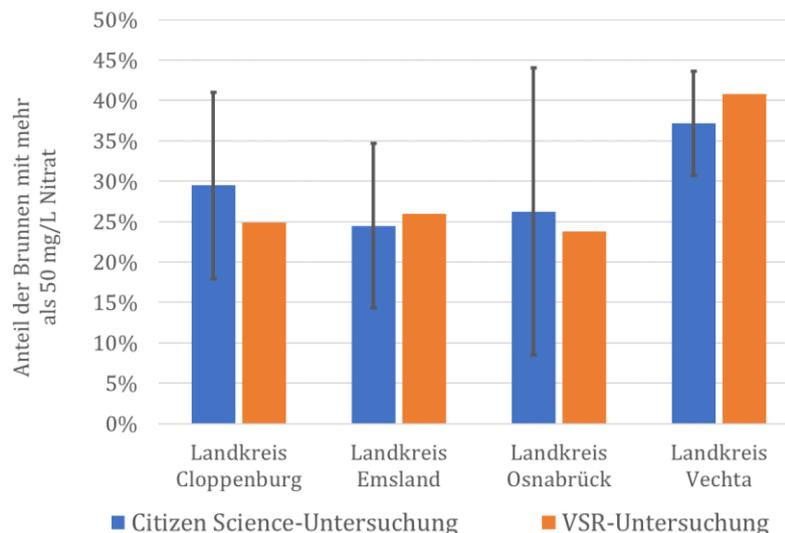


Abbildung 21: Vergleich der Citizen Science-Daten mit den Daten des VSR-Gewässerschutz (eigene Abbildung mit Daten aus VSR-Gewässerschutz e.V. 2021).

Vergleich mit den Daten des NLWKN: Die Nearest Neighbor-Analyse mit den Probenahmestellen des NLWKN und des Citizen Science-Projektes ergab eine Übereinstimmung der Klassifizierung der Nitratbelastung von 87,7 % für die Fließgewässer und 59,5 % für die beprobten Brunnen (vgl. Abbildung 22).

Die Probenahmestellen mit vom NLWKN abweichenden Ergebnissen wurden zu insgesamt 17 Fokusregionen zusammengefasst, so dass die Ursachen für die Abweichungen (zum Beispiel große Entfernungen zwischen den zugeordneten Messstellen, regional stark schwankende Nitratkonzentrationen oder möglicherweise Messfehler) mit dem NLWKN diskutiert werden können. Die Daten aus dem Citizen Science-Projekt können so z. B. Lücken im Messnetz des

NLWKN aufzeigen. Um Messfehler auszuschließen, sollen Wasserproben aus den Brunnen mit vom NLWKN abweichenden Ergebnissen in Zukunft photometrisch untersucht werden.

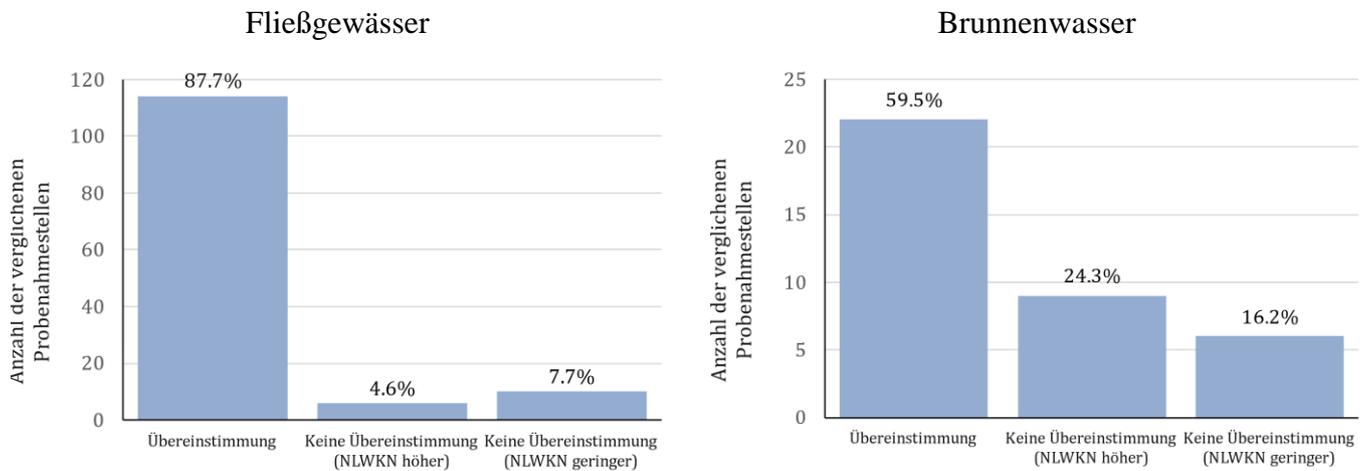


Abbildung 22: Vergleich der Citizen Science-Daten mit den Daten des NLWKN.

4.1.8 Gesamtbewertung des Potenzials des Citizen Science-Ansatzes

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wird die übergeordnete Forschungsfrage zum Potenzial des Citizen Science-Ansatzes für ein Monitoring und die Untersuchung der Stickstoffbelastung von Gewässern wie folgt beantwortet.

Durch das hohe Engagement und die Beteiligung der Bürger:innen konnte ein flächendeckendes Messnetz im Untersuchungsgebiet für Brunnenwasser und Fließgewässer aufgebaut werden, das einen großen Teil der einbezogenen Landkreise umfasst. Da die Messstellendichte in Gebieten mit hoher Bevölkerungsdichte deutlich höher ist, bilden die Messstellen kein repräsentatives Messnetz. Aufgrund einer geringeren Anzahl von Messstellen für stehende Gewässer, Regenwasser und Quellwasser war es ebenfalls nicht möglich, ein repräsentatives Messnetz für diese Gewässertypen zu erstellen. Dennoch geben die Citizen Science-Daten einen Überblick über die Nitratbelastung in der Region und können, wie gezeigt, Einflüsse auf die Nitratbelastung aufzeigen.

Die halb-quantitativen Monitoringdaten aus dem Citizen Science-Projekt können demnach für räumliche und zeitliche Analysen genutzt werden. Jahreszeitliche Schwankungen sowie der Einfluss von hydrogeologischen Bedingungen oder der Landbedeckung und -nutzung wurden beobachtet und mit statistischen Methoden bestätigt. Die Ergebnisse waren plausibel und stimmten mit den Hypothesen überein, was das wissenschaftliche Potenzial des bürgerwissenschaftlichen Ansatzes unterstreicht. Allerdings zeigt das durchgeführte Citizen Science-Projekt

auch Grenzen. So konnte der Einfluss der Landbedeckung und -nutzung auf die Belastung des Grundwassers nicht untersucht werden.

Ein Vergleich mit anderen Messinitiativen bestätigt die Datenqualität. Diskrepanzen zwischen den Ergebnissen ließen sich vor allem auf unterschiedliche Messbedingungen (z. B. Filtertiefen), auf große Entfernungen zwischen den durch die Nearest Neighbor-Analyse zugeordneten Probenahmestellen oder auf starke lokale Nitratschwankungen zurückführen.

Der Citizen Science-Ansatz ist damit eine innovative, erfolgsversprechende Methode zur Gewässerüberwachung, insbesondere in nicht oder wenig beprobten Gebieten.

Nicht zuletzt hat der Citizen Science-Ansatz das Potenzial, durch eine Sensibilisierung der Teilnehmer:innen zum Gewässerschutz beizutragen. Die Wirksamkeit des Citizen Science-Projekts auf das Umweltbewusstsein der Teilnehmer:innen sowie weitere Variablen wird aktuell in einer Begleitstudie untersucht, die in Kapitel 7 dargestellt wird. Weiteres Bildungspotenzial entfacht die Stickstoff-Box, wie im Folgenden dargestellt.

4.2 Teilprojekt 2: Stickstoff-Box

In zwei wissenschaftlichen Begleitstudien wurde anhand der Stickstoff-Box das Potenzial von Heimexperimenten im Citizen Science-Kontext untersucht. Hierfür wurde mit den beteiligten Bürger:innen eine Fragebogen- und eine Interviewstudie durchgeführt, deren wesentlichen Ergebnisse im Folgenden anhand der Forschungsfragen dargestellt werden.

4.2.1 Ergebnisse der Fragebogenstudie

Zusammen mit der Stickstoff-Box wurde den 97 Bürger:innen ein Post-Fragebogen zugesandt. Dabei sollten die Bürger:innen zunächst Qualität und Inhalt der Stickstoff-Box bewerten und beispielsweise einschätzen, inwiefern Inhalte für sie verständlich waren und dazu beigetragen haben, bestimmte Sachverhalte besser zu verstehen. Darüber hinaus wurden bereits validierte Skalen zu verschiedenen Bildungszielen von Citizen Science adaptiert und eingesetzt (Phillips et al. 2017; Phillips et al. 2015; Porticella et al. 2017). Für alle Items wurde eine fünfstufige Likert-Skala verwendet, bei der die Bürger:innen von 1 für „stimmt völlig“ bis 5 für „stimmt gar nicht“ einschätzen sollten, inwiefern die Box Einflüsse auf verschiedene Aspekte hatte. Der Fragebogen wurde von 36 Bürger:innen (25 männlich, 10 weiblich, 1 k. A.) zwischen 17 und 83 Jahren beantwortet.

1) *Wie bewerten die Bürger:innen den Inhalt und die Qualität der Stickstoff-Box?*

Auf einer Skala von 1 für eine positive bis 5 für eine negative Wahrnehmung wurde ein Mittelwert von 1,75 (SD = 0,51) erhalten.

2) *Welchen Einfluss hat die Nutzung der Stickstoff-Box auf das Interesse an Umweltthemen, die Selbstwirksamkeit des Umwelthandelns hinsichtlich der Stickstoffproblematik und die wissenschaftsmethodischen Kompetenzen?*

Hinsichtlich des Interesses an Umweltthemen ergab sich ein Mittelwert von 2,62 (SD = 0,88) auf einer Skala von 1 für eine starke Zunahme des Interesses bis 5 für keine Veränderung des Interesses. Bei der persönlichen Einschätzung der Bürger:innen zur Selbstwirksamkeit des Umwelthandelns lag der Mittelwert bei 2,84 (SD = 0,55) und bei den wissenschaftsmethodischen Kompetenzen bei 2,16 (SD = 0,61) auf der gleichen Skala.

3) *Inwiefern werden Auswirkungen des Interesses, der Selbstwirksamkeit, der wissenschaftsmethodischen Kompetenzen und die Bewertung des Inhalts und der Qualität der Stickstoff-Box vom Geschlecht, Alter und Bildungsabschluss der Bürger:innen beeinflusst?*

Mann-Whitney U Tests haben hinsichtlich des Geschlechts keine signifikanten Unterschiede ergeben. Um mögliche Effekte des Alters zu untersuchen, wurde die Stichprobe in zwei gleich große Altersgruppen geteilt (Gruppe A \leq 51 Jahre; Gruppe B \geq 52 Jahre) und nach Durchführung des Mann-Whitney U Tests keine signifikanten Unterschiede erhalten. Den einzigen signifikanten Unterschied gab es bei der Bewertung der Stickstoff-Box zwischen den Bürger:innen mit (MRank = 13,02) und ohne akademischen Abschluss (MRank = 24,95; U = 33.500; Z = -3,364, p < 0,001, r = -0,58).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, dass die Stickstoff-Box von den Bürger:innen positiv wahrgenommen wurde, wobei die Bürger:innen mit akademischen Abschluss die Box signifikant positiver bewertet haben. Es sollte bei der Nutzung von Heimexperimenten im Citizen Science-Kontext daher zukünftig noch verstärkter auf eine Eignung für eine breit gefächerte Lerngruppe geachtet werden. Bei den untersuchten Bildungszielen wurden nur leicht positive Effekte erhalten, wobei eine Ursache darin liegen kann, dass viele Bürger:innen schon vor Erhalt ein großes Interesse vorzeigen konnten, welches sich nur bedingt steigern ließ. Aufgrund der geringen Stichprobengröße können die Ergebnisse nicht als repräsentativ betrachtet werden, son-

dern geben lediglich erste Eindrücke zur Nutzbarkeit der Stickstoff-Box. Daher wurde als Ergänzung eine Interviewstudie durchgeführt, um vertiefte Eindrücke gewinnen und Handlungshinweise ableiten zu können.

4.2.2 Ergebnisse der Interviewstudie

Es wurden mit 10 Bürger:innen (8 männlich, 2 weiblich) Interviews durchgeführt, die mit Fokus auf vier Forschungsfragen ausgewertet wurden. Hierfür wurden induktiv Kategorien gebildet.

1) Welchen Zugang haben die Bürger:innen zum Thema Stickstoff?

Drei der befragten Bürger:innen haben sich erst mit Projektbeginn mit dem Thema beschäftigt (1,5 Jahre), die anderen sieben Bürger:innen schon vorher, sei es durch privates Interesse oder durch berufliche Bezüge. Das private Interesse wird hierbei vor allem durch die räumliche Nähe zur Landschaft hervorgerufen. Als inhaltliche Assoziationen wurden folgende Aspekte genannt:

- Düngung (6 Bürger:innen)
- Umweltbelastung (5 Bürger:innen)
- Industrie und Verkehr (3 Bürger:innen)
- Konsumverhalten und Ernährung (3 Bürger:innen)
- Wichtiger Pflanzennährstoff (3 Bürger:innen)
- Auswirkungen auf die Gesundheit (2 Bürger:innen)
- Misstrauen gegenüber Medien (2 Bürger:innen)
- Politik (2 Bürger:innen)
- Massentierhaltung (1 Bürger:in)

2) Warum entscheiden die Bürger:innen sich dazu, die Stickstoff-Box zu nutzen?

Die Gründe, warum die Bürger:innen sich für die Nutzung der Stickstoff-Box entschieden haben, sind ebenfalls vielfältig. Einige Bürger:innen waren schlichtweg neugierig und gingen ohne große Erwartungen an die Box heran (4 Bürger:innen). Andere wollten selbst aktiv werden und durch das Durchführen eigener Messungen ein gewisses Maß an Kontrolle ausüben können (6 Bürger:innen). Manche Bürger:innen fanden das Thema spannend (4 Bürger:innen), hatten Lust am Experimentieren (4 Bürger:innen) oder wollten die Inhalte zusammen mit ihren Kindern erkunden, um auch ihnen das Thema näher zu bringen (3 Bürger:innen). Es gab auch Bürger:innen, die das Projekt an sich und damit auch die Wissenschaft unterstützen wollten und dies als Grund zur Teilnahme nannten (4 Bürger:innen).

3) *Wie schätzen die Bürger:innen ihr eigenes Verhalten in Bezug auf die Stickstoffproblematik ein?*

Bezüglich der Einschätzung des eigenen Verhaltens konnten vier Aspekte abgeleitet werden:

- Bewusstes Leben und Konsumverhalten bereits vorhanden (6 Bürger:innen)
- Bewusstsein für Verbesserungspotenziale (5 Bürger:innen)
- Eigene Einschätzung schwierig (2 Bürger:innen)
- Verantwortung liegt nicht beim Einzelnen (1 Bürger:in)

Es wurde mehrfach betont, dass es eigentlich immer etwas zu verbessern gäbe. Jedoch würden Gewohnheit und Bequemlichkeit häufig dazu führen, dass vor allem bei der Lebensmittelauswahl oder Nutzung des Autos das Verbesserungspotenzial nicht ausgeschöpft würde. Dem gegenüber haben die Bürger:innen in einigen Bereichen ihr Verhalten als bereits bewusst und verantwortungsvoll bewertet:

- Bewusster Lebensmittelkonsum (4 Bürger:innen)
- Vermeidung der Nutzung des Autos (3 Bürger:innen)
- Bewusstes Bauen im Sinne des Gewässerschutzes (1 Bürger:in)
- Regelmäßige Diskussionen und (Selbst-)Reflexion (1 Bürger:in)

4) *Welche Auswirkungen hat die Nutzung der Stickstoff-Box auf die Bürger:innen?*

Neben methodischen und experimentellen Fertigkeiten haben die Bürger:innen vor allem inhaltliches Wissen und Bewusstsein für das Thema erworben, wobei folgende Aspekte identifiziert werden konnten:

- Bewusstwerdung der Komplexität des Themas (4 Bürger:innen)
- Allgemeine Auffrischung und Erweiterung des Wissens (3 Bürger:innen)
- Regionale Bezüge und Informationen (2 Bürger:innen)
- Bewusstwerdung der eigenen Verantwortung (1 Bürger:in)
- Einfluss der Bodenbeschaffenheit (1 Bürger:in)

Zudem wurde untersucht, inwiefern es Auswirkungen auf Einstellungen und Verhalten der Bürger:innen gab. Einige Bürger:innen fühlten sich in ihren Einstellungen gestärkt und meinten, dass sie nun bessere Argumente für zukünftige Diskussionen hätten (4 Bürger:innen). Zwei Bürger:innen zeigten eine erhöhte Bereitschaft, ihr eigenes Verhalten zu hinterfragen und zu reflektieren. Außerdem haben sich einige insgesamt deutlich tiefer mit dem Thema auseinandergesetzt (4 Bürger:innen) und zwar nicht nur für den Zeitraum, sondern auch längerfristig, was sich in dem Zitat eines Bürgers widerspiegelt:

„Ich glaube nicht, wenn wir diese Versuche einmal durchexerziert haben hier im Hause, dass das dann für uns ein Thema gewesen ist, was damit dann auch abgeschlossen ist. Ich glaube, dass wir dieses Thema dann auch hier zumindest bei uns im Hause weiter verfolgen werden.“ Bürger, 51 Jahre

Auch im Zuge der Interviews wurde deutlich, dass mit der Heterogenität der Zielgruppe Herausforderungen bezüglich einer angemessenen Materialkonzeption einhergehen. Trotzdem hat sich gezeigt, dass der Einsatz von Heimexperimenten insgesamt eine gute Möglichkeit bietet, fachliche Inhalte zu vertiefen und die Bürger:innen zum Austausch anzuregen.

4.3 Gemeinsame Arbeiten

4.3.1 Schülerlabore

Das für die Sekundarstufe II konzipierte Schülerlabor wurde von den Seminarfächern folgender Schulen besucht:

Tabelle 5: Besuch des Schülerlabors Sek. II

Name der Schule	Datum des Besuchs	Standort des Schülerlabors
Albertus-Magnus-Gymnasium Friesoythe	26.09.2019	Oldenburg
Windthorst-Gymnasium Meppen	04.11.2019	Osnabrück
Gymnasium Liebfrauenschule Cloppenburg	05.11.2019	Osnabrück
Gymnasium Bersenbrück	18.11.2019	Osnabrück
Gymnasium Damme	29.11.2019	Osnabrück
Gymnasium Papenburg	05.12.2019	Osnabrück
Clemens-August Gymnasium Cloppenburg	17.12.2019	Osnabrück
BBS am Museumsdorf Cloppenburg, Kurs I	20.01.2020	Oldenburg
BBS am Museumsdorf Cloppenburg, Kurs II	27.01.2020	Oldenburg
Gymnasium Marianum Meppen	27.01.2020	Osnabrück

Das Schülerlabor „Der Stickstoffproblematik auf der Spur“ für die Sekundarstufe I wurde ebenfalls bereits mehrfach durchgeführt, wie in folgender Tabelle dargestellt. Allerdings wurde der Schülerlabor betrieb durch die COVID-19-Pandemie stark eingeschränkt, sodass nicht die erwartete Anzahl an Durchführungen erreicht werden konnte.

Tabelle 6: Besuch des Schülerlabors Sek. I

Name der Schule	Datum des Besuchs	Standort des Schülerlabors
Gesamtschule Schinkel (Osnabrück) und Johannes-Althusius-Gymnasium Emden	18.05.2022	Osnabrück
Gymnasium Laurentianum Warendorf Kurs I	16.05.2022	Osnabrück (mobil durchgeführt in Warendorf)
Gymnasium Laurentianum Warendorf Kurs II	16.05.2022	Osnabrück (mobil durchgeführt in Warendorf)

4.3.2 Lehrerfortbildungen

Im Rahmen verschiedener Veranstaltungen wurde das konzipierte Lehrerfortbildungsformat zur Stickstoffproblematik angeboten, wobei es in einigen Veranstaltungen mit anderen Themen kombiniert wurde. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die durchgeführten Lehrerfortbildungen.

Tabelle 7: Angebotene Lehrerfortbildungen

Titel der Fortbildung	Datum	Standort
Lehrerfortbildung für die teilnehmenden Lehrkräfte	27.08.2019	Universität Osnabrück
„Nachhaltigkeit im Unterricht“	10.09.2019	DBU
„Das Thema Stickstoff im Chemieunterricht der Sek. I und II“	09.09.2021	digital
„Nachhaltig(keit) unterrichten: Experimenteller Chemieunterricht im Kontext der planetaren Leitplanken“	16.09.2022	Osnabrück (im Rahmen der FGCU-Fachgruppentagung)

4.3.3 Diskussionsveranstaltungen

An der digitalen Ergebnispräsentation und -diskussion haben insgesamt 42 Personen teilgenommen, für die Präsenzveranstaltung in Stapelfeld haben sich 42 Personen angemeldet. Damit wurden beide Formate in gleichem Maße von den Teilnehmenden und interessierten Personen angenommen. Darüber hinaus waren Vertreter des Kreislandvolkverbandes Cloppenburg sowie des NLWKN vertreten und haben die Diskussion unterstützt. Vor der Abschlussveranstaltung in Stapelfeld wurde ein Pressegespräch durchgeführt sowie eine Pressemitteilung veröffentlicht, sodass über das Projekt und seine Ergebnisse in mehreren Zeitungen sowie im Radio und im NDR berichtet wurde (vgl. Tabelle 8).

4.3.4 Digitale Ausstellung und Lerneinheit zur Nitratproblematik

Da die Ausstellung sowie die Lerneinheit digital angeboten wurden, ist kein Rückschluss auf die tatsächliche Teilnehmer:innenzahl möglich. Im Austausch mit den Teilnehmer:innen des Citizen Science-Projektes sowie interessierten Lehrer:innen wurde jedoch positives Feedback zu beiden Angeboten gegeben.

4.3.5 Weitere Arbeiten

Die **CitizenLab**-Boxen wurden im Rahmen der Diskussionsveranstaltung in Stapelfeld ausgestellt und standen interessierten Bürger:innen zum Mitnehmen zur Verfügung. Dieses Angebot wurde von einigen Bürger:innen wahrgenommen, sodass etwa 15 Boxen verteilt werden konnten.

Im **digitalen Workshop für alle DBU-geförderten Citizen Science-Projekte** wurden Potenziale und Expertisen verschiedener Projekte identifiziert. Die Ergebnisse des Workshops wurden bereits in einem internen Dokument zusammengefasst sowie mit der DBU geteilt. Einige Kontakte wurden auch über den Workshop hinaus genutzt, um die Erfahrungen aus dem hier dargestellten Projekt für zukünftig geplante Projekte zu teilen.

5. Diskussion

Die zentrale Zielsetzung des Projektes in Form einer inhaltlichen Auseinandersetzung mit der Nitratbelastung, der Durchführung eines Nitratmonitorings sowie von verschiedenen Experimenten konnte im Laufe des Projektes in vollem Umfang erfüllt werden. Inwiefern verschiedene Teilziele erfüllt wurden, ist anhand von Tabelle 8 dargestellt.

Tabelle 8: Erfüllung der Teilziele des Citizen Science-Projektes

Teilziel	Erfüllung im Citizen Science-Projekt
Informationsbeschaffung und Aufklärung über die Nitrat-Problematik in verschiedenen Gewässertypen	Bereitstellung mehrerer Themenhefte, Schülerlabore, einer Lerneinheit und eines WebQuests, u. a. abrufbar unter: https://www.chemie.uni-osnabrueck.de/forschung/didaktik/forschung/publikationen.html [20.09.2022] und https://uol.de/chemiedidaktik/arbeitsgebiete-und-projekte/citizen-science [20.09.2022]
Entwicklung von Ausstellungen zur Nitratthematik für verschiedene Personen- und Zielgruppen	Entwicklung und Vorstellung einer digitalen Ausstellung, abrufbar unter: www.nitrat.uos.de → Interaktive, digitale Ausstellung [20.09.2022]
Monitoring/Bestimmung von Nitratwerten in verschiedenen Gewässertypen über einen Zeitraum von 1,5 Jahren	Durchführung des Monitorings nach dem Citizen Science-Ansatz von September 2019 bis März 2021
Online-Kartographie der erhobenen Nitratwerte, aufgeteilt nach verschiedenen Gewässertypen	Entwicklung einer interaktiven Karte mit Darstellung der Messergebnisse, abrufbar unter: www.nitrat.uos.de → Interaktive Karte zum Nitrat-Monitoring [20.09.2022]
Durchführung von verschiedenen Methoden zur Bestimmung von Nitratkonzentrationen in Gewässern (nasschemisch-quantitativ, halb-quantitativ, photometrisch) und Diskussion über Gütekriterien und Vor- und Nachteile der jeweiligen Verfahren	Umsetzung in Schülerlaboren der Sekundarstufe II
Durchführung von Diskussionsveranstaltungen zur Nitratproblematik mit Expert:innen (insbesondere Diskussion der gewonnenen Monitoring-Ergebnisse)	Durchführung einer digitalen Veranstaltung über das Schlaue Haus Oldenburg und einer Präsenzveranstaltung in der Katholischen Akademie Stapelfeld unter Mitwirkung von Expert:innen

	des NLWKN und Kreislandvolkverbands Cloppenburg
Entwicklung von (Modell-)Experimenten zur Reduktion der Nitratkonzentrationen in verschiedenen Gewässertypen (Experimentierset)	Entwicklung eines Experimentiersets mit 15 Heimexperimenten
Durchführung der Experimente aus der Stickstoff-Box	Nutzung der Stickstoff-Box durch Seminarfächer in der Schule sowie durch knapp 100 Bürger:innen
Diskussion der Versuchsergebnisse in verschiedenen Diskussionsforen in den beteiligten Regionalen Umweltzentren	Aufgrund der COVID-19-Pandemie nicht umgesetzt, stattdessen eine digitale und eine Präsenzveranstaltung (s. o.)
Diskussion/Reflexion der eigenen Verhaltensweisen in Bezug auf eine Reduktion des Nitratreintrags in die Gewässer	Anregungen durch die Inhalte der Stickstoff-Box sowie durch weitere Begleitmaterialien und Schülerlabore
Information über verschiedene großtechnische Ansätze zur Reduktion des Nitratgehaltes im Trinkwasser (z. B. Ionentausch, umkehrosmotische Verfahren)	Bereitstellung durch Informationsmaterialien in der Stickstoff-Box, Experimentelle Erkundung in Schülerlaboren, Vortragsinhalte in Schülerlaboren und Öffentlichkeitsveranstaltungen
Kritische Reflexion und Auseinandersetzung zur heutigen Trinkwassernutzung	Anregungen durch die Inhalte der Stickstoff-Box sowie durch weitere Begleitmaterialien und Schülerlabore
Entwicklung von Ideen bzw. Handlungsempfehlungen, um den Nitratreintrag in die Umwelt nachhaltig zu reduzieren	Anregungen durch die Inhalte der Stickstoff-Box sowie durch weitere Begleitmaterialien und Schülerlabore
Darstellung der zentralen Projektergebnisse in Medien und mithilfe innovativer Veranstaltungsformaten zur Wissenschaftskommunikation	Durchführung einer digitalen Veranstaltung über das Schlaue Haus Oldenburg und einer Präsenzveranstaltung in der Katholischen Akademie Stapelfeld; Darstellung in den Medien (siehe Tabelle 9)

Im Zuge der COVID-19-Pandemie sind einige Abweichungen zu ursprünglichen Zielsetzungen entstanden. Konkret beinhaltet das vor allem die Anzahl sowie Art und Weise folgender Aspekte:

- **Schülerlabore:** Aufgrund der COVID-19-Pandemie konnten nur die Schülerlabore für die Seminarfächer der Sekundarstufe II zu Beginn des Projektes wie geplant durchgeführt werden. Für die Sekundarstufe I wurde ein erweitertes Schülerlabor konzipiert, welches aufgrund universitärer und schulischer Beschränkungen nur dreimal angeboten

wurde. Handreichungen zum Schülerlabor können öffentlich unter <https://osna-docs.ub.uni-osnabrueck.de/handle/ds-202205196952> [22.09.2022] abgerufen werden.

- **Lehrerfortbildungen:** Aufgrund der COVID-19-Pandemie konnten neben einer internen Fortbildung der am Projekt beteiligten Lehrkräfte nur zwei Veranstaltungen in Präsenz für weitere interessierte Lehrkräfte angeboten werden. Als Alternativangebot wurde eine digitale Fortbildung zur Stickstoffproblematik konzipiert und durchgeführt. Da dieses Angebot nur von wenigen Lehrkräften wahrgenommen wurde, wird die Fortbildung zukünftig wieder in Präsenz über das Lehrerfortbildungszentrum Chemie Nord-West angeboten.
- **Ausstellungen:** Aufgrund der COVID-19-Pandemie konnten keine Ausstellungen als Präsenzveranstaltung angeboten werden. Stattdessen wurde eine digitale Ausstellung entwickelt und mehrfach beworben.
- **Diskussionsveranstaltungen:** Aufgrund der COVID-19-Pandemie wurde anstelle mehrerer Präsenzveranstaltungen eine digitale und eine Präsenzveranstaltung durchgeführt.

Trotz der dargestellten Abweichungen konnten zahlreiche interessierte Schüler:innen, Bürger:innen und Wissenschaftler:innen für das Thema Gewässerschutz sensibilisiert und aktiv in die Forschung einbezogen werden. Eine große Unterstützung waren dabei die verschiedenen Kooperationspartner:innen, welche sich in verschiedene Projektphasen eingebracht haben. Die Datenauswertung wurde methodisch vom NLWKN und der Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück mit entsprechender Expertise unterstützt. Durch die Partizipation des Kreislandvolkverbandes Cloppenburg wurde nicht nur die Sichtweise der Landwirtschaft stetig konstruktiv eingebracht, sondern auch Vertrauen für das Projekt für Landwirt:innen geschaffen. Während der Ergebnispräsentation und -diskussion haben sich der NLWKN und der Kreislandvolkverband Cloppenburg als Projektpartner eingebracht, indem u. A. die Lösungsmaßnahmen der Landwirtschaft vom Kreislandvolkverband präsentiert wurden.

Der Fortschritt des Projektes sowie die Ergebnisse wurden außerdem regelmäßig gemeinsam mit dem Beirat des Projektes reflektiert. Durch die heterogene Zusammensetzung des Beirats aus Vertreter:innen aus der Wissenschaft, Schule und mit weiteren Projektpartner:innen konnten laufend verschiedene Zielgruppen des Projektes fokussiert sowie ihre Ansprüche an das Projekt berücksichtigt werden. Letzen Endes konnten dadurch alle Projektpartner:innen trotz teilweise anfänglicher Bedenken von dem Citizen Science-Ansatz überzeugt werden. Die Zusammenarbeit war dabei stets konstruktiv, es wurde auf Augenhöhe diskutiert und die Expertisen der jeweiligen Personen wurden von allen Beteiligten sehr wertgeschätzt.

6. Öffentlichkeitsarbeit

Die Ergebnisse wurden in verschiedenen Formaten für unterschiedliche Zielgruppen veröffentlicht. Einerseits wurden die Ergebnisse des Nitrat-Monitorings in einer Begleitbroschüre zusammengefasst, die allen Teilnehmenden des Nitrat-Monitorings sowie weiteren interessierten Personen zugesendet wurde (Brockhage et al. 2022d). Durch eine transparente, aber dennoch vereinfachte Darstellung der Ergebnisse konnten die Bürger:innen an den Ergebnissen partizipieren. In öffentlichen Abendveranstaltungen wurden die Ergebnisse außerdem präsentiert sowie die Möglichkeiten und Grenzen des Citizen Science-Ansatzes gemeinsam diskutiert. Hierbei haben sich nicht nur die Bürger:innen, Schüler:innen und Lehrer:innen beteiligt, sondern auch die Projektpartner:innen und weitere interessierte Bürger:innen aus der Region. Die Begleitbroschüre wurde ergänzt durch eine öffentlich zugängliche Online-Karte, auf welcher alle Probenahmestellen und Messergebnisse des Nitrat-Monitorings zu finden sind (www.nitrat.uos.de → Interaktive Karte zum Nitrat-Monitoring). Darüber hinaus wurden die Ergebnisse in verschiedenen Zeitungs- und Radiobeiträgen sowie in einem NDR-Beitrag aufgegriffen, so dass nicht nur bereits teilnehmende Bürger:innen, sondern auch die breite Öffentlichkeit erreicht werden konnte (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Beispiele der Medienresonanz zum Citizen Science-Projekt (inkl. Screenshots der angegebenen Webseiten)

Screenshot	Titel (Datum, Herausgeber)	Link [Stand 09.09.2022]
 <p>Warum die Osnabrücker Uni Nitrat-Teststäbchen verteilt <small>Von Robert Lohmann Lohmann 26.07.2019, 18:53 Uhr</small></p>	<p>Bürger machen mit beim Monitoring: Warum die Osnabrücker Uni Nitrat-Teststäbchen verteilt (26.07.2019, noz)</p>	<p>https://www.noz.de/lokales/osn-abrueck/artikel/uni-osnabrueck-hofft-auf-1000-teilnehmer-20478867</p>
 <p>Weser-Ems: Citizen-Science-Projekt zum Gewässerschutz <small>Zum ersten Mal haben Bürger:innen und Bürger aus dem Weser-Ems-Gebiet die Möglichkeit, aktiv an einem Forschungsprojekt zum Gewässerschutz der Universität Osnabrück und Oldenburg teilzunehmen. Das von der Deutschen Bundesanstalt Umwelt, Naturschutz und Bau (Umweltbundesamt) initiierte Projekt 'Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern' bietet dabei die Möglichkeit, sich für die nachhaltige Wassernutzung einzusetzen. Anmelden können sich Bürger:innen und Bürger unter www.nitrat.uos.de für das Nitrat-Monitoring anmelden.</small></p>	<p>Weser-Ems: Citizen-Science-Projekt zum Gewässerschutz (26.07.2019, Verband Biologie, Biowissenschaften & Biomedizin in Deutschland)</p>	<p>https://www.vbio.de/niedersachsen/news-aus-niedersachsen/news-details/aktiv-werden/weser-ems-citizen-science-projekt-zum-gewaesserschutz</p>
 <p>Uni Osnabrück möchte Bürger beim Gewässerschutz einbinden <small>Zum ersten Mal haben Bürger aus dem Weser-Ems-Gebiet die Möglichkeit, aktiv an einem Forschungsprojekt zum Gewässerschutz der Universität Osnabrück und Oldenburg teilzunehmen.</small></p>	<p>Uni Osnabrück möchte Bürger beim Gewässerschutz einbinden (29.07.2019, Grafschafter Nachrichten)</p>	<p>https://www.gn-online.de/osnabrueck/uni-osnabrueck-moechte-buerger-beim-gewaesserschutz-einbinden-310318.html</p>

<p>Webseite nicht mehr verfügbar</p>	<p>Uni-Projekt macht Bürger zu Nitrat-Kontrollleuren (04.09.2019, NDR)</p>	<p>https://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/hallo_niedersachsen/Uni-Projekt-macht-Buerger-zu-Nitrat-Kontrollleuren.hallonds53780.html (Webseite nicht mehr verfügbar)</p>
	<p>Datenflut aus OM: Bürger ziehen 8800 Nitratproben aus dem Wasser (10.05.2021, OM Online)</p>	<p>https://www.om-online.de/om/datenflut-aus-om-buerger-ziehen-8800-nitratproben-aus-dem-wasser-71534</p>
 <p>Nitratbelastung: Bürgerinnen und Bürger werden zu Forschenden</p>	<p>Nitratbelastung: Bürgerinnen und Bürger werden zu Forschenden (23.03.2022, NDR)</p>	<p>https://www.ndr.de/fernsehen/sendungen/hallo_niedersachsen/Nitratbelastung-Buergerinnen-und-Buerger-werden-zu-Forschenden.hallonds72118.html</p>
 <p>Stickstoffbelastung von Gewässern</p>	<p>Stickstoffbelastung von Gewässern (24.03.2022, innovations-report)</p>	<p>https://www.innovations-report.de/fachgebiete/oekologie-umwelt-naturschutz/stickstoffbelastung-von-gewaessern/</p>
 <p>Freiwillige messen erhöhte Nitrat-Belastung in Gewässern</p>	<p>Freiwillige messen erhöhte Nitrat-Belastung in Gewässern (24.03.2022, OM Online)</p>	<p>https://www.om-online.de/om/freiwillige-messen-erhohte-nitrat-belastung-in-gewaessern-116545</p>
 <p>PLUS Projekt der Unis Oldenburg und Osnabrück Zu viel Nitrat in vielen Flüssen im Nordwesten</p>	<p>Projekt der Unis Oldenburg und Osnabrück: Zu viel Nitrat in vielen Flüssen im Nordwesten (25.03.2022, NWZ)</p>	<p>https://www.nwzonline.de/plus-cloppenburg-kreis/stapelfeld-nitrat-fliessgewaesser-stark-belastet-a-51,6,2907210153.html#</p>
 <p>Viel Projekt mit 800 Freiwilligen Bürgerforscher stellen fest: Zu hohe Nitratwerte im Raum Osnabrück</p>	<p>Uni-Projekt mit 800 Freiwilligen, Bürgerforscher stellen fest: Zu hohe Nitratwerte im Raum Osnabrück (05.04.2022, noz)</p>	<p>https://www.noz.de/lokales/osnabrueck/artikel/buergerforscher-stellen-fest-zu-viel-nitrat-im-raum-osnabrueck-22918795</p>

Um den Mehrwert von Citizen Science hinsichtlich der Gewässerschutzforschung sowie das Potenzial der Stickstoff-Box in die Wissenschaftsgemeinschaft zu tragen, wurden darüber hinaus mehrere wissenschaftliche Artikel verfasst.

Als Reaktion auf die breite Öffentlichkeitsarbeit erhielten die Projektkoordinator:innen bereits mehrere Rückmeldungen, die das Projekt ausschließlich positiv bewerten. Unter anderem wurde bereits erfragt, ob weitere Schulklassen in das Projekt einsteigen können. Diese Rückmeldungen sowie die bereits dargestellten Ergebnisse des Projektes lassen darauf schließen, dass eine Weiterführung des Projektes sehr erfolgsversprechend wäre. Aktuell werden die Ergebnisse und Erfahrungen aus dem Projekt evaluiert, um gegebenenfalls weitere Citizen Science-Projekte oder andere Wissenschaftskommunikationsformate zu initiieren.

Die beiden konzipierten Schülerlabore sowie die Lehrerfortbildung werden in Zukunft weiterhin angeboten. Auch die digitale Ausstellung sowie die Lerneinheit werden zukünftig online auf den Webseiten der Chemiedidaktiken der Universitäten Oldenburg und Osnabrück zur Verfügung gestellt.

6.1 Tagungsbeiträge

Während der Projektlaufzeit wurden folgende Tagungsbeiträge präsentiert:

2022:

- World Environmental Education Congress 2022: Vortrag “Taking Responsibility and Conducting Research on Nitrogen Pollution of Water Bodies - How Citizen Science Can Contribute to Keeping Water Bodies Clean”
- Forum Citizen Science 2022: Vortrag „Bürgerforschung trifft Gewässerschutz - Ergebnisse eines Citizen Science-Projektes zur Stickstoffbelastung von Gewässern“

2021:

- LeLa-Jahrestagung 2021: Poster „*Gemeinsam für unsere Zukunft: Ein Citizen Science-Projekt zum Thema Gewässerschutz*“
- ESERA Conference 2021: Vortrag „*Effects of doing home experiments within a chemistry citizen science project*“
- Trainingsworkshop Bürger schaffen Wissen 2021: Vortrag „*Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern*“
- Forum Wissenschaftskommunikation 2021: Interaktives Format „*SDGs on Stage – aktuelle Forschung zu Themen der Nachhaltigkeit trifft auf Bürger*innen*“

- GDCP Jahrestagung 2021: Poster „*Citizen Science & Schule: Wirkungen eines Forschungsprojektes zum Thema Gewässerschutz*“
- GDCP Jahrestagung 2021: Vortrag „*Wirkung eines Heimexperimentiersets im Rahmen eines chemischen Citizen Science-Projektes*“
- Fortbildungs- und Vortragstagung der Fachgruppe Chemieunterricht 2021: Poster und Postervortrag „*Nutzung einer Heimexperimentierbox im Rahmen eines chemischen Citizen Science-Projektes*“
- Fortbildungs- und Vortragstagung der Fachgruppe Chemieunterricht 2021: Vortrag „*Gemeinsam für unsere Zukunft – Potenzial eines umweltrelevanten Citizen-Science-Projekts für den Chemieunterricht*“

2020:

- mitforschen! Das Citizen-Science-Festival 2020: Digitaler Messestand „*Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern*“
- Trainingsworkshop Bürger schaffen Wissen 2020: Vortrag „*Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern*“
- Bremerhavener MNU-Tagung 2020: Experimentalvortrag „*Der Stickstoffproblematik auf der Spur – Experimentelle Untersuchungen im Schülerlabor*“

2019:

- MNU-Tag Hannover 2019: Vortrag „*Forschungspaten für die Umwelt – Ein Citizen-Science-Projekt zum Gewässerschutz*“

6.2 Publikationen

Aus dem Projekt sind darüber hinaus folgende Publikationen hervorgegangen:

Artikel und Tagungsbandbeiträge

Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2021): Nachhaltigkeit in Gesellschaft, Wissenschaft, Politik und Schule. In: *Chem. Unserer Zeit* 55 (2), S. 125–129. DOI: 10.1002/ciuz.202000006.

Lüsse, Mientje; Brockhage, Frauke; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2021): Nachhaltige Unterrichtsvorschläge zur Stickstoffproblematik. In: *Chem. Unserer Zeit* 55 (3), S. 186–191. DOI: 10.1002/ciuz.202000005.

- Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2021): Citizen Science & Schule. Wie Schülerprojekte die Forschung zu Themen der Nachhaltigkeit vorantreiben können. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 32 (183), S. 8–15.
- Brockhage, Frauke; Amel, Henning; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022): "Vom VW-Abgasskandal zur Stickstoffproblematik". Ein Experimentalsetting (nicht nur) für den Chemieunterricht. In: *CHEMKON*. DOI: 10.1002/ckon.202100091.
- Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena (2022): Wirkung eines Heimexperimentiersets im Rahmen eines chemischen Citizen-Science-Projektes. In Habig, Sebastian; van der Vorst, Helena (Hrsg.): *Unsicherheit als Element von naturwissenschaftsbezogenen Bildungsprozessen. Gesellschaft für Didaktik der Chemie und Physik. Virtuelle Jahrestagung 2021*, S. 240-243.
- Lüsse, M., Brockhage, F., Beeken, M. & Pietzner, V. (2022). Gemeinsam für unsere Zukunft - Potenzial eines umweltrelevanten Citizen Science-Projektes für den Chemieunterricht. *CHEMKON*, 29(S1), 193–197. DOI: 10.1002/ckon.202100085.
- Lüsse, Mientje; Brockhage, Frauke; Beeken, Marco; Pietzner, Verena (2022): Citizen science and its potential for science education. In: *International Journal of Science Education*, S. 1–23. DOI: 10.1080/09500693.2022.2067365.
- Lüsse, Mientje; Brockhage, Frauke; Beeken, Marco; Pietzner, Verena (akzeptiert): Effects of Doing Home Experiments within a Chemistry Citizen Science Project. In: *ESERA (European Science Education Research Association) eProceeding 2021* (Stand 01.06.2022)
- Lüsse, M., Brockhage, F., Beeken, M. & Pietzner, V. (2022). Citizens' views on home experiments in the context of a chemistry citizen science project. *EURASIA Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(8), em2142. DOI: 10.29333/ejmste/12246.
- Brockhage, F., Lüsse, M., Klasmeier, J., Pietzner, V. & Beeken, M. (2022). Citizen Science as an Innovative Approach to Analyze Spatial and Temporal Influences on Nitrate Pollution of Water Bodies: Results of a Participatory Research Project in Germany. *Sustainability*, 14(15), 9516. DOI: 10.3390/su14159516.

Themenhefte

Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Mit Citizen Science die Nitratbelastung von Gewässern erforschen (Themenheft 1). Hg. v. Universität Osnabrück. <https://doi.org/10.48693/122>

Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Die Stickstoffproblematik (Themenheft 2). Hg. v. Universität Osnabrück. <https://doi.org/10.48693/123>

Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Ergebnisse des Nitrat-Monitorings (Themenheft 3). Hg. v. Universität Osnabrück. <https://doi.org/10.48693/124>

Lüsse, Mientje; Brockhage, Frauke; Beeken, Marco; Pietzner, Verena (2022): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Der Stickstoffproblematik auf der Spur (Themenheft 4: Stickstoff-Box - Begleitheft). Hg. v. Universität Osnabrück. <https://doi.org/10.48693/125>

Lüsse, Mientje; Brockhage, Frauke; Beeken, Marco; Pietzner, Verena (2022): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Der Stickstoffproblematik auf der Spur (Themenheft 5: Stickstoff-Box - Experimentierheft). Hg. v. Universität Osnabrück. <https://doi.org/10.48693/126>

Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Der Stickstoffproblematik auf der Spur (Themenheft 6: Schülerlabor, inkl. Begleitheft für Lehrkräfte). Hg. v. Universität Osnabrück. <https://doi.org/10.48693/127>

7. Fazit

Das Citizen Science-Projekt „Schüler und Bürger forschen zusammen mit Wissenschaftlern zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern“ hat sich hinsichtlich verschiedener Aspekte bewährt. Es konnte nicht nur gezeigt werden, dass der Citizen Science-Ansatz ein innovativer Ansatz mit einem hohen Potential für die Gewässerschutzforschung ist, sondern auch für den Gewässerschutz sensibilisieren kann. So konnten nicht nur verschiedene Einflüsse auf die Nitratbelastung anhand des Citizen Science-Datensatzes identifiziert werden, auch eine vertiefte Auseinandersetzung mit der Stickstoffbelastung von Gewässern wurde unter anderem durch die Stickstoff-Box erreicht, wie die entsprechende Begleitstudie ergab.

Einige wenige Anpassungen versprechen eine weitere Verbesserung des dargestellten Citizen Science-Konzeptes. Bei weiteren Citizen Science-Projekten könnte ein repräsentativeres Messnetz gegebenenfalls erreicht werden, indem das Projekt in weniger dicht besiedelten Regionen stärker beworben wird oder indem vordefinierte Messstellen an interessierte Bürger:innen vergeben werden. Falls erforderlich, könnten unterrepräsentierte Gebiete durch zusätzliche Probenahmen von Wissenschaftler:innen oder Studierenden überwacht werden. Es bleibt daher in weiteren Projekten zu prüfen, ob mit dem Citizen Science-Ansatz repräsentative Messnetze aufgebaut werden können. Mit den ausgewählten Teststreifen konnten des Weiteren nur halbquantitative Daten erhoben werden, die für eine erste Beurteilung der Nitratbelastung von Gewässern ausreichen. Durch die Verwendung eines kostengünstigen Farbsensors in Kombination mit Teststreifen in einem 3D-gedruckten Messgerät werden genauere und dennoch einfache, kostengünstige Messungen erwartet. Entsprechende Untersuchungen werden aktuell durchgeführt. Es bleibt zu prüfen, ob die Messdaten des Citizen Science-Projektes auch bei besserer Messgenauigkeit mit den Messungen anderer Messinitiativen übereinstimmen. Dennoch haben die Messdaten trotz der im Vergleich zu anderen Messmethoden ungenauen Nitrat-Teststäbchen zahlreiche Ergebnisse geliefert, die das wissenschaftliche Potenzial des Citizen Science-Ansatzes unterstreichen.

Im Rahmen der Begleitstudie werden die Wirkungen der Teilnahme am Citizen Science-Projekt als Schüler:in beziehungsweise Bürger:in aktuell hinsichtlich der folgenden Forschungsfragen untersucht:

1. Inwiefern kann das Citizen Science-Projekt zur Nitratproblematik das Umweltbewusstsein sowie Einstellungen und Kenntnisse zum Thema Gewässerschutz verschiedener Zielgruppen (teilnehmende Bürger:innen bzw. Forschungspat:innen) positiv beeinflussen und somit einen aktiven Beitrag zur Umweltbildung leisten?

2. Inwieweit hat die Teilnahme der Schüler:innen als Forschungspat:innen an einem Citizen Science-Projekt eine Wirkung auf Interesse und Motivation, Selbstwirksamkeitserwartung und Selbstkonzept, sowie die Views of Nature of Science im naturwissenschaftlichen Unterricht?

Hierzu wurde eine quantitative Fragebogenstudie im Pre- und Post-Format durchgeführt. Die Daten dieser Studie sind bereits vollständig erhoben und werden im Rahmen der Dissertation von Frauke Brockhage ausgewertet.

Die Sensibilisierung der Teilnehmenden fand unter anderem durch die Stickstoff-Box statt, welche insgesamt sehr positiv von den Bürger:innen bewertet wurde. Jedoch wurde die Stickstoff-Box von Bürger:innen mit akademischen Abschluss die Box signifikant positiver bewertet. Um der Heterogenität der Teilnehmenden zu begegnen, könnte die Stickstoff-Box beispielsweise um CitizenLabs erweitert werden, in denen die dargestellten Experimente gemeinsam von Bürger:innen und den Wissenschaftler:innen durchgeführt werden.

Ogleich aufgrund der COVID-19-Pandemie weniger Schülerlabore und Lehrerfortbildung durchgeführt werden konnten, haben sich die bestehenden Konzepte in den durchgeführten Veranstaltungen bewährt und werden auch weiterhin im GreebLab_OS, am Lehrerfortbildungszentrum Chemie NordWest und im Schülerlabor der Universität Oldenburg angeboten, sodass aus dem Projekt längerfristige Bildungsangebote hervorgegangen sind. Insgesamt waren keine Änderungen der Zielsetzung notwendig.

Damit kann das durchgeführte Citizen Science-Projekt nicht nur aus wissenschaftlicher Perspektive, sondern auch aufgrund der erreichten Bildungsziele und aus dem Projekt hervorgegangenen Materialien als Erfolg gewertet werden.

8. Literaturverzeichnis

- Anna Effertz (2021): Konzeption einer virtuellen Ausstellung zur Stickstoff- und Nitratproblematik. Masterarbeit. Universität Osnabrück, Osnabrück. Institut für Chemie neuer Materialien.
- Azote for Stockholm Resilience Centre (Hg.) (2022): Planetary boundaries. Online verfügbar unter <https://www.stockholmresilience.org/research/planetary-boundaries.html>, zuletzt geprüft am 26.09.2022.
- Bechtel, Antje (2008): Abschätzung regionaler Nitrateinträge in das Grundwasser unter Verwendung von Nmin-Daten. Zugl.: Karlsruhe, Univ., Diss., 2008. Verl. Siedlungswasserwirtschaft, Karlsruhe. Online verfügbar unter <http://digbib.ubka.uni-karlsruhe.de/volltexte/documents/479299>.
- Brandt, Peter (2009): Welternährung und Klimawandel – ein komplexes Problem. In: *J. Verbr. Lebensm.* 4 (1), S. 34–38. DOI: 10.1007/s00003-009-0426-0.
- Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Klasmeier, Jörg; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022a): Citizen Science as an Innovative Approach to Analyze Spatial and Temporal Influences on Nitrate Pollution of Water Bodies: Results of a Participatory Research Project in Germany. In: *Sustainability* 14 (15), S. 9516. DOI: 10.3390/su14159516.
- Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2021): Citizen Science & Schule. Wie Schülerprojekte die Forschung zu Themen der Nachhaltigkeit vorantreiben können. In: *Naturwissenschaften im Unterricht Chemie* 32 (183), S. 8–15.
- Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022b): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Der Stickstoffproblematik auf der Spur (Themenheft 6: Schülerlabor, inkl. Begleitheft für Lehrkräfte). Hg. v. Universität Osnabrück.
- Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022c): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Die Stickstoffproblematik (Themenheft 2). Hg. v. Universität Osnabrück.
- Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022d): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Ergebnisse des Nitrat-Monitorings (Themenheft 3). Hg. v. Universität Osnabrück.
- Brockhage, Frauke; Lüsse, Mientje; Pietzner, Verena; Beeken, Marco (2022e): Partizipative Forschung zur Nitratbelastung: Mit Citizen Science die Nitratbelastung von Gewässern erforschen (Themenheft 1). Unter Mitarbeit von Universität Osnabrück.

- Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (1998): Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland - Chemische Gewässergüteklassifikation. 1. Aufl. Berlin: Kulturbuchverlag (Oberirdische Gewässer: Konzepte und Strategien).
- Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL); Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (Hg.) (2020): Nitratbericht 2020. Gemeinsamer Bericht der Bundesministerien für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit sowie für Ernährung und Landwirtschaft.
- Bundesregierung (09.11.2010): Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung). GrwV, vom 04.05.2017.
- Bundesregierung (20.06.2016): Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (Oberflächengewässerverordnung). OGewV, vom 09.12.2020.
- CORINE Land Cover 5 ha (2018). CLC 5 (2021): GeoBasis-DE, Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG). Online verfügbar unter <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-landschaftsmodelle/corine-land-cover-5-ha-stand-2018-clc5-2018.html>, zuletzt geprüft am 02.05.2022.
- Cremer, Nils (2015): Nitrat im Grundwasser. - Eintrag, Verhalten und Entwicklungstrends. In: *Energie I wasser-praxis* (5).
- Dunn, Olive Jean (1964): Multiple Comparisons Using Rank Sums. In: *Technometrics* 6 (3), S. 241–252. DOI: 10.1080/00401706.1964.10490181.
- Faulstich, Martin; Egner, Sebastian; Köglmeier, Markus (2012): Nachwachsende Rohstoffe: Nutzungsoptionen und Nutzungskonkurrenz. In: *ifo Schnelldienst* 65 (12), S. 17–21. Online verfügbar unter <https://www.econstor.eu/handle/10419/165130>.
- Friedman, Milton (1937): The Use of Ranks to Avoid the Assumption of Normality Implicit in the Analysis of Variance. In: *Journal of the American Statistical Association* 32 (200), S. 675–701. DOI: 10.1080/01621459.1937.10503522.
- Galloway, James N.; Aber, John D.; ERISMAN, J. WILLEMA.N.; Seitzinger, Sybil P.; Howarth, Robert W.; Cowling, Ellis B.; Cosby, B. Jack (2003): The Nitrogen Cascade. In: *BioScience* 53 (4), S. 341. DOI: 10.1641/0006-3568(2003)053[0341:TNC]2.0.CO;2.

- Gerlach, Alexandra (2020): Streit um Agrarpolitik. Die Wut der Bauern. In: *Deutschlandfunk*, 16.01.2020. Online verfügbar unter <https://www.deutschlandfunk.de/streit-um-agrarpolitik-die-wut-der-bauern-100.html>, zuletzt geprüft am 16.04.2022.
- Hamacher, Jörn; Fuchs, Jacqueline; Oehlmann, Malte (2021): Stickstoff: Zu viel des Guten! Beteiligung von Bürger*innen auf dem Weg zu einer nationalen Stickstoffminderung. Hg. v. Umweltbundesamt.
- Höber, Alexa (2020): Wie Nitrat das Grundwasser belastet. In: *NDR*, 12.08.2020. Online verfügbar unter <https://www.ndr.de/ratgeber/verbraucher/Wie-Nitrat-Grundwasser-belastet,wasser714.html>, zuletzt geprüft am 16.04.2022.
- Hydrogeologische Raumgliederung von Deutschland (HYRAUM). Digitale Kartendaten v3.2. HYRAUM v32 (2015). Hannover: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Staatliche Geologische Dienste der Bundesländer.
- Kendall, Maurice G.; Gibbons, Jean Dickinson (1990): Rank correlation methods. 5. ed. New York: Oxford Univ. Press.
- Kruskal, William H.; Wallis, W. Allen (1952): Use of Ranks in One-Criterion Variance Analysis. In: *Journal of the American Statistical Association* 47 (260), S. 583. DOI: 10.2307/2280779.
- Landwirtschaftskammer Niedersachsen (Hg.) (2021): Nährstoffbericht für Niedersachsen 2019/2020.
- Mann, H. B.; Whitney, D. R. (1947): On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. In: *Ann. Math. Statist.* 18 (1), S. 50–60. DOI: 10.1214/aoms/1177730491.
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) (Hg.) (2020): Grundwasserbericht Niedersachsen. Kurzbericht 2020.
- Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN); Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) (Hg.) (2006): Leitfaden für die Auswahl von geeigneten Grundwassermessstellen für die niedersächsischen Grundwasserkörper im Rahmen des Grundwassermonitorings gemäß EG-WRRL.
- Nitratbelastung im Grundwasser. Zu viel Nitrat im Brunnenwasser (2021). In: *Meine Woche*, 29.10.2021. Online verfügbar unter <https://www.meine-woche.de/staedte/willich/vsr->

gewaesserschutz-zu-viel-nitrat-im-grundwasser_aid-63750253, zuletzt geprüft am 16.04.2022.

Osterburg, Bernhard; Runge, Tania (Hg.) (2007): Maßnahmen zur Reduzierung von Stickstoffeinträgen in Gewässer. Eine wasserschutzorientierte Landwirtschaft zur Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie. Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft. Braunschweig: Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) (Landbauforschung Völkenrode Sonderheft, 307).

Persson, Linn; Carney Almroth, Bethanie M.; Collins, Christopher D.; Cornell, Sarah; Wit, Cynthia A. de; Diamond, Miriam L. et al. (2022): Outside the Safe Operating Space of the Planetary Boundary for Novel Entities. In: *Environmental science & technology* 56 (3), S. 1510–1521. DOI: 10.1021/acs.est.1c04158.

Phillips, T.; Porticella, N.; Bonney, R. (2017): Skills for Science Inquiry Scale (Custom). Technical Brief Series. Hg. v. Cornell Lab of Ornithology. Ithaca NY.

Phillips, T.; Porticella, N.; Bonney, R.; Grack-Nelson, A. (2015): Interest in Science and Nature Scale (Adult Version). Technical Brief Series. Hg. v. Cornell Lab of Ornithology. Ithaca NY.

Porticella, N.; Phillips, T.; Bonney, R. (2017): Self-Efficacy for Environmental Action Scale (SEEA, Custom). Technical Brief Series. Hg. v. Cornell Lab of Ornithology. Ithaca NY.

Rolf, A. K. (2021): Analyse der Messgenauigkeit handelsüblicher Nitrat-Teststäbchen unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren (Masterarbeit). Universität Osnabrück. Osnabrück.

Steffen, Will; Richardson, Katherine; Rockström, Johan; Cornell, Sarah E.; Fetzer, Ingo; Bennett, Elena M. et al. (2015): Sustainability. Planetary boundaries: guiding human development on a changing planet. In: *Science (New York, N.Y.)* 347 (6223), S. 1259855. DOI: 10.1126/science.1259855.

VSR-Gewässerschutz e.V. (Hg.) (2021): Interaktive Nitratkarte - Überblick über die Belastung in den Kreisen. Online verfügbar unter <https://www.xn--vsr-gewässerschutz-wqb.de/nitratbelastung/belastetes-grundwasser/ni/>, zuletzt geprüft am 07.11.2021.

Wang-Erlandsson, Lan; Tobian, Arne; van der Ent, Ruud J.; Fetzer, Ingo; te Wierik, Sofie; Porkka, Miina et al. (2022): A planetary boundary for green water. In: *Nat Rev Earth Environ* 3 (6), S. 380–392. DOI: 10.1038/s43017-022-00287-8.

Wriedt, Gunter; Vries, Dieter de; Eden, Tanja; Federolf, Christian (2019): Regionalisierte Darstellung der Nitratbelastung im Grundwasser Niedersachsens. In: *Grundwasser* 24 (1), S. 27–41. DOI: 10.1007/s00767-019-00415-0.

9. Elektronischer Anhang

Der elektronische Anhang enthält folgende Inhalte. Die entsprechenden Dateiodner sind analog zu der hier aufgeführten Listung benannt und nummeriert.

9.1 Publikationen

9.1.1 Artikel und Tagungsbandbeiträge

9.1.2 Themenhefte

9.1.3 Poster

9.2 Zwischenberichte

9.3 Protokolle