

Begleitheft 3: Nitrat-Monitoring

Ergebnisse des Nitrat-Monitorings

Was kam
dabei heraus?



Ergebnisse des Nitrat-Monitorings

Projektvorstellung	S. 4
Ablauf des Nitrat-Monitorings	S. 6
Analyse der Messgenauigkeit der Teststäbchen	S. 8
Statistische Methoden	S. 10
Fragestellungen	S. 11
Allgemeine Datenübersicht und -auswertung	S. 12
Ergebnisse der einzelnen Gewässertypen	
Fließende Gewässer	S. 14
Stehende Gewässer	S. 18
Regenwasser	S. 20
Brunnenwasser	S. 22
Quellenwasser	S. 26
Vergleich mit bestehenden Messreihen	S. 27
Fazit: Der Beitrag von Citizen Science für die Forschung	S. 30
Was nun? (Lösungsstrategien)	S. 31
Die Online-Karte	S. 32
Citizen Science - Seien Sie weiterhin dabei!	S. 33
Von Forschungs- zu Bildungszielen: Die Begleitstudie	S. 33
Impressum und Literatur	S. 34

Projektvorstellung

Schüler:innen und Bürger:innen forschen zusammen mit Wissenschaftler:innen zum Thema Stickstoffbelastung von Gewässern

Ein Citizen Science–Projekt zum Thema Gewässerschutz

Erhöhte Nitratwerte in Oberflächengewässern sowie im Grund- und Trinkwasser sind seit vielen Jahren ein bekanntes und viel diskutiertes Thema in Niedersachsen. Der Überschuss an Nitrat hat nicht nur negative Auswirkungen auf die Umwelt, auch die Qualität des Grund- und Trinkwassers wird von den erhöhten Werten beeinflusst [1].

Mit dieser Problematik hat sich ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördertes Citizen Science–Projekt beschäftigt und ein flächen-deckendes Nitratmonitoring im Weser–Ems–Gebiet durchgeführt. Über eineinhalb Jahre haben sich rund 600 Bürger:innen und 200 Schüler:innen gemeinsam mit den Universitäten Oldenburg und Osnabrück nicht nur inhaltlich mit der Thematik auseinandergesetzt, sondern sind selbst aktiv geworden und haben die Nitratkonzentration von zahlreichen Gewässern im Weser–Ems–Gebiet gemessen. Über 8500 Gewässerproben wurden von den Projektteilnehmer:innen untersucht und von den Wissenschaftler:innen ausgewertet.

Neben den Nitratmessungen konnten die Teilnehmer:innen und Schüler:innen weitere Angebote der Universitäten Oldenburg und Osnabrück durchführen, die auf der folgenden Seite vorgestellt werden.

Obgleich die Ergebnisse bestätigen, dass viele Gewässer weiterhin hohe Nitratbelastungen aufweisen, werden viele Lösungsansätze bereits erfolgreich umgesetzt. In dieser Broschüre werden nicht nur die Ergebnisse des Nitrat–Monitorings präsentiert, sondern auch Lösungsmaßnahmen vorgestellt. Nicht zuletzt kann auch jede:r einzelne seinen oder ihren individuellen Stickstofffußabdruck reduzieren und so zum Umwelt– und Gewässerschutz beitragen.



gefördert durch



Deutsche
Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Teilprojekt 1: Universität Osnabrück

Gemeinsam mit rund 600 Bürger:innen und 200 Schüler:innen haben Prof. Dr. Marco Beeken und Frauke Brockhage von der Universität Osnabrück die Nitrat-Belastung von Gewässern erforscht. Die Teilnehmer:innen haben dabei von September 2019 bis März 2021 regelmäßig Gewässerproben im ganzen Weser-Ems-Gebiet untersucht. Die Wissenschaftler:innen haben die Daten im Anschluss gemeinsam mit der Umweltsystemforschung der Universität Osnabrück und mit Unterstützung des NLWKN ausgewertet. Die Ergebnisse des Projektes wurden im März 2022 in öffentlichen Abendveranstaltungen präsentiert und diskutiert.



Prof. Dr. Marco Beeken



M. Ed. Frauke Brockhage

Teilprojekt 2: Universität Oldenburg

Prof. Dr. Verena Pietzner und Mientje Lüsse von der Universität Oldenburg haben eine Stickstoff-Box als Ergänzung für das Citizen Science-Projekt entwickelt. Rund 100 Bürger:innen haben sich mit dieser Box nicht nur inhaltlich vertieft mit der Stickstoffproblematik auseinandergesetzt, sondern auch spannende Heimexperimente rund um verschiedene Stickstoffverbindungen wie Nitrat, Nitrit, Ammonium und Stickstoffdioxid durchgeführt.



Prof. Dr. Verena Pietzner



M. Ed. Mientje Lüsse

Gemeinsame Projekte

Gemeinsam wurden weitere Bildungsangebote zur Stickstoffproblematik realisiert. Neben Schülerlaboren, einer Unterrichtsreihe und Lehrerfortbildungen wurde auch eine digitale Ausstellung entworfen.

Besuchen Sie diese interaktive Ausstellung gerne auf www.nitrat.uos.de oder über den QR-Code!

UNIVERSITÄT OSNABRÜCK Carl von Ossietzky Universität Oldenburg DBU

Eine interaktive, digitale Ausstellung

Der Stickstoffproblematik auf der Spur

Start

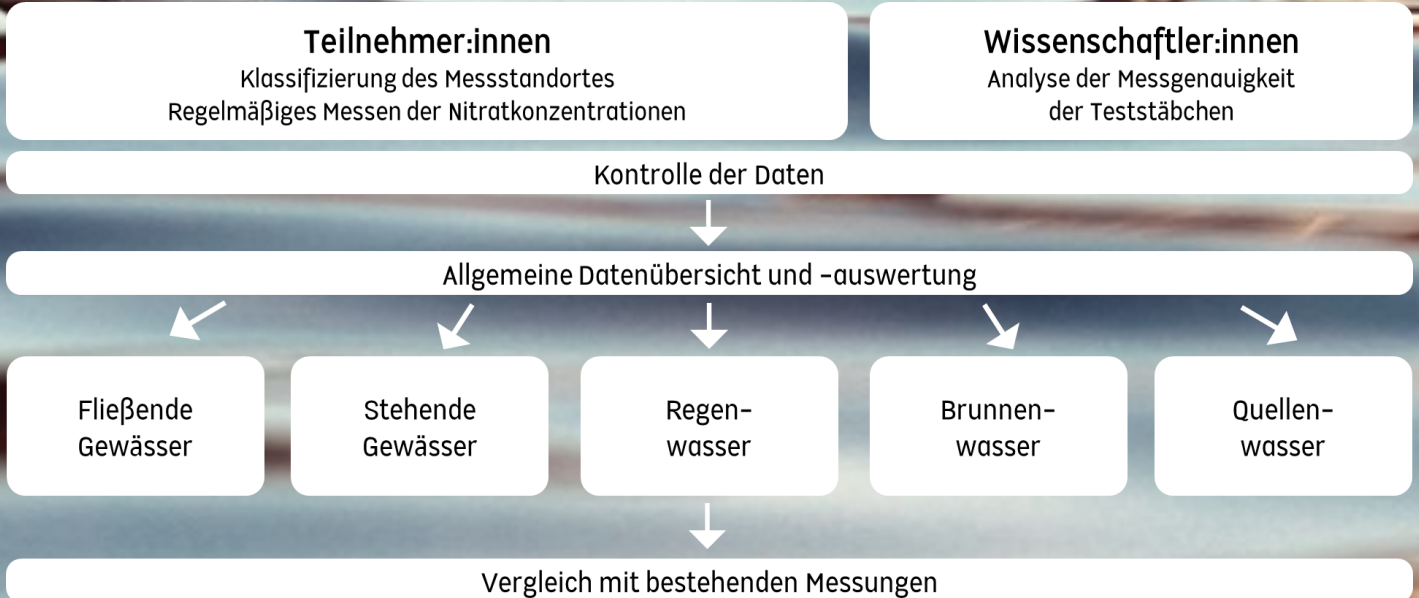
Ablauf des Nitrat-Monitorings

Wie lief das Nitrat-Monitoring überhaupt ab? Die Datenerhebung und -auswertung gliedert sich in verschiedene Phasen.

Im Beprobungszeitraum (September 2019 – März 2021) haben die Bürger:innen mit Unterstützung der Schüler:innen etwa zweiwöchentlich Nitratmessungen in verschiedenen Gewässern vor ihrer Haustür durchgeführt (vgl. S. 7). Dabei wurden Fließ- und Standgewässer sowie Regen-, Brunnen- und Quellenwasser beprobt. Darüber hinaus konnten die Teilnehmer:innen die Gewässerstandorte mit einem Fragebogen genauer klassifizieren und zum Beispiel die Filtertiefe des beprobten Brunnens oder die Breite des Fließgewässers angeben. Im Anschluss haben die Teilnehmer:innen und Wissenschaftler:innen alle eingegangenen Daten hinsichtlich ihrer Vollständigkeit und Korrektheit kontrolliert. Parallel haben die Wissenschaftler:innen die Messgenauigkeit der Teststäbchen im Labor untersucht (vgl. S. 8 ff.).

Im Anschluss wurden die Daten von den Wissenschaftler:innen mit verschiedenen statistischen Methoden ausgewertet (vgl. S. 10 ff.). Neben einer allgemeinen Datenauswertung wurden räumliche und zeitliche Einflussfaktoren auf die Nitratbelastung der verschiedenen Gewässertypen untersucht (vgl. S. 12 ff.).

Im letzten Schritt wurden die Ergebnisse mit bereits bestehenden Messungen des Niedersächsischen Landesbetriebs für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN) und des VSR-Gewässerschutz e.V. verglichen, um zu evaluieren, wie gut sich der Citizen Science-Ansatz zur Untersuchung der Nitratbelastung eignet (vgl. S. 27 ff.)



Soviel zum allgemeinen Ablauf der Datenerhebung und –auswertung. Werfen wir nochmal einen genauen Blick auf die Datenerhebung durch die Teilnehmer:innen und die Unterstützung durch die Schüler:innen!

1

Anmeldung



Über eine Online-Plattform oder die teilnehmenden Schulen konnten sich alle interessierten Bürger:innen zum Projekt anmelden.



2

Im Anschluss haben die Teilnehmer:innen von den Schüler:innen oder Wissenschaftler:innen eine Material-Box erhalten.



3

In der Material-Box fanden die Teilnehmer:innen Teststäbchen, ein Messprotokoll, ggfs. einen Regenmesser, eine Begleitbroschüre und ein Schnappdeckelglas zur Probenahme.

4



Mit diesem Equipment ausgestattet konnten die Teilnehmer:innen Proben in verschiedenen Gewässern in Ihrer Region nehmen...

5



... und mit den Teststäbchen die Nitratkonzentration der Gewässerprobe bestimmen.

6



Diese Website benötigt Ihren Standort. Bitte stellen Sie sicher...

Über eine Webseite wurden die Messergebnisse an die Universität Osnabrück übermittelt.

7



Zusätzlich konnten die Teilnehmer:innen weitere Infos zu den Gewässern (z. B. die Filtertiefe des probierten Brunnens) angeben.

Kontrolle der eingegebenen Daten

8

Zum Schluss wurden die Daten nochmal von den Teilnehmer:innen und Wissenschaftler:innen kontrolliert.

© Universität Osnabrück/Frauke Brockhage (Bild 1,3,6,7,8);
Windthorst-Gymnasium Meppen/Mike Horas (Bild 2);
Universität Osnabrück/Elena Scholz (Bild 4,5)

Analyse der Messgenauigkeit der Teststäbchen

„Wer misst, misst Mist“

Dieses Zitat ist beinahe ein Grundsatz in der Messtechnik. Daher ist es bei jedem Messvorhaben wichtig, die Messgenauigkeit der verwendeten Messmethode zu kennen. Im Labor haben die Wissenschaftler:innen der Universität Osnabrück die verwendeten Nitrat-Teststäbchen genauer unter die Lupe genommen – oder das sogenannte Photometer, mit dem die Intensität der Färbung des Testfeldes gemessen werden kann. In einer umfassenden Analyse wurde gemeinsam mit 19 Proband:innen die Genauigkeit der Nitratmessung durch die Verfärbung des Testfeldes hinsichtlich verschiedener Einflussfaktoren untersucht [2].

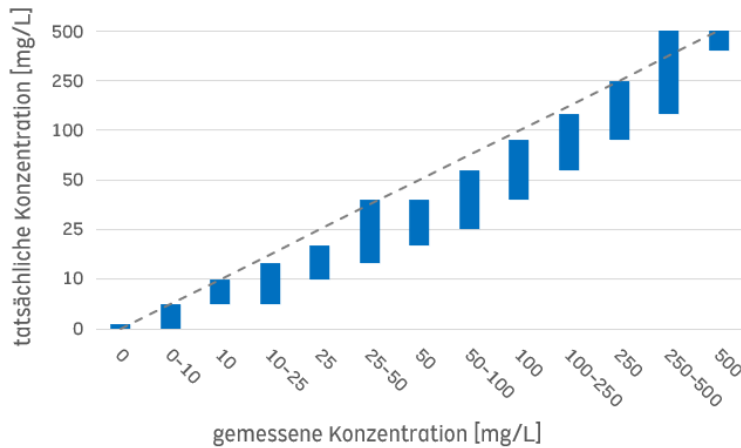
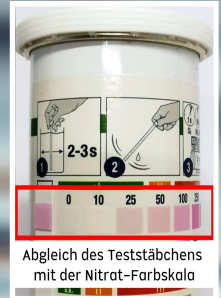
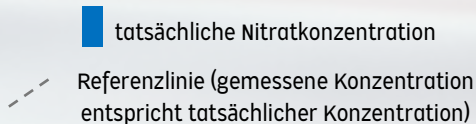


Abbildung 1: Analyse der Messgenauigkeit der Teststäbchen (eigene Abbildung)



Ein wichtiges Ergebnis dieser Analyse: Die Nitratkonzentration einer Probe wird durch die verwendeten Nitrat-Teststäbchen über den gesamten Messbereich tendenziell überbewertet. Dieser Fehler wurde quantifiziert und in der Datenauswertung berücksichtigt, mehr dazu auf S. 9.

In dem links dargestellten Diagramm sind in blau die Konzentrationen dargestellt, die mit hoher Wahrscheinlichkeit vorliegen, wenn mit den Teststäbchen ein bestimmter Wert abgelesen wurde. Wird zum Beispiel eine Konzentration von 25 mg/L Nitrat mit den Teststäbchen gemessen, liegt die tatsächliche Konzentration sehr wahrscheinlich zwischen 10 mg/L und 20 mg/L. Die blauen Intervalle der tatsächlichen Konzentrationen liegen überwiegend unter der gestrichelten Referenzlinie. Dadurch lässt sich die Überbewertung durch die Teststäbchen erkennen.

Ein zweites Ergebnis: Über die Verfärbung der Teststäbchen lässt sich die Nitratkonzentration eigentlich sehr genau bestimmen. Der limitierende Faktor für die Messgenauigkeit ist jedoch die begrenzte Fähigkeit des menschlichen Auges, kleine Farbunterschiede wahrzunehmen. Daher entwickeln die Wissenschaftler:innen aktuell eine Messmethode, durch welche die Teststäbchen mithilfe eines Farbsensors in einer 3D-gedruckten Messvorrichtung ausgewertet werden.



Können Sie noch einen Farbunterschied wahrnehmen? Ein Farbsensor schon!



Anhand der Ergebnisse der Laboranalyse wurden die eingegangenen Messdaten in verschiedene Kategorien entsprechend gesetzlicher Grenzwerte und empfohlener Güteklassen für die Nitratbelastung eingeordnet.

Für Grund- und Trinkwasser gilt ein chemischer Grenzwert von 50 mg/L Nitrat [3, 4]. Alle Konzentrationen über 50 mg/L werden als hoch belastet bewertet. Bis 10 mg/L gehen die Wissenschaftler:innen von einer geringen, ggfs. natürlichen Belastung aus, zwischen 10 und 50 mg/L von einer mittleren Belastung. Einige der abgelesenen Konzentrationen lassen sich nicht eindeutig in diese Kategorien einordnen, da die Genauigkeit der Nitrat-Teststäbchen nicht ausreicht. Bei einer abgelesenen Konzentration von 10 bis 25 mg/L ist beispielsweise nicht eindeutig, ob die tatsächliche Konzentration über oder unter 10 mg/L liegt (vgl. Abb. 1). Daher ergeben sich zusätzlich die Zwischenkategorien „geringe bis mittlere Belastung“ und „mittlere bis hohe Belastung“. Insgesamt werden die Messwerte wie folgt eingeordnet.



Kategorien Brunnen - und Quellenwasser	Abgelesene Konzentrationen
Kategorie 1: Geringe Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration bis 10 mg/L)	0 mg/L; 0 bis 10 mg/L; 10 mg/L
Kategorie 2: Geringe bis mittlere Belastung	10 bis 25 mg/L; 25 mg/L
Kategorie 3: Mittlere Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration 10 bis 50 mg/L)	25 bis 50 mg/L; 50 mg/L
Kategorie 4: Mittlere bis hohe Belastung	50 bis 100 mg/L; 100 mg/L
Kategorie 5: Hohe Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration eindeutig über 50 mg/L)	100 bis 250 mg/L; 250 mg/L; 250 bis 500 mg/L; 500 mg/L

Für die Auswertung der Oberflächengewässer wurden die Güteklassen der LAWA (Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser) herangezogen [5]. Bis zu einer Nitratkonzentration von 11.1 mg/L (Güteklasse 1 und 2) gelten Gewässer als unbelastet, gering oder mäßig belastet. Gewässer, die in diesen Güteklassen liegen, erfüllen hinsichtlich der Nitratbelastung die Zielvorgabe, die alle Schutzgüter berücksichtigt, also zum Beispiel Lebensgemeinschaften unter Wasser oder die Trinkwasserversorgung. Konzentrationen über diesem Zielwert bis 44.3 mg/L Nitrat (Güteklasse 3) werden von den Wissenschaftler:innen als erhöhte Belastung bewertet, alles darüber hinaus als sehr hohe Belastung (schlechter als Güteklasse 3). Aus diesen Grenzwerten haben die Wissenschaftler:innen folgende Kategorien für die Auswertung der Messergebnisse des Nitrat-Monitorings abgeleitet.

Kategorien Fließ-, Standgewässer und Regenwasser	Abgelesene Konzentrationen
Kategorie 1: Geringe bis mäßige Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration bis 11.1 mg/L)	0 mg/L; 0 bis 10 mg/L; 10 mg/L
Kategorie 2: Mäßige bis erhöhte Belastung	10 bis 25 mg/L; 25 mg/L
Kategorie 3: Erhöhte Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration 11.1 bis 44.3 mg/L)	25 bis 50 mg/L; 50 mg/L
Kategorie 4: Erhöhte bis sehr hohe Belastung	50 bis 100 mg/L; 100 mg/L
Kategorie 5: Sehr hohe Belastung (tatsächliche Nitratkonzentration eindeutig über 44.3 mg/L)	100 bis 250 mg/L; 250 mg/L; 250 bis 500 mg/L; 500 mg/L



Skalierung der Daten

Mit den Teststäbchen lassen sich keine exakten Nitratkonzentrationen messen. Dennoch sind die Teststäbchen geeignet, um Tendenzen festzustellen und die gemessenen Daten in die auf der vorherigen Seite dargestellten Kategorien einzuordnen. Diese Kategorien zur Nitratbelastung können in eine natürliche Reihenfolge gebracht werden, von geringen zu hohen Nitratkonzentrationen. Somit handelt es sich um sogenannte ordinale Daten. Andere Beispiele für ordinale Daten sind Altersgruppen (0-30 Jahre, 31-60 Jahre, über 60 Jahre) oder der Schärfegrad eines Essens (mild < scharf < sehr scharf). Da die Abstände zwischen den Kategorien ordinaler Daten nicht vergleichbar sind, lässt sich zum Beispiel kein Mittelwert berechnen. Daher wird bei der Auswertung auf sogenannte Perzentile zurückgegriffen.

Perzentile

Die meisten Messstandorte wurden in der 18 monatigen Beprobungsphase mehrfach beprobt. Um einen Messstandort für die Gesamtauswertung in eine Kategorie einzuordnen, wurde je nach Gewässertyp entweder das 50. oder 90. Perzentil berechnet. Das 50. Perzentil ist das ordinale Pendant zum Mittelwert (arithmetisches Mittel) und wird für alle Grundwassermessstandorte verwendet [4]. Es beschreibt die Kategorie, in oder unter der mindestens 50 % der gemessenen Werte liegen. Das 90. Perzentil wird entsprechend der LAWA-Beurteilung für die Nitratbelastung von Oberflächengewässern herangezogen [5]. Es entspricht in der Datenauswertung der Kategorie, in oder unter der mindestens 90 % der gemessenen Werte liegen. Vorteile dieser Methode für die Auswertung werden auf S. 17 beschrieben. Ein Beispiel ist rechts zu sehen: An einem Messstandort wurde 10 mal gemessen. 6 Messwerte liegen in Kategorie 1, 3 Messwerte in Kategorie 2 und 1 Messwert in Kategorie 3. Das 50. Perzentil für diesen Messstandort wäre Kategorie 1, das 90. Perzentil wäre Kategorie 2.



Statistische Testverfahren

Mithilfe statistischer Testverfahren wurden zudem verschiedene Fragestellungen untersucht. Für ordinale Daten können sogenannte nicht-parametrische Testverfahren wie der Kendall-Tau-Korrelationskoeffizient oder der Friedman-Test angewendet werden [6]. Um die Ergebnisse übersichtlich zu halten, werden die statistischen Testergebnisse auf den kommenden Seiten für alle Interessierten in einer Statistik-Infobox angegeben. Die Interpretation dieser Tests finden Sie anschaulich in Textform, sodass die Ergebnisse auch ohne statistische Vorerfahrung gut nachvollziehbar sind.



„Ich bin eine
Statistik-Infobox“

Fragestellungen



Vor der Analyse der Daten wurden von den Wissenschaftler:innen verschiedene Fragestellungen formuliert. Dabei wurden auch Anregungen der teilnehmenden Schüler:innen berücksichtigt. Folgende **allgemeine Fragen** sind dabei heraus gekommen.

1. Inwieweit lässt sich mit dem Citizen Science-Ansatz ein flächendeckendes Nitrat-Monitoring verschiedener Gewässertypen im Weser-Ems-Gebiet realisieren?
2. Wie hoch sind die Nitratbelastungen der beprobten Gewässer im Einzugsgebiet des Nitrat-Monitorings?



Neben diesen allgemeinen Fragestellungen wurden auch verschiedene **räumliche Einflüsse** auf die Nitratbelastung anhand folgender Fragen untersucht.

3. Inwieweit ist es möglich, mit den durch das Citizen Science-Projekt gewonnen Daten räumliche Analysen zur Nitratbelastung der beprobten Gewässer durchzuführen?
4. Gibt es einen Zusammenhang zwischen räumlichen Einflussfaktoren (Landbedeckung und -nutzung, hydrogeologische Bedingungen) und der Nitratbelastung der beprobten Gewässer?

Darüber hinaus wurde die **jahreszeitliche Entwicklung** der Nitratbelastungen mit folgenden Fragestellungen analysiert.

5. Inwieweit ist es möglich, mit den durch das Citizen Science-Projekt gewonnen Daten zeitliche Analysen zur Nitratbelastung der beprobten Gewässer durchzuführen?
6. Gibt es einen Zusammenhang zwischen zeitlichen Einflussfaktoren und der Nitratbelastung der beprobten Gewässer?



Nicht zuletzt wurden die Ergebnisse des Citizen Science-Projektes **mit anderen Messinitiativen verglichen**, um folgende Fragestellungen zu beantworten.

7. Inwieweit stimmen die Ergebnisse des Citizen Science-Projektes mit anderen Messinitiativen überein?
8. Inwieweit ergänzen die Daten des Citizen Science-Projektes bereits bestehende Datenbestände?

VSR

Citizen
Science

NLWKN

Allgemeine Datenübersicht und -auswertung

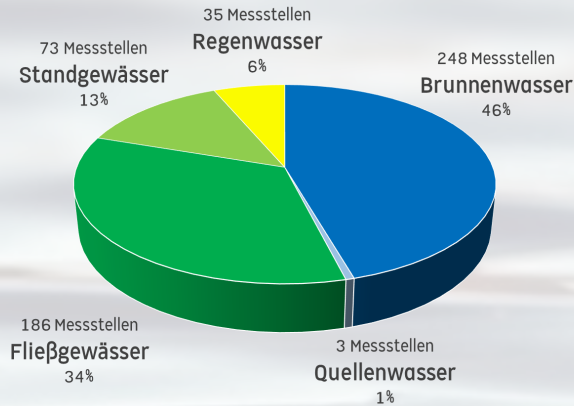


Abbildung 2: Anzahl der beprobten Messstandorte
(eigene Abbildung)

In dem Citizen Science-Projekt wurden insgesamt **545 Messstandorte** beprobt.

Am häufigsten wurden die Gewässertypen Brunnenwasser und Fließgewässer untersucht, aber auch Messungen an stehenden Gewässern und Regenwassermessungen wurden vielerorts durchgeführt.

Lediglich Quellenwasser wurde an nur drei Standorten beprobt. Ein möglicher Grund ist die ohnehin geringe Anzahl an Quellen im Einzugsgebiet des Nitrat-Monitorings.

Über 18 Monate wurden **8754 Nitratmessungen** an diesen Messstandorten durchgeführt. Diese hohe Anzahl an Messdaten hätten wir als Wissenschaftler:innen ohne das Engagement der Teilnehmer:innen nicht erheben können. Danke!

Auch bei den Einzelmessungen wurden die Gewässertypen Brunnenwasser und Fließgewässer besonders häufig beprobt, gefolgt von Messungen an Standgewässern und Regenwassermessungen sowie zuletzt den Quellenwassermessungen.

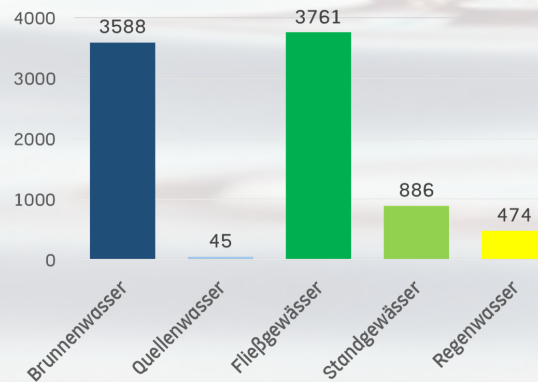


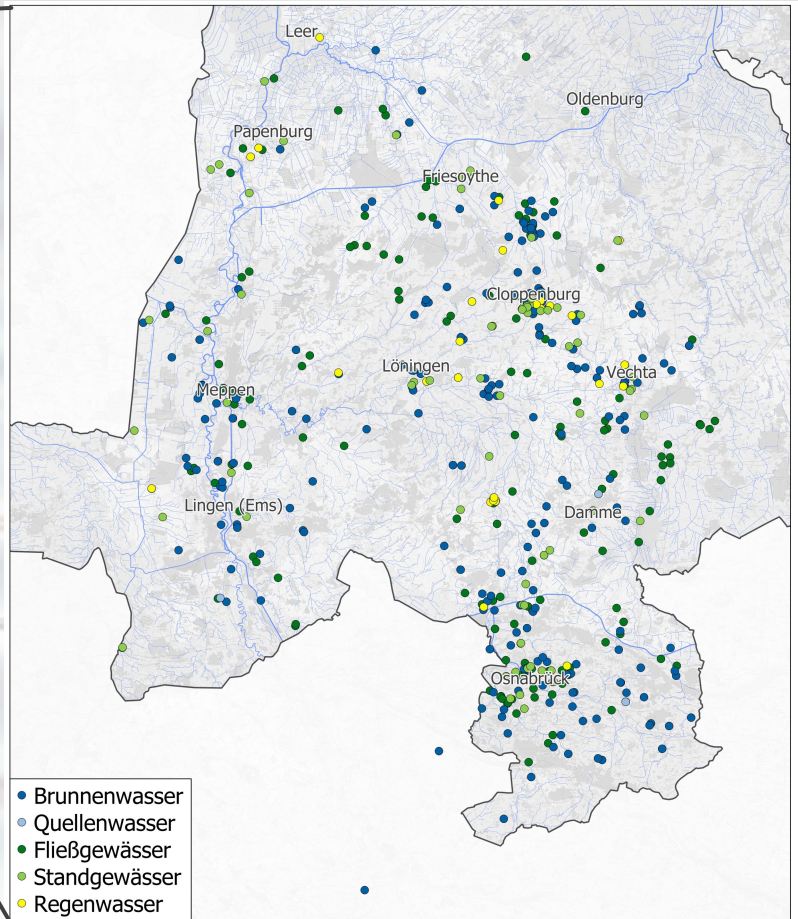
Abbildung 3: Anzahl der Einzelmessungen
(eigene Abbildung)

DANKE!





Die Messstandorte liegen im Westen Niedersachsens überwiegend in den Landkreisen Osnabrück, Cloppenburg, Emsland, Vechta und der Stadt Osnabrück und damit in den Flussgebietseinheiten der Weser und Ems, welche in die Nordsee münden. Insbesondere für die Gewässertypen Brunnenwasser und Fließgewässer wurden in den genannten Landkreisen flächendeckend Nitratuntersuchungen durchgeführt. Für Standgewässer, Regenwasser und Quellenwasser liegen hingegen deutlich weniger Messstandorte vor, sodass nur in einigen Regionen eine gute Messstellenabdeckung erreicht wurde.



Hintergrundkarte: © 2022 OpenStreetMap-Mitwirkende www.openstreetmap.org/copyright (CC BY-SA 2.0) Grenzen von Niedersachsen: © 2022 GeoBasis-DE / BKG (dl-de/by-2-0) Gewässernetz: © 2020 Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung <http://www.lgn.niedersachsen.de> Bearbeitet durch das Nds. Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz

**Abbildung 4: Übersicht über alle Messstandorte
(eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten)**

Wichtig:

Die Dichte der Messstandorte ist, analog zur Einwohnerdichte, in städtischen Gebieten höher als im ländlichen Raum. Daher bilden die Messstellen kein repräsentatives Messnetz, welches die Nitratbelastung im gesamten Einzugsgebiet widerspiegelt. Die folgenden Ergebnisse zu den verschiedenen Gewässertypen beziehen sich daher immer nur auf die probierten Gewässerstandorte und nicht auf die gesamten Gewässer in der Region.

Ergebnisse: Fließende Gewässer



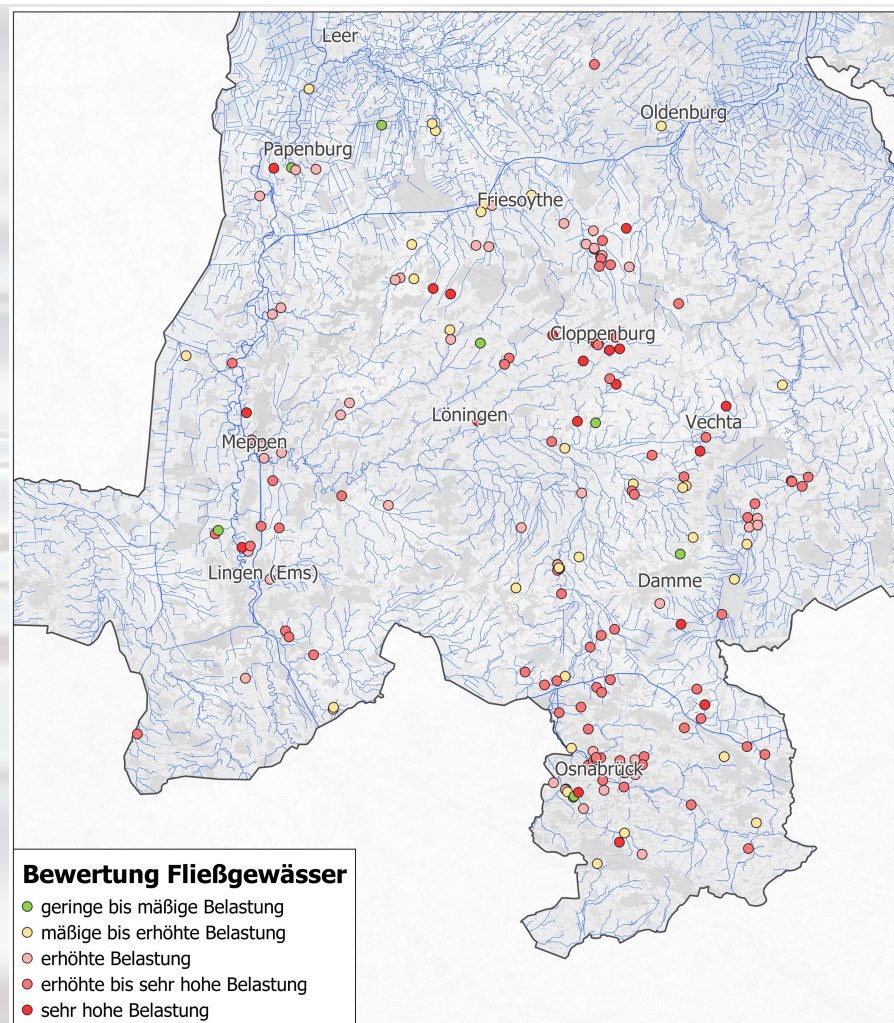
Allgemeine Auswertung

Durch das Engagement von zahlreichen Bürger:innen und Schüler:innen wurden insgesamt 186 Fließgewässer-Messstandorte in der Weser-Ems-Region untersucht, darunter größere Flüsse wie beispielsweise die Hase oder Hunte, aber auch kleinere Gewässer wie z. B. der Lechtinger Bach.

75 % dieser Fließgewässer-Messstandorte überschritten im Messzeitraum (September 2019 – März 2021) eine Nitratkonzentration von 11.1 mg/L und damit den ökologischen Zielwert für Nitrat (eingestuft in Kategorie 3,4 oder 5 über das 90. Perzentil). An 12.2 % der beprobten Gewässer lagen sogar sehr hohe Nitratbelastungen vor (Kategorie 5). Nur 5 % der Messstandorte konnten von den Wissenschaftler:innen eindeutig als gering bis mäßig belastet eingestuft werden (Kategorie 1).

Die Ergebnisse der Citizen Science-Messungen bestätigen damit, dass die Nitratbelastungen der beprobten Fließgewässer an vielen Messstellen zu hoch sind. Ursachen einer hohen Nitratbelastung können in der landwirtschaftlichen Düngung, aber auch im Abwasser sowie in der Entstehung von Stickoxiden durch Industrie und Verkehr liegen (vgl. Begleitheft 2).

Darüber hinaus spielen die Eigenschaften des Fließgewässers (z. B. der Wasser-Durchfluss) sowie die Jahreszeiten eine Rolle hinsichtlich der Nitratbelastung.



Bewertung Fließgewässer

- geringe bis mäßige Belastung
- mäßige bis erhöhte Belastung
- erhöhte Belastung
- erhöhte bis sehr hohe Belastung
- sehr hohe Belastung

Hintergrundkarte: © 2022 OpenStreetMap-Mitwirkende www.openstreetmap.org/copyright (CC BY-SA 2.0) Grenzen von Niedersachsen: © 2022 GeoBasis-DE / BKG (dl-de/by-2-0) Gewässernetz: © 2020 Auszug aus den Geobasisdaten der Niedersächsischen Vermessungs- und Katasterverwaltung <http://www.lgn.niedersachsen.de> Bearbeitet durch das Nds. Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz

Abbildung 5: Übersicht über die Fließgewässer-Messstandorte
(eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten)



Düte © Ebba Ehrnsberger



Hase © Felix Lager



Lechtinger Bach © Armin Proft

Breite des Gewässers

Ein gleicher Nitratreintrag führt in Gewässern mit geringem Wasser-Durchfluss zu höheren Nitratkonzentrationen als in Gewässern mit hohem Wasser-Durchfluss. Der Durchfluss eines Gewässers lässt sich jedoch nicht so einfach bestimmen, denn hierfür muss der Querschnitt des Flussbettes und die Strömungsgeschwindigkeit bekannt sein. Deshalb wurde in dem Citizen Science-Projekt vereinfacht die Breite des Gewässers herangezogen. Damit ergibt sich folgende Hypothese: **„Je schmaler das beprobte Fließgewässers an der Messstelle ist, desto höher ist die Nitratbelastung.“**

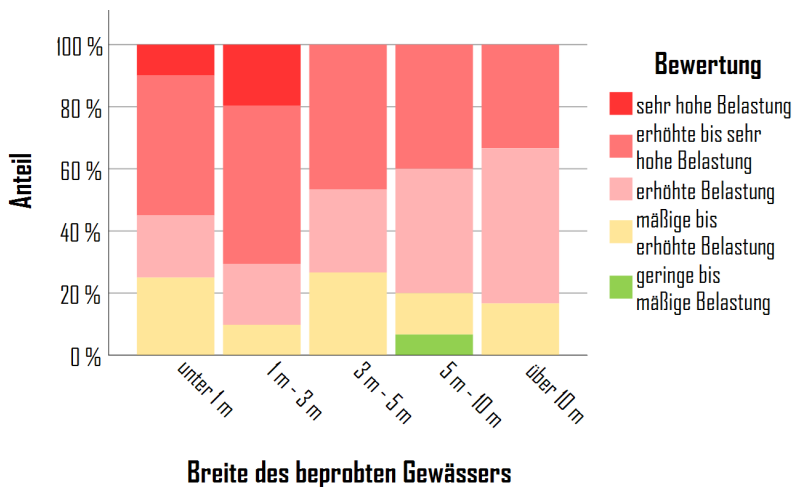


Abbildung 6: Belastung der beprobten Fließgewässer, klassifiziert nach ihrer Breite (eigene Abbildung)

Zur Untersuchung dieser Hypothese konnten die Teilnehmer:innen die Breite des untersuchten Gewässers angeben. Hiermit haben die Wissenschaftler:innen analysiert, wie hoch die Nitratbelastung bei verschiedenen Gewässerbreiten ist. Tatsächlich konnten sie feststellen, dass nur bei schmalen Fließgewässern (unter 3 m) sehr hohe Nitratbelastungen auftraten. Auch der Anteil an erhöht bis sehr hoch belasteten Gewässern nimmt mit Breite der Gewässer ab.

Mit statistischen Tests konnten die Wissenschaftler:innen diesen Zusammenhang, eine sogenannte Korrelation, belegen.

Kendall-Tau-b

n = 107, $\tau_b = -0.149$, p = .036



Landbedeckung und -nutzung

In landwirtschaftlich und städtisch genutzten Flächen kann Nitrat auf viele Wege in Oberflächengewässer gelangen, z. B. durch Düngung, Abwasser und Verkehr. Der Einfluss der Landbedeckung und -nutzung wurde in der Auswertung durch einen Vergleich der Nitratbelastungen in den unterschiedlichen Flächen analysiert. Nitrat verbleibt im Gewässer jedoch nicht am Eintragsort, sondern wird mit der Strömung flussabwärts transportiert. Dadurch können z. B. auch Nitratbelastungen in naturnahen Räumen gemessen werden, die an anderer Stelle in das Gewässer gelangt sind. Aussagen über die Quellen des Nitrats im Gewässer sind mit dem durchgeführten Vergleich daher nicht möglich. Dennoch ist an den Eintragsorten mit den höchsten Konzentrationen zu rechnen.



Aus diesen Überlegungen haben die Wissenschaftler:innen folgende Hypothese abgeleitet: **„Die Nitratbelastung der beprobten Fließgewässer unterscheidet sich bei unterschiedlicher Landbedeckung und -nutzung.“** Zur Untersuchung dieser Hypothese wurde zuerst die Standortgenauigkeit der Fließgewässer-Messstandorte bewertet. Wenn der eingetragene Standort maximal 250 m vom beprobten oder nächst gelegenen Fließgewässer entfernt liegt, wurde das Gewässer in der Untersuchung dieser Hypothese berücksichtigt und räumlich zu der entsprechenden Klasse der Landbedeckung und -nutzung zugeordnet [7]. Mit diesem Verfahren ergaben sich 63 Messstandorte in bebauten Flächen, 58 Messstandorte in landwirtschaftlichen Flächen und 9 Messstandorte in Wäldern und naturnahen Flächen, die in die folgende Analyse einbezogen wurden.

Die Wissenschaftler:innen fanden heraus, dass die Nitratbelastungen in landwirtschaftlichen Flächen sowie in bebauten Flächen tatsächlich bedeutend höher sind als in Wäldern und naturnahen Flächen. Insbesondere der Anteil der sehr hoch belasteten Fließgewässer (über 44.3 mg/L Nitrat) ist in landwirtschaftlichen Flächen mit rund 17 % und in bebauten Flächen mit rund 8 % deutlich erhöht. Aber auch in Wäldern und naturnahen Flächen konnte an 4 Messstellen eine Nitratbelastung über dem ökologischen Zielwert gemessen werden. Diese kann entweder durch natürliche Nitratquellen entstehen, wahrscheinlicher ist jedoch, dass Nitrat über die Gewässerströmung aus durch menschliche Tätigkeiten belasteten Gebieten in Wälder und naturnahe Flächen transportiert wird.



Kruskal-Wallis-Test

$n = 130, H = 11.048, p = .004$

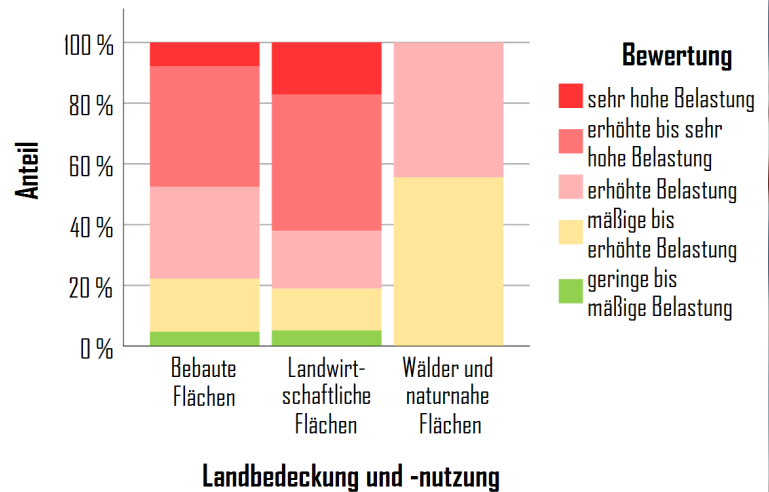


Abbildung 7: Ergebnisse Landbedeckung und -nutzung (eigene Abbildung)

Jahreszeitliche Schwankungen

Nitrat wird von Pflanzen als Nährstoff genutzt. In der Vegetationsperiode nehmen Pflanzen besonders viel Nitrat auf, so dass weniger Nitrat in Gewässer gelangt. Außerdem kann es im Sommer, begünstigt durch hohe Temperaturen und eine hohe Sonneneinstrahlung, zu einer verstärkten Algenblüte kommen, wobei vorliegendes Nitrat von Wasserpflanzen ebenfalls als Nährstoff genutzt wird. Dadurch sinken zwar die Nitratkonzentrationen im Gewässer, es besteht jedoch die Gefahr der Eutrophierung (vgl. S 19). Im Winter kann ein im Boden verbliebener Nitratüberschuss in Oberflächengewässer gelangen, sodass höhere Nitratbelastungen auftreten [8]. Aus diesen Überlegungen haben die Wissenschaftler:innen folgende Hypothese abgeleitet: **„Die Nitratbelastung der Fließgewässer ist in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten.“**

Um diese Hypothese zu untersuchen, wurde jeweils das 50. Perzentil der Messstandorte (Erklärung S. 10) für die meteorologischen Jahreszeiten berechnet. Im Anschluss wurden die Nitratbelastungen in den jeweiligen Jahreszeiten verglichen.

Bei Betrachtung des Diagramms werden die jahreszeitlichen Schwankungen der Nitratbelastung der Fließgewässer sehr deutlich. Während in den Wintermonaten der Anteil der erhöht bis sehr hoch belasteten Gewässer (in rosa bis rot dargestellt) überwiegt, liegen in den Sommermonaten deutlich geringere Nitratbelastungen vor. Diesen Unterschied konnten die Wissenschaftler:innen auch mit statistischen Testverfahren belegen und dadurch die Hypothese bestätigen.

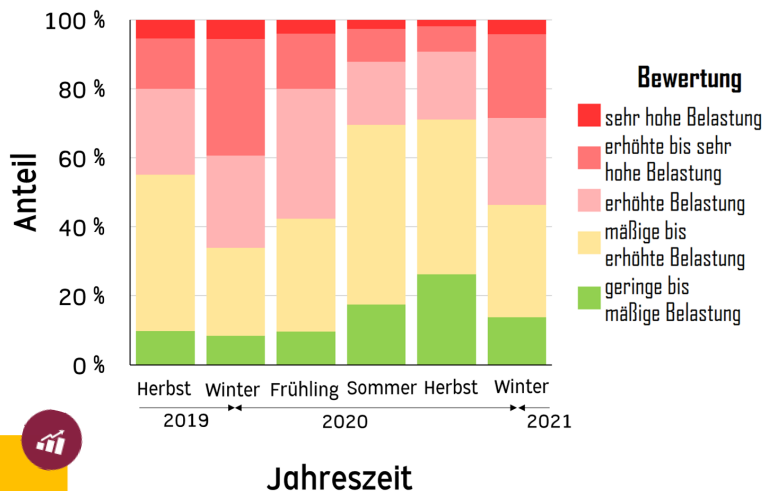


Abbildung 8: Jahreszeitliche Schwankungen der Nitratbelastung der beprobten Fließgewässer (eigene Abbildung)

Friedman-Test

n = 83, Chi-Quadrat = 107.639,
p < .001

Exkurs: Um die Nordsee zu schützen, wurde für alle in die Nordsee einmündenden Flüsse sowie alle niedersächsischen Binnengewässer ein Bewirtschaftungsziel von 2.8 mg/L **Gesamtstickstoff** als Jahresmittel festgelegt [9].

Da im Rahmen des Monitorings nur Nitrat gemessen wurde, haben die Wissenschaftler:innen auf eine vorherige LAWA-Empfehlung zurückgegriffen, die sich explizit auf Nitrat bezieht [5]. Diese Empfehlung hat einen weiteren Vorteil: Anstelle des Mittelwertes wird das 90. Perzentil für die Bewertung eines Gewässers herangezogen. Das 90. Perzentil bildet in vielen Fällen einen Wintermesswert ab. So konnte in der Gesamtauswertung der Fließgewässermessungen trotz der jahreszeitlichen Schwankungen (siehe Abbildung 8) eine Vergleichbarkeit zwischen den Gewässern erreicht werden, auch wenn diese nicht über den gesamten Messzeitraum, sondern nur in den ersten Monaten beprobt wurden.

Ergebnisse: Stehende Gewässer

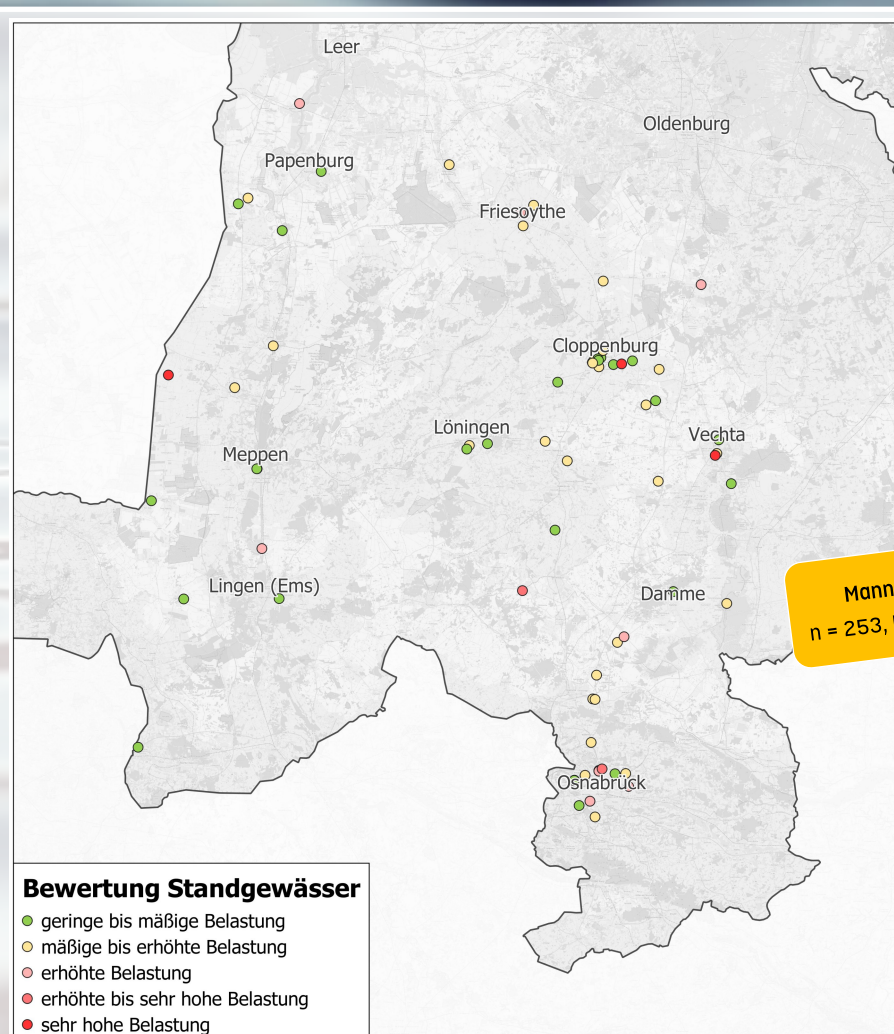


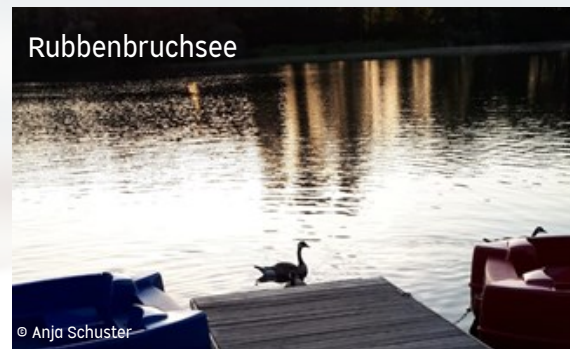
Abbildung 9: Übersicht über die Standgewässer-Messstandorte (eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten)



Allgemeine Ergebnisse

Insgesamt wurden 73 Messstandorte in stehenden Gewässern von den Teilnehmer:innen untersucht, darunter zum Beispiel künstlich angelegte Baggerseen oder natürlich entstandene Gewässer wie der Dümmer. Im Vergleich zu den Fließgewässern ist die Belastung der beprobten stehenden Gewässer deutlich geringer. Eine mögliche Ursache hierfür liegt darin, dass auch Standgewässer ohne Zu- und Abläufe von Fließgewässern untersucht wurden. Diese haben meistens kleinere Einzugsgebiete, sodass weniger Nitrat aus anthropogenen (menschlichen) Quellen in das Gewässer gelangt.

Dennoch überschreiten 21.9 % der untersuchten Gewässer, verteilt im gesamten Einzugsgebiet, eindeutig den ökologischen Zielwert für Nitrat (Kategorie 3,4 oder 5). 35.6 % der Messstandorte weisen hinsichtlich der Nitratbelastung einen guten ökologischen Zustand auf (Kategorie 1).



Räumliche Analysen

Aufgrund der geringeren Anzahl an Messstellen und der räumlichen Fokussierung dieser Messstellen auf einige Regionen konnten räumliche Einflussfaktoren anhand der Daten von den Wissenschaftler:innen nicht untersucht werden. Beispielsweise können nur jeweils 4 untersuchte Standgewässer landwirtschaftlichen Flächen sowie Wäldern und naturnahen Flächen zugeordnet werden, während ein Großteil der beprobten Gewässer in bebauten Flächen liegt.

Jahreszeitliche Schwankungen

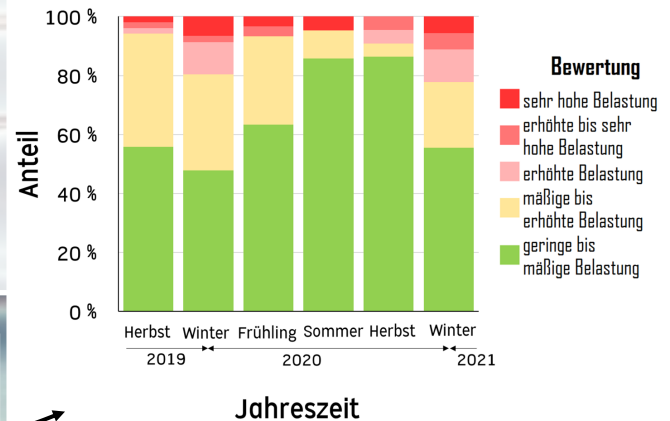
Der jahreszeitliche Verlauf lässt sich trotz der geringen Anzahl an Daten sehr gut beobachten. Analog zu den Fließgewässern untersuchen die Wissenschaftler:innen die Hypothese: **„Die Nitratbelastung ist in den Wintermonaten höher als in den Sommermonaten.“**

Im abgebildeten Diagramm ist eindeutig zu erkennen, dass die Nitratbelastungen der beprobten stehenden Gewässer im Winter höher sind als im Sommer. Die Wissenschaftler:innen konnten mit statistischen Tests bestätigen, dass signifikante jahreszeitliche Unterschiede in den Nitratbelastungen der stehenden Gewässer vorliegen.



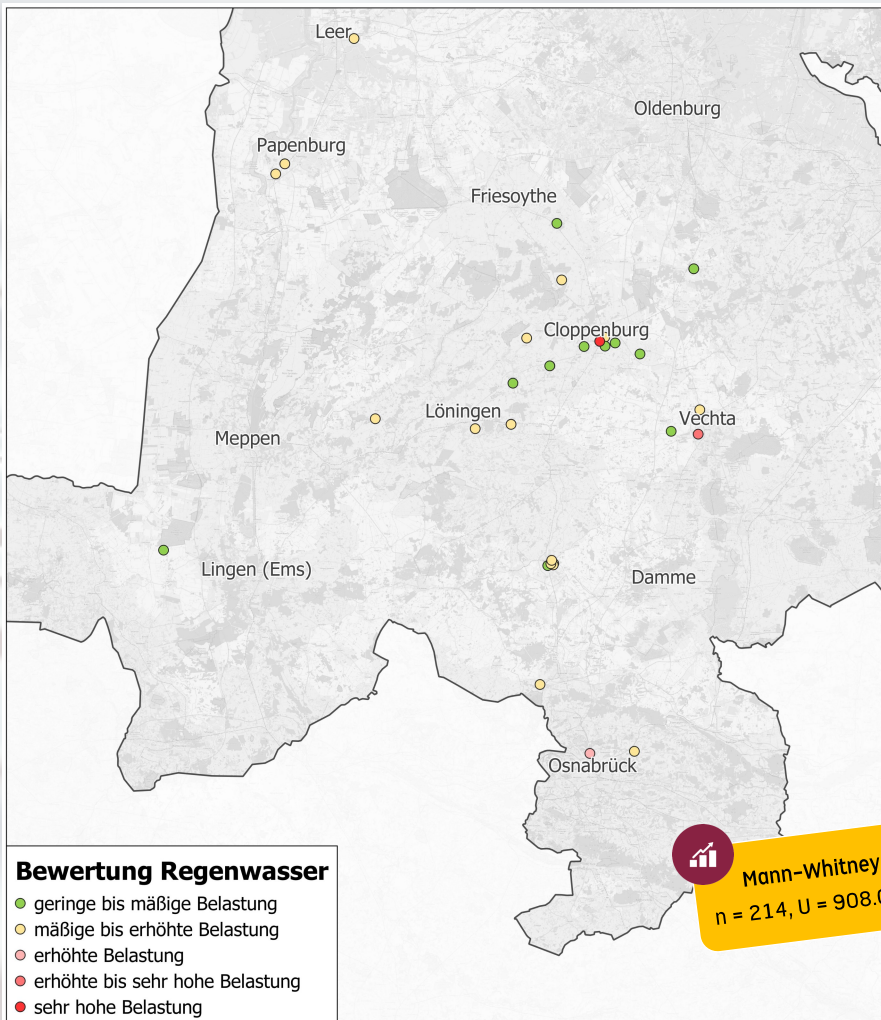
Friedman-Test
 $n = 13$, Chi-Quadrat = 16.216,
 $p = .006$

Abbildung 10: Jahreszeitliche Schwankungen der Nitratbelastung der beprobten Standgewässer (eigene Abbildung)



Übrigens: Da Nährstoffe in stehenden und langsam fließenden Gewässern nicht so schnell ausgeschwemmt werden wie in schneller fließenden Gewässern, ist die Gefahr der Eutrophierung in Seen besonders hoch, wobei es zum „Umkippen“ des Gewässers kommen kann. In stehenden Gewässern ist Stickstoff jedoch nicht der limitierende Faktor der Eutrophierung, sondern Phosphor [10]. So führen hohe Phosphatfrachten z. B. im Dämmer regelmäßig zu einem starken Wachstum von Blaualgen. Stickstoffverbindungen wie Nitrat stellen insbesondere in der Nordsee ein großes Problem dar und führen hier zu einem übermäßigen Algenwachstum und einem daraus resultierenden Sauerstoffmangel am Meeresboden [11]. Unter diesen Bedingungen können viele Tiere nicht mehr überleben.

Ergebnisse: Regenwasser



Hintergrundkarte: © 2022 OpenStreetMap-Mitwirkende www.openstreetmap.org/copyright (CC BY-SA 2.0) Grenzen von Niedersachsen: © 2022 GeoBasis-DE / BKG (dl-de/by-2-0)

Abbildung 11: Übersicht über die Regenwasser-Messtandorte (eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten)



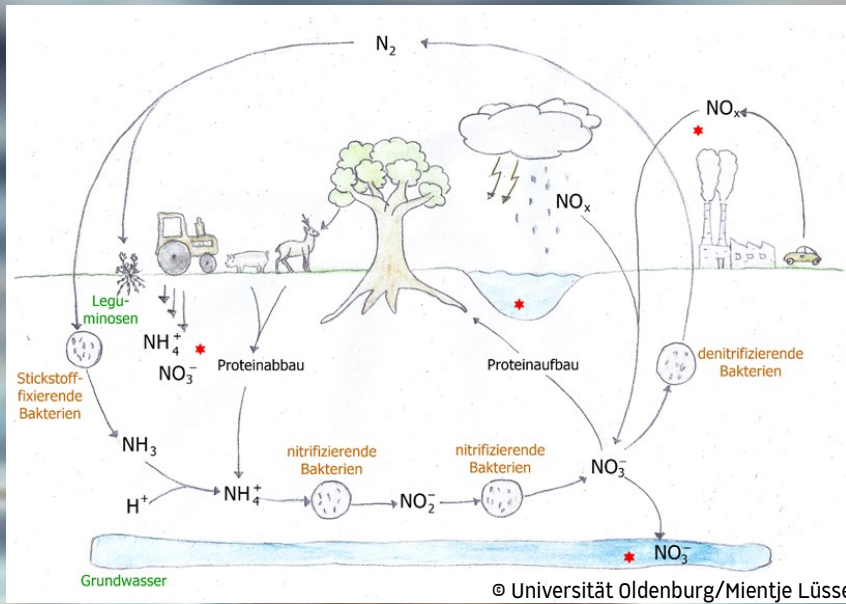
Allgemeine Ergebnisse

Ein weiterer Stickstoffeintrag in Böden und Gewässer entsteht durch die sogenannte Deposition, also eine Ablagerung von Luftinhaltsstoffen. Stickoxide, deren Emissionen dem Verkehrs- und Industriebereich zuzuordnen sind, reagieren mit Wasser zu Nitraten und können zum Beispiel durch Niederschläge in Böden und Gewässer eingetragen werden. Um diesen Einfluss zu untersuchen, haben Teilnehmer:innen des Projektes insgesamt 35 Messstandorte, ausgestattet mit einem Regenwasserauffänger, beprobt. Die Messstandorte für Regenwasser weisen signifikant geringere Nitratkonzentrationen als die Fließgewässer auf. Nur an 3 Messstellen wurden zeitweise erhöhte bis sehr hohe Nitratbelastungen festgestellt (Kategorie 3,4 oder 5). Die Wissenschaftler:innen begründen diese Beobachtung wie folgt: Die menschlichen Einflüsse auf die Nitratbelastung des Regenwassers sind vergleichsweise gering, da nur der Schadstoffeintrag in die Atmosphäre eine Rolle spielt, z. B. durch den Verkehr. Bei Oberflächengewässern sind auch Nitratreinträge in Böden und direkte Einträge in die Gewässer relevant. Dennoch kann Nitrat bei 61.6 % der Regenwassermessstellen zumindest in geringen Konzentrationen nachgewiesen werden (Kategorie 2 - 5).

Ammoniak



Ammonium



Stickoxide



Nitrat

Landbedeckung und -nutzung

Hinsichtlich der Einflüsse der Landbedeckung und -nutzung unterscheiden sich die theoretischen Grundlagen von Regenwasser deutlich von denen der Oberflächengewässer. **Hohe Nitratkonzentrationen werden von den Wissenschaftler:innen vor allem dort vermutet, wo hohe Stickoxid-Einträge in die Atmosphäre vorliegen, also in städtisch geprägten sowie in Industrie- und Verkehrsflächen.** Bei der Stickstoffdeposition spielt auch Ammonium eine bedeutende Rolle, welches im Citizen Science-Projekt jedoch nicht gemessen wurde. Der Luftschadstoff Ammoniak, dessen Quelle hauptsächlich in der Landwirtschaft liegt, kann in der Atmosphäre zu Ammonium reagieren [12].

Über eine Auswaschung durch den Niederschlag oder eine sogenannte trockene Deposition, also die Ablagerung von Partikeln, tragen Stickoxide und Ammoniak zum Beispiel zu einer Eutrophierung von Oberflächengewässern oder Versauerung von Böden bei [12].

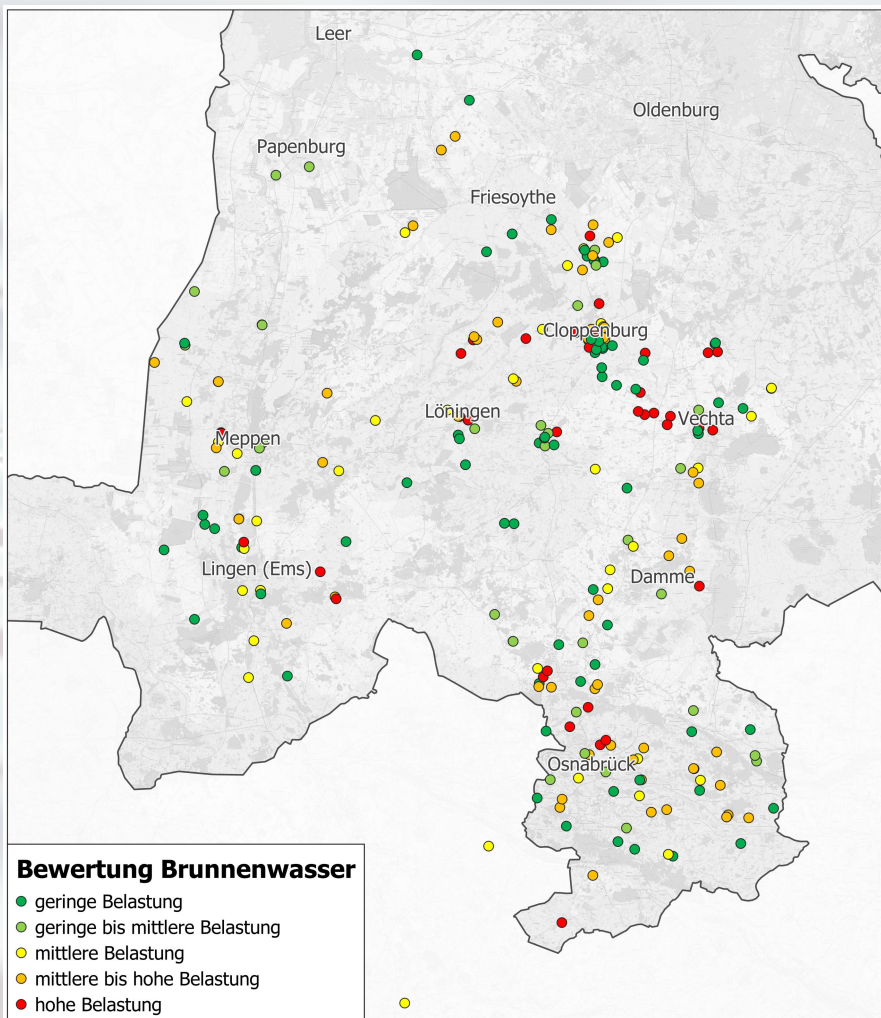
Die Wissenschaftler:innen untersuchten, analog zum Vorgehen bei den Fließgewässern (S. 16), die Nitratbelastung des Regenwassers in verschiedenen Landnutzungsklassen. Tatsächlich stellte sich heraus, dass zwei der höher belasteten Messstandorte in Industrie-, Gewerbe und Verkehrsflächen liegen und eine Messstelle einer städtisch geprägten Fläche zuzuordnen ist. Diese Ergebnisse stimmen mit der Vermutung der Wissenschaftler:innen überein, lassen sich jedoch nicht mit statistischen Tests belegen. Ein mögliche Ursache hierfür liegt in der relativ geringen Datenmenge sowie in der Messmethode, welche geringe Unterschiede in den Nitratkonzentrationen nicht erfassen kann.

Kruskal-Wallis-Test

n = 34, H = 3.425, p = .188

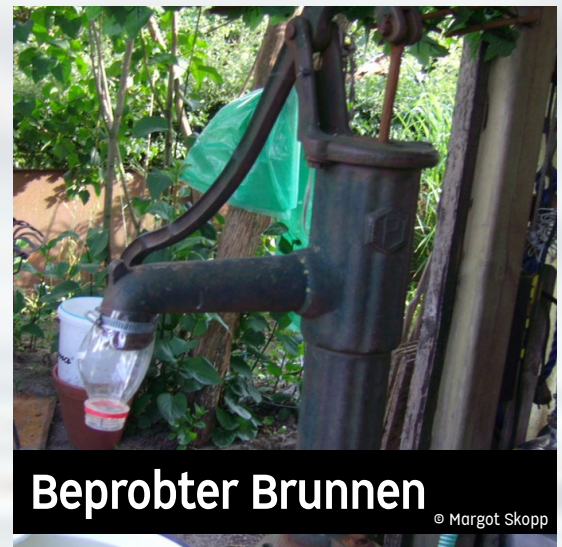


Ergebnisse: Brunnenwasser



Hintergrundkarte: © 2022 OpenStreetMap-Mitwirkende www.openstreetmap.org/copyright (CC BY-SA 2.0) Grenzen von Niedersachsen: © 2022 GeoBasis-DE / BKG (dl-de/by-2-0)

Abbildung 12: Übersicht über die Brunnenwasser-Messstandorte (eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten)



Beprobter Brunnen

© Margot Skopp

Allgemeine Ergebnisse

Nitrat kann auf verschiedene Wege von der Oberfläche in tiefere Bodenschichten oder das Grundwasser gelangen. Ein wesentlicher Eintragspfad ist Nitrat, das langsam von der Erdoberfläche durch verschiedene Bodenschichten in das Grundwasser ausgewaschen wird. Dieser Prozess dauert in der Regel Monate bis Jahre, weshalb sich Maßnahmen zum Schutz des Grundwassers auch erst verzögert beobachten lassen [13]. Da ein Großteil unseres Trinkwassers aus Grundwasser gewonnen wird, ist Grundwasser besonders schützenswert [1].

Im Citizen Science-Projekt wurden 248 Brunnen beprobt, darunter Trinkwasserbrunnen, aber auch Brunnen, die nur zur Bewässerung des Gartens dienen. An 16.9 % der beprobten Brunnen wurde der Grenzwert von 50 mg/L bei mindestens 50 % der Messungen eindeutig überschritten (Kategorie 5). 59.2 % der Messstellen weisen eine geringe bis mittlere Belastung auf (Kategorie 1 - 3). An 23.9 % der Messstellen kann mit den Teststäbchen nicht eindeutig festgestellt werden, ob eine mittlere oder hohe Belastung vorliegt (Kategorie 4).

Hydrogeologische Räume

Geestgebiete

höher gelegene Landschaft mit vorwiegend sandigen Böden (z. B. Sögelener Geest)

Niederungsgebiete

gekennzeichnet durch Flussablagerungen, hohes Denitrifikationspotenzial (z. B. Ems-Vechte Niederung)

Abbildung verändert nach [14]



Die Zusammensetzung des Bodens hat einen besonders großen Einfluss auf die Nitratbelastung des Grundwassers. Damit eine sogenannte Denitrifikation, also ein natürlicher Nitratabbau durch Bakterien stattfinden kann, müssen sehr sauerstoffarme Verhältnisse vorliegen. Die wichtigste Stickstoffumsatzreaktion ist dabei die Reduktion von Nitrat zu molekularem, ungefährlichem Stickstoff. Als Reduktionsmittel hierfür dient unter anderem organischer Kohlenstoff, z. B. in Form von Torf. Diese Reduktionsmittel sind ein endliches Reservoir, das durch die Denitrifikation aufgezehrt wird. In Marsch- und Niederungsgebieten mit überwiegend oberflächennahem Grundwasser kann die Denitrifikation durch gelöste, organische Bodensubstanzen im Sickerwasser aufrechterhalten werden. Daraus resultieren in Niederungsgebieten geringere Nitratkonzentrationen im Grundwasser. In Gebieten mit großen Abständen zwischen der Gelände- und Grundwasseroberfläche und gut belüfteten Böden wird die Denitrifikation gehemmt. Diese Bedingungen sind überwiegend in den sandigen Geestgebieten Niedersachsens zu finden, sodass hier höhere Nitratkonzentrationen von den Wissenschaftler:innen vermutet werden [15]. Anhand der Nitratmessungen der Teilnehmer:innen haben die Wissenschaftler:innen daher folgende Hypothese untersucht: **„Die Nitratbelastung der beprobten Brunnen in Geestgebieten ist höher als die Nitratbelastung von Brunnen in Niederungsgebieten.“**

Hierfür wurden die Brunnenwasser-Messstandorte räumlich zur Niederung, Geest oder dem Bergland zugeordnet und die Nitratbelastungen verglichen [16]. Der Anteil an stark belasteten Brunnen (Kategorie 5) ist in Geestgebieten mit 31.0 % deutlich höher als der Anteil in Niederungsgebieten (7.1 %) oder im Bergland (10.3 %). Statistische Tests bestätigten, dass sich die Nitratbelastungen in diesen Gebieten signifikant voneinander unterscheiden.

Kruskal-Wallis-Test

n = 242, H = 20.056, p < .001



Landbedeckung und -nutzung

Verschiedene Forschungsprojekte und Analysen haben bereits ergeben, dass die Landbedeckung und -nutzung auch bei der Belastung des Grundwassers eine bedeutende Rolle spielt. Grundwassermessstellen in oberen Grundwasserleitern Niedersachsens, die landwirtschaftlich geprägte Zustromgebiete haben, weisen zum Beispiel häufiger Überschreitungen des Grenzwertes auf als übrige Grundwassermessstellen [17].

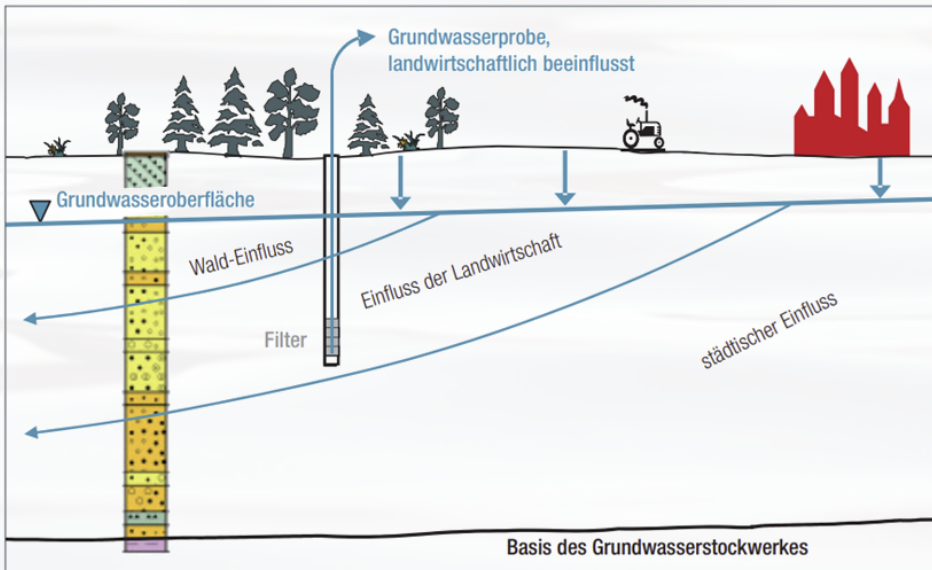


Abbildung aus [18]

Um solche Analysen durchzuführen, müssen die jeweiligen Zustromgebiete der Messstellen bekannt sein. Hierfür werden verschiedene Größen gemessen oder berechnet, zum Beispiel die Filtertiefe der Messstelle, der Flurabstand (Höhenunterschied zwischen der Erdoberfläche und Grundwasseroberfläche) oder die Strömungsrichtung des Grundwassers. In dem berechneten Zustromgebiet wird die Flächennutzung ermittelt. Wie in der Abbildung zu sehen, kann eine Messstelle dadurch zwar direkt unter einem Wald liegen, das Grundwasser in der entsprechenden Filtertiefe aber überwiegend aus landwirtschaftlich beeinflussten Flächen stammen [18].

Mit dem Citizen Science-Ansatz lassen sich Größen wie die Strömungsrichtung des Grundwasser nicht ohne Weiteres bestimmen, weshalb die Zustromgebiete für die beprobten Brunnen nicht bekannt sind. Sinnvolle Analysen zur Landbedeckung und -nutzung konnten daher nicht mit den vorliegenden Brunnenwasser-Daten durchgeführt werden.



Jahreszeitliche Schwankungen

In der Regel dauert es in Abhängigkeit von verschiedenen Standortfaktoren Monate bis Jahre, bis Nitrat von der Erdoberfläche in das Grundwasser gelangt [13]. Daher sind große jahreszeitliche Schwankungen der Nitratkonzentration, die in vielen Oberflächengewässern vorliegen, insbesondere bei tief verfilterten Grundwassermessstellen nicht zu erwarten. Dennoch unterliegen auch Böden und Grundwasserkörper einem jahreszeitlichen Einfluss, zum Beispiel durch Aufwärmen und Abkühlen. Dadurch können verschiedene Prozesse wie die Denitrifikation beeinflusst werden. Auch Niederschlagsereignisse können Verdünnungs- oder Auswaschungseffekte hervorrufen [19].

Insgesamt wird von den Wissenschaftler:innen vermutet, dass diese Effekte so gering sind, **dass keine Unterschiede in der Nitratbelastung der verschiedenen Jahreszeiten mit den verwendeten Teststäbchen gemessen werden.**

Diese Hypothese haben die Wissenschaftler:innen analog zum Vorgehen bei den Oberflächengewässern (S. 15) untersucht und festgestellt, dass die Nitratbelastungen über den gesamten Zeitraum tatsächlich deutlich weniger schwanken als bei den untersuchten Oberflächengewässern. Auch die statistischen Tests ergaben, dass keine bedeutenden Unterschiede zwischen den einzelnen Jahreszeiten vorliegen. Damit wurde die Vermutung der Wissenschaftler:innen bestätigt.



Friedman-Test

n = 65, Chi-Quadrat = 8.850,
p = .115

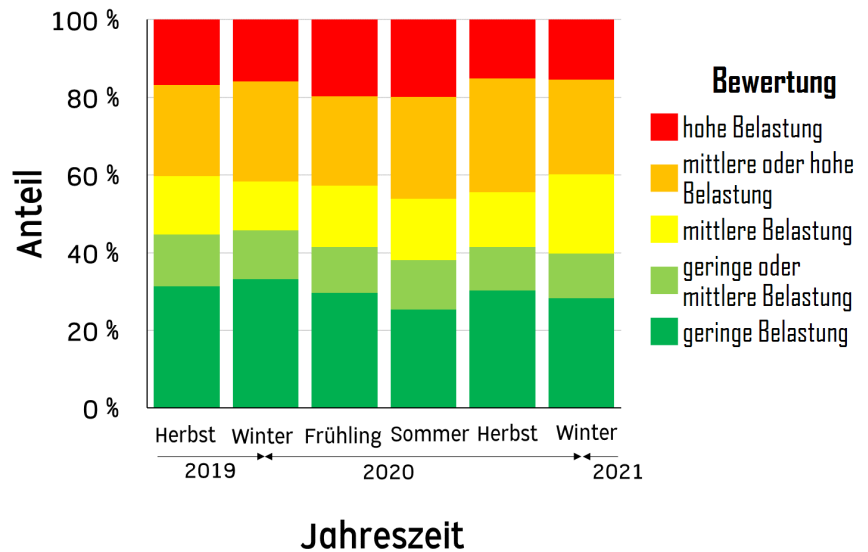
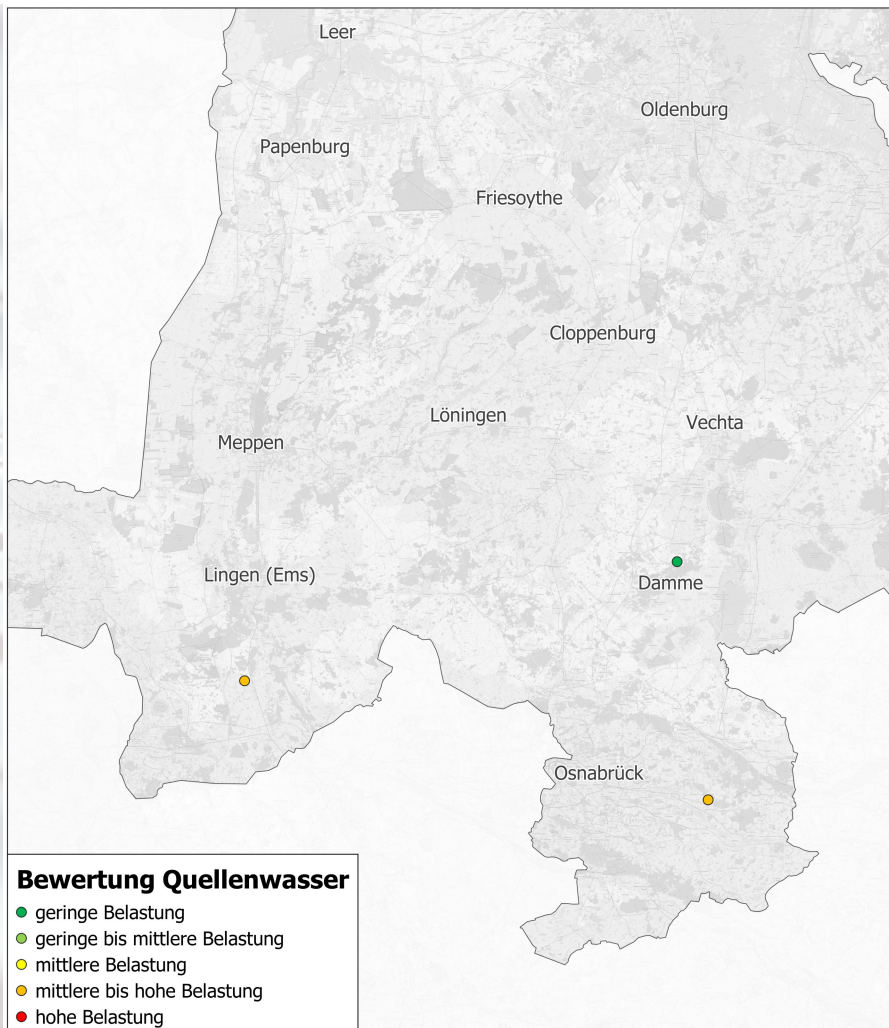


Abbildung 13: Jahreszeitliche Schwankungen der Nitratbelastung der beprobten Brunnen (eigene Abbildung)

Ergebnisse: Quellenwasser



Hintergrundkarte: © 2022 OpenStreetMap-Mitwirkende www.openstreetmap.org/copyright (CC BY-SA 2.0) Grenzen von Niedersachsen: © 2022 GeoBasis-DE / BKG (dl-de/by-2-0)

Abbildung 14: Übersicht über die Quellenwasser-Messstandorte (eigene Abbildung unter Verwendung der angegebenen Daten)



Allgemeine Ergebnisse

Tritt Grundwasser auf natürliche Weise aus der Geländeoberfläche, wird von einer Quelle gesprochen. Quellwasser kann sich in Quellsümpfen sammeln, stehende Gewässer oder Bäche bilden oder nach kurzer Fließstrecke wieder versickern. Viele Quellen wurden künstlich gefasst oder zu Brunnen umgestaltet, um sie z. B. zur Trinkwassergewinnung zu nutzen.

Im Citizen Science-Projekt wurden 3 Quellen im Einzugsgebiet untersucht. Eine Quelle im Dammer Umland weist eine geringe Belastung auf (Kategorie 1), während zwei der Quellen nahe Melle und Emsbüren einer mittleren bis hohen Belastung zugeordnet wurden (Kategorie 4). Um räumliche oder zeitliche Analysen durchzuführen oder generalisierte Aussagen zu treffen, reicht diese Anzahl nicht aus. Dennoch können Nitratmessungen in Quellen durch den Citizen Science-Ansatz zukünftig wichtig sein, da Quellwasser in Niedersachsen noch nicht systematisch untersucht worden ist.

Durch einen Vergleich mit bestehenden Messreihen, beispielsweise vom NLWKN oder VSR werden verschiedene Ziele verfolgt. Zum einen soll untersucht werden, inwieweit die Ergebnisse des Citizen Science-Projektes mit anderen Messungen übereinstimmen, sodass die Eignung des Citizen Science-Ansatzes für ein Gewässer-Monitoring bewertet werden kann. Zum anderen haben die Wissenschaftler:innen anhand des Vergleichs Gebiete markiert, in denen die Citizen Science-Messungen von anderen Messreihen abweichen. Diese Gebiete können beispielsweise genutzt werden, um die Messstellenabdeckung bestehender Messinitiativen zu erhöhen und ggfs. neue Grund- und Oberflächenwassermessstellen zu errichten.



VSR-Gewässerschutz e.V.

Vergleich der Monitoringergebnisse mit den Untersuchungen des VSR-Gewässerschutz e.V.

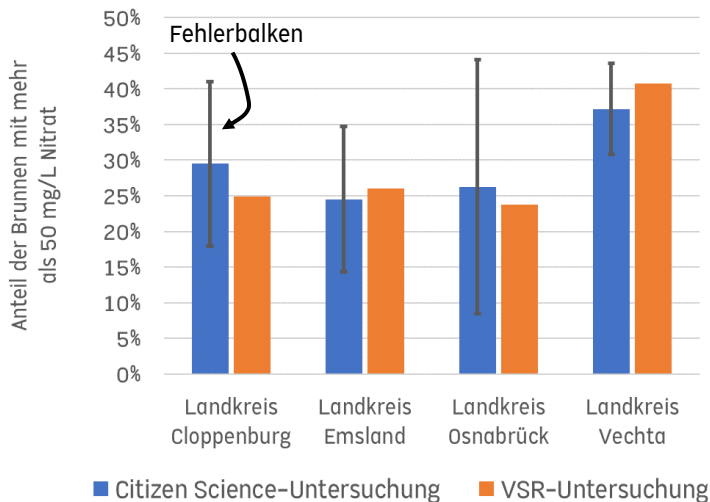


Abbildung 15: Vergleich der Ergebnisse
(eigene Abbildung unter Verwendung der Daten aus [21])

Der VSR-Gewässerschutz e.V. ist eine gemeinnützige Umweltschutzorganisation, welche nicht nur über die Relevanz des Gewässerschutzes informiert, sondern auch Gewässer-Untersuchungen durchführt [20]. Da der VSR durch Mithilfe von interessierten Bürger:innen auch Proben aus privaten Brunnen untersucht, eignen sich die Messungen sehr gut für einen Vergleich mit den Daten des Citizen Science-Projektes.

Verglichen wurde der Anteil der beprobten Brunnen mit mehr als 50 mg/L Nitrat in den Landkreisen Osnabrück, Cloppenburg, Vechta und Emsland [21]. Aufgrund der Ungenauigkeit der Teststäbchen lässt sich der Anteil in dem Citizen Science-Projekt nicht exakt bestimmen: Bei allen Messwerten, die in Kategorie 4 liegen (mittlere oder hohe Belastung), ist nicht eindeutig, ob der Grenzwert überschritten wird. Daher ergeben sich für das Citizen Science-Projekt Fehlerbalken, innerhalb derer sich der tatsächliche Anteil der stark belasteten Brunnen befindet. Unter Berücksichtigung dieser Ungenauigkeit stimmen die Ergebnisse beider Messreihen sehr gut miteinander überein. Es zeigt sich, dass insbesondere im Landkreis Vechta von beiden Messreihen hohe Nitratbelastungen in Brunnen gemessen werden.

Der Niedersächsische Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, kurz NLWKN, ist eine Landesoberbehörde im Geschäftsbereich des Niedersächsischen Ministeriums für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz. Er übernimmt vielfältige Aufgaben, darunter zum Beispiel den Hochwasserschutz, aber auch die Umsetzung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie. Hierfür werden landesweit Messungen durchgeführt, Maßnahmen zur nachhaltigen Verbesserungen dokumentiert und Projekte zur Aufwertung der Gewässergüte begleitet [22].

Ein wichtiger Teilaspekt der Wasserrahmenrichtlinie ist die Nährstoffsituation der Gewässer. Hierfür werden vom NLWKN landesweit Nitratmessungen an Oberflächengewässern und Grundwassermessstellen durchgeführt und ausgewertet. Als Projektpartner hat der NLWKN den Wissenschaftler:innen der Universität Osnabrück die Messergebnisse im Projektzeitraum für alle Messstellen im Einzugsgebiet zur Verfügung gestellt. So konnten die Ergebnisse des NLWKN mit denen des Citizen Science-Projektes verglichen werden [23, intern].

Exemplarisch werden folgend die Ergebnisse des Vergleichs der Brunnen- und Grundwassermessungen dargestellt. Hierfür wurden die Kategorien geringe Belastung (unter 10 mg/L), mittlere Belastung (10 - 50 mg/L) und hohe Belastung (über 50 mg/L) für alle Messstellen im Einzugsgebiet betrachtet.

Aufgrund der Messungenauigkeit der Teststäbchen ergeben sich für das Citizen Science-Projekt erneut Fehlerbalken, innerhalb derer der tatsächliche Anteil der Brunnen in der jeweiligen Kategorie liegt.

Der Vergleich zeigt, dass der Anteil der Messstellen mit einer hohen Belastung (über 50 mg/L) zwar unter Berücksichtigung der Fehlerbalken übereinstimmt, insbesondere bei geringen Konzentrationen jedoch deutliche Unterschiede zwischen der Citizen Science-Untersuchung und den NLWKN-Messungen vorliegen. Ursachen hierfür können z. B. in unterschiedlichen Filtertiefen oder unterschiedlichen Messstandorten liegen. Daher wurden diese Ursachen genauer untersucht.

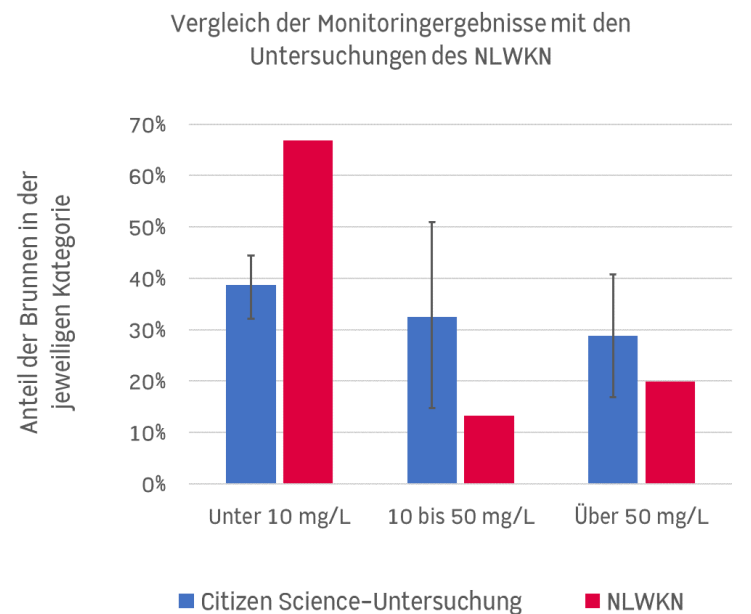


Abbildung 16: Vergleich der Ergebnisse (eigene Abbildung unter Verwendung der Daten aus [23])

In dem rechts abgebildeten Histogramm ist zu sehen, dass der NLWKN im Einzugsgebiet auch tiefer verfilterte Messstellen beprobt hat als die Teilnehmer:innen des Citizen Science-Projektes. In der Regel weisen tiefere Messstellen, vor allem in unteren Grundwasserleitern, geringere Nitratkonzentrationen auf. Unterschiedliche Filtertiefen können jedoch nicht die einzige Ursache sein, wie ein Vergleich der flach verfilterten Messstellen unter 10 m ergab.

Eine weitere, mögliche Ursache: Der NLWKN hat im Vergleich zum Citizen Science-Projekt deutlich mehr Messstellen in Niederungsgebieten untersucht, die im allgemeinen geringere Nitratkonzentrationen aufweisen (vgl. S. 23).

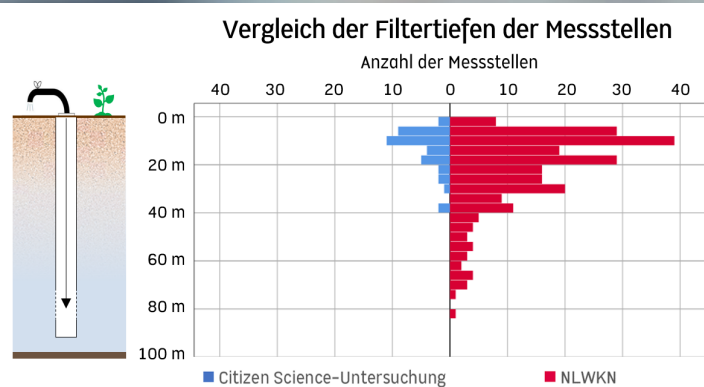


Abbildung 17: Vergleich der Filtertiefen (eigene Abbildung unter Verwendung der Daten aus [23])

Nearest-Neighbor-Analyse

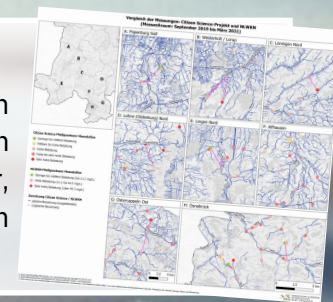
Aufgrund dieser standortbedingten Einflüsse wurde eine sogenannte Nearest-Neighbor-Analyse durchgeführt. Hierfür wurden alle Grundwassermessstellen vom Citizen Science-Projekt und NLWKN entsprechend ihrer Filtertiefe in 10 m-Schritten kategorisiert (unter 10 m, 10 bis 20 m, usw.). Im Anschluss wurde innerhalb dieser Kategorien zu jeder Citizen Science-Messstelle die nächst gelegene Messstelle des NLWKN bestimmt und die Nitratbelastungen verglichen.

60 % der so gebildeten Paare weisen gleiche Nitratbelastungen auf. An 24 % der Messstellen-Paare hat der NLWKN höhere Nitratkonzentrationen gemessen als im Citizen Science-Projekt, an 16 % geringere Konzentrationen. Die Messstellen, bei denen Abweichungen vorliegen, wurden zu insgesamt 9 Fokusregionen zusammengefasst, sodass Ursachen für die Abweichungen diskutiert und entsprechende Schlussfolgerungen gezogen werden können. So kann das Citizen Science-Projekt die Messungen des NLWKN in einigen Regionen ergänzen und Hinweise liefern, wo ggfs. Messstellen fehlen. Unterschiedliche Ergebnisse können zum Beispiel durch große Abstände zwischen den zugeordneten Messstellen, unterschiedliche Filtertiefen oder regional stark schwankende Nitratbelastungen auftreten, aber auch durch unsachgemäße Messungen im Citizen Science-Projekt.

Die Ergebnisse dieser Analyse finden Sie zukünftig in der Doktorarbeit von Frauke Brockhage.

Vergleich Fließgewässer

Analog wurden die Fließgewässermessstellen der Citizen Science-Untersuchung und die Messungen des NLWKN miteinander verglichen. Hier konnte an 87.7 % eine Übereinstimmung der Messdaten festgestellt werden. An 4.6 % der zugeordneten Paare waren die Konzentrationen des NLWKN höher, an 7.7 % die Messungen des Citizen Science-Projektes. Die Paare mit abweichenden Konzentrationen wurden zu 8 Fokusregionen zusammengefasst und diskutiert.



Fazit: Der Beitrag von Citizen Science für die Forschung

Ausgehend von diesen Ergebnissen haben die Wissenschaftler:innen die Eignung von Citizen Science als Beitrag zur Forschung für den Gewässerschutz bewertet. Hervorzuheben ist dabei das große Engagement der Schüler:innen und Bürger:innen, die an zahlreichen Messstellen im gesamten Einzugsgebiet Nitrat-Messungen an ganz verschiedenen Gewässern durchgeführt haben. So konnte insbesondere für Brunnenwasser und Fließgewässer ein flächendeckendes Nitrat-Messnetz aufgebaut werden.

Mit den von den Teilnehmer:innen erhobenen halb-quantitativen Daten konnten räumliche und zeitliche Analysen durchgeführt werden. Jahreszeitliche Verläufe sowie der Einfluss von hydrogeologischen Bedingungen oder der Landbedeckung und -nutzung ließen sich eindeutig beobachten. Die Ergebnisse stimmen dabei mit den von den Wissenschaftler:innen aufgestellten Hypothesen überein, was die Eignung des Citizen Science-Ansatzes unterstreicht.

Ein Vergleich mit anderen Messinitiativen bekräftigt ebenfalls die Güte der Daten. Insbesondere die Brunnenwasser-Messungen des VSR-Gewässerschutzes und die Fließgewässer-Messungen des NLWKN stimmen in hohem Maße mit den Citizen Science-Ergebnissen überein. Abweichungen zwischen den Grundwasser-Messungen des NLWKN und den Brunnenwasser-Messungen des Citizen Science-Projektes lassen sich überwiegend auf unterschiedliche Filtertiefen, große Abstände zwischen den Messstellen oder starke regionale Nitratschwankungen zurückführen. Bürgerforschung kann das etablierte Monitoring des NLWKN damit ergänzen, indem es z. B. Hinweise für die Errichtung neuer Messstellen liefert.

Citizen Science ist geeignet,

- ... um einen Überblick über die Belastung von Gewässern in einer Region zu erhalten
- ... um räumliche Einflussfaktoren halb-quantitativ zu analysieren
- ... um zeitliche Einflussfaktoren halb-quantitativ zu analysieren



Citizen Science ist nicht geeignet,

- ... um komplexere Parameter wie beispielsweise Zustromgebiete von Grundwassermessstellen zu bestimmen
- ... um aufwändige oder teure Messmethoden zur Bestimmung der exakten Stoffkonzentration anzuwenden

Nitratbelastung möglich. Die Wissenschaftler:innen versprechen sich durch den Einsatz eines Farbsensors in Kombination mit Teststäbchen (vgl. S. 8) jedoch deutlich genauere und trotzdem einfache, günstige Messungen, die in Folgeprojekten auch quantitative Analysen möglich machen.

Dennoch weist der Citizen Science-Ansatz auch Grenzen auf. So ist es mithilfe des Citizen Science-Ansatzes beispielsweise nicht möglich, komplexe Parameter wie z. B. Einzugs- und Zustromgebiete von Gewässern zu bestimmen. Dadurch konnte in dem Citizen Science-Projekt zum Beispiel nicht untersucht werden, inwieweit sich die Landbedeckung und -nutzung auf die Nitratbelastung der Brunnenwassermessstellen auswirkt.

Darüber hinaus können für Bürgerforschungsprojekte nur begrenzt aufwändige und teure Messmethoden eingesetzt werden. Mit den verwendeten Teststäbchen waren beispielsweise nur halb-quantitative Aussagen zur

Was nun? (Lösungsstrategien)

Die Ergebnisse des Projektes bestätigen, dass viele Gewässer in der Region hohe Nitratbelastungen aufweisen. Diese Erkenntnis ist nicht neu, daher wurden bereits zahlreiche Lösungsstrategien initiiert.

In der Landwirtschaft wird die Düngerausbringung gesetzlich über die Düngedarfsermittlung geregelt. Der aktuelle Nährstoffbericht von Niedersachsen zeigt, dass die Ausbringung von stickstoffhaltigem Dünger im Landesdurchschnitt im Erhebungszeitraum 2020/21 unter dem Düngedarf der Pflanzen lag. Insgesamt sind viele positive Entwicklungen hinsichtlich des Stickstoffeintrags aus der Landwirtschaft in Niedersachsen zu beobachten. In 11 Landkreisen liegt die Stickstoff-Düngung jedoch weiterhin über dem Düngedarf, darunter auch in den Landkreisen Emsland, Cloppenburg, Vechta und Osnabrück [24]. In diesen Regionen muss eine Verringerung des Stickstoffeintrags intensiv verfolgt werden, um Grundwasser und Oberflächengewässer zu schützen. Innovationen wie das „Precision Farming“ (ortsdifferenzierte Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen) oder praxisnahe Analysemethoden, zum Beispiel zur Untersuchung des organischen Düngers vor Ort, können eine solche Entwicklung unterstützen.

Lösungsansätze liefert auch die Chemie, beispielsweise über das Verfahren der SCR-Katalyse, mit dem Stickoxid-Emissionen in Abgasen reduziert werden (bekannt über das Reduktionsmittel AdBlue). So kann der Eintrag reaktiver Stickstoffverbindungen aus dem Verkehrssektor effektiv verringert werden. Weitere Lösungsansätze sind in dem 2. Belegheft des Nitrat-Monitorings zu finden!

Individuelles Konsumverhalten

Mit dem individuellen Konsumverhalten beeinflusst auch jede einzelne Person den Stickstoffeintrag. 88 % des Stickstofffußabdruckes sind dabei auf die Ernährung zurückzuführen. Die Verringerung des Konsums tierischer Produkte und die Vermeidung von Lebensmittelabfällen tragen z. B. dazu bei, die Umwelt vor zu hohen Stickstoffeinträgen zu schützen [25].

Aber auch die Bereiche Mobilität, Haushalt, Güter und Dienstleistungen haben einen Einfluss auf den individuellen Stickstofffußabdruck, zum Beispiel durch den Eintrag von Stickoxiden.

In der Abbildung finden Sie einige Anregungen, mit denen Sie Ihren persönlichen Stickstofffußabdruck verringern können. Weitere Informationen zum Stickstofffußabdruck finden Sie auf www.n-print.org!

Ernährung

- Verringerung des Konsums tierischer Produkte
- Konsum von Produkten aus nachhaltiger Landwirtschaft
- Vermeidung von Lebensmittelabfällen



Haushalt

- Energiesparen und Nutzung energieeffizienter Geräte
- Nutzung von verbrennungsfreien Energieformen



Mobilität

- Nachhaltige Verkehrsmittel nutzen
- Fahrgemeinschaften bilden
- Unnötige Wege vermeiden



Güter und Dienstleistungen

- Unterstützung einer Kreislaufwirtschaft: Recycle – Reuse – Reduce



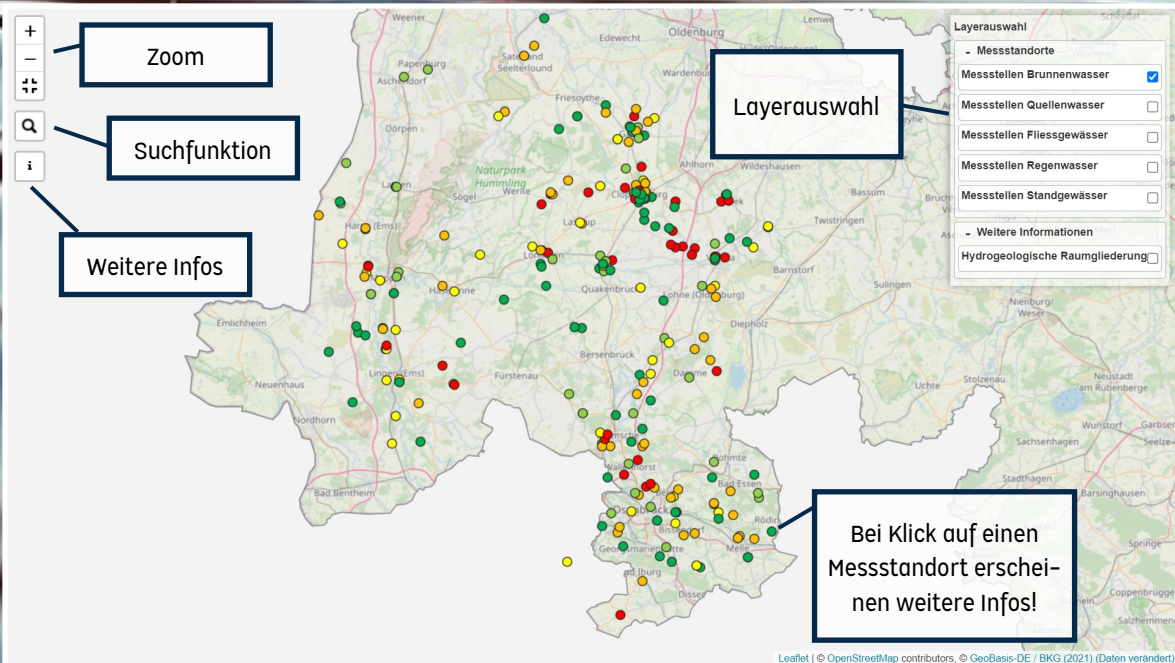
Die Online-Karte

www.nitrat.uos.de

Unsere digitale, interaktive Karte ist online! In dieser Karte sind alle Messstandorte und viele weitere Informationen zu finden.

Hinweise zum Datenschutz:

Zur Sicherstellung des Datenschutzes haben wir die Standortnamen der beprobten Gewässer nicht in die Online-Karte einbezogen. Außerdem wurden die übermittelten Koordinaten für die Online-Karte gerundet, weshalb die angezeigten Messstandorte von den tatsächlichen Standorten abweichen können. Wenn Sie an dem Projekt teilgenommen haben, können Sie sich nach Aufrufen der Karte unter „LOGIN“ mit dem Passwort und Ihrem Standortnamen anmelden und erhalten eine Standort-ID. Wenn Sie diese in der Online-Karte in die Suchfunktion eingeben, wird Ihr Standort markiert. Sollten von Ihnen gemessene Daten in der Karte fehlen, melden Sie sich gerne bei fbrockhage@uos.de!



Hinweis: Die Karte ist optimiert für die Ansicht am PC. Bei mobilen Geräten ist die Anzeige ggfs. erschwert. Nutzen Sie an einem mobilen Endgerät wenn möglich den Vollbildmodus und drehen Sie den Bildschirm.

Citizen Science – Seien Sie weiterhin dabei!

Sie möchten weiter forschen? Dann besuchen Sie die Webseite von *Bürger schaffen Wissen*, der zentralen Plattform für Citizen Science in Deutschland (www.buergerschaffenwissen.de).

Neben Infos zum Citizen Science-Ansatz finden Sie vor allem eins auf der Webseite: Eine Vielzahl spannender Mitmach-Projekte zu zahlreichen Themen, regional, national und international, online und vor Ort.

Gärtnern für den Umweltschutz, Auswerten von Satelliten- und Luftbildern auf einer Onlineplattform, Analysieren von historischen Zeitungen – für jede Fachrichtung und Altersstufe ist etwas dabei!



Von Forschungs- zu Bildungszielen: Die Begleitstudie

Dass der Citizen Science-Ansatz zur Gewässerschutzforschung beitragen kann, haben die Wissenschaftler:innen an den Ergebnissen des Projektes bereits gesehen. Darüber hinaus stellt sich die Frage, inwieweit Citizen Science auch einen Beitrag zur Umweltbildung leisten kann. Hierfür führen die Wissenschaftler:innen der Universität Osnabrück eine Begleitstudie durch, in welcher das Umweltbewusstsein sowie Einstellungen und Kenntnisse zum Thema Gewässerschutz erhoben werden. Die zweite Befragungsrunde findet mit Abschluss des Projektes in den kommenden Wochen statt. Sie können hierbei unterstützen, indem Sie den Fragebogen auf folgender Webseite ausfüllen (ca. 20 Minuten):

www.soscisurvey.de/cs_nitrat/



Sowohl Teilnehmer:innen als auch Personen, die nicht an dem Projekt teilgenommen haben, sind herzlich zur Teilnahme an der Studie eingeladen. Letztere werden als Vergleichsgruppe herangezogen und sind für die Studie ebenso wichtig wie die Gruppe der Teilnehmer:innen.

Sie haben Anmerkungen, Verbesserungsvorschläge, Lob oder Kritik zum Projekt? Auch hierfür ist Platz im Fragebogen! Durch Ihre Teilnahme an der Studie kann der Citizen Science-Ansatz stetig verbessert werden. Vielen Dank!

Impressum

Teilprojekt 1

Universität Osnabrück
Didaktik der Chemie
Barbarastraße 7
49076 Osnabrück

Prof. Dr. Marco Beeken
marco.beeken@uos.de
Telefon: 0541 969-3378
M. Ed. Frauke Brockhage
frau.cke.brockhage@uos.de
Telefon: 0541 969-2351

Teilprojekt 2

Universität Vechta
Präsidium
Driverstr. 22
49377 Vechta

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

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

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

Verwendete Geodaten

Hintergrundkarte: <https://www.openstreetmap.org> und Beitragende, OpenStreetMap, 2021. Verfügbar unter: <https://www.openstreetmap.org/> (Aufruf am 06.05.2022)

Grenzen von Niedersachsen: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, Verwaltungsgebiete 1 : 1 000 000 VG1000 und VG1000-EW. 2020. Verfügbar unter: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/verwaltungsgebiete-1-1-000-000-mit-einwohnerzahlen-ebenen-stand-31-12-vg1000-ew-ebenen-31-12.html> (Aufruf am 07.11.2021)

Gewässernetz: Niedersächsische Vermessungs- und Katasterverwaltung, Niedersächsisches Ministerium für Umwelt, Energie, Bauen und Klimaschutz, Gewässernetz. 2020. Verfügbar unter: <https://www.umweltkarten-niedersachsen.de/umweltkarten/?lang=de&topic=Hydrologie&bgLayer=TopographieGrau&layers=Gewaessernetz&E=300000.00&N=5793357.02&zoom=3> (Aufruf am 07.11.2021)

Landbedeckung und -nutzung: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, CORINE Land Cover 5 ha, Stand 2018 (CLC5-2018). 2017/2018. Verfügbar unter: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/digitale-geodaten/digitale-landschaftsmodelle/corine-land-cover-5-ha-stand-2018-clc5-2018.html> (Aufruf am 07.11.2021)

Hydrogeologische Raumgliederung: Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; Staatliche Geologische Dienste der Bundesländer, Hydrogeologische Raumgliederung von Deutschland (HYRAUM): Digitale Kartendaten v3.2. HYRAUM v32. Hannover, 2015. Verfügbar unter: www.bkg.bund.de (Aufruf am 07.11.2021)

- [1] M. Faulstrich, K. Holm-Müller, H. Bradke, C. Calliess, H. Foth, M. Niekisch, M. Schreurs, Stickstoff: Lösungsstrategien für ein drängen des Umweltproblem (Hrsg.: Sachverständigenrat für Umweltfragen). SRU Hausdruck, Berlin, 2015.
- [2] A. K. Rolf, Analyse der Messgenauigkeit handelsüblicher Nitrat-Teststäbchen unter Berücksichtigung verschiedener Einflussfaktoren (Masterarbeit). Universität Osnabrück, 2021.
- [3] Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung). TrinkwV, 2001.
- [4] Verordnung zum Schutz des Grundwassers (Grundwasserverordnung). GrwV, 2010.
- [5] Beurteilung der Wasserbeschaffenheit von Fließgewässern in der Bundesrepublik Deutschland – chemische Gewässergüteklassifikation – (Hrsg.: Länderarbeitsgemeinschaft Wasser). Kulturbuchverlag, Berlin, 1998.
- [6] C. Duller, Einführung in die nichtparametrische Statistik mit SAS, R und SPSS. Springer-Verlag, Berlin, 2018.
- [7] Bundesamt für Kartographie und Geodäsie, CORINE Land Cover 5 ha, Stand 2018 (CLC5-2018). 2018. Verfügbar unter: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/corine-land-cover-5-ha-stand-2018-clc5-2018.html> (Abruf 13.04.2022)
- [8] Oberirdische Gewässer Band 28 (Hrsg.: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz). Norden, 2007.
- [9] Oberirdische Gewässer Band 44 (Hrsg.: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz). Norden, 2020.
- [10] J. Galler, Eutrophierung. Ursachen und Maßnahmen (Hrsg.: Landwirtschaftskammer Salzburg). Salzburg, o. J.
- [11] Nitratbericht 2020 (Hrsg.: Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit). Bonn, 2020.
- [12] M. Schaap, C. Hendriks, R. Kranenburg, J. Kuenen, A. Segers, A. Schlutow, H.-D. Nagel, A. Ritter, S. Banzhaf, PINETI-3: Modellierung atmosphärischer Stoffeinträge von 2000 bis 2015 zur Bewertung der ökosystem-spezifischen Gefährdung von Biodiversität durch Luftschadstoffe in Deutschland (Hrsg.: Umweltbundesamt). Dessau-Roßlau, 2018.
- [13] M. Renger, Sicker- und Fließzeiten von Nitrat aus dem Wurzelraum ins Grundwasser (Hrsg.: Akademie für Technikfolgenabschätzung in Baden-Württemberg). Stuttgart, 2002.
- [14] Geoberichte 3 (Hrsg.: Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie). Hannover, 2016.
- [15] G. Wriedt, D. de Vries, T. Eden, C. Federolf, Regionalisierte Darstellung der Nitratbelastung im Grundwasser Niedersachsens. In Grundwasser – Zeitschrift der Fachsektion Hydrogeologie, 24:27–41, 2019.
- [16] Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Staatliche Geologische Dienste der Bundesländer, Hydrogeologische Raumgliederung von Deutschland (HYRAUM). Digitale Kartendaten v3.2. Hannover, 2015. Verfügbar unter: https://download.bgr.de/bgr/grundwasser/hyraum/shp/hyraum_v32.zip (Abruf 13.04.2022)
- [17] Parameterblatt Nitrat (Hrsg.: Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz). Niedersachsen, 2020.
- [18] N. Cremer, Nitrat im Grundwasser – Eintrag, Verhalten und Entwicklungstrends. In Energie | wasser-praxis 5:32–39, 2015.
- [19] K. Nakagawa, H. Amano, M. Persson, R. Berndtsson, Spatiotemporal variation of nitrate concentrations in soil and groundwater of an intensely polluted agricultural area. In Scientific reports 11/1, 2598, 2021.
- [20] Bericht über unsere Arbeit 2018/2019. Tätigkeitsbericht des VSR-Gewässerschutz (Hrsg. VSR-Gewässerschutz e.V.). o. J..
- [21] Interaktive Nitratkarte – Überblick über die Belastung in den Kreisen (Hrsg.: VSR-Gewässerschutz). Verfügbar unter: <https://www.xn--vsr-gewässerschutz-wqb.de/nitratbelastung/belastetes-grundwasser/ni/>, 2021. Quelle Übersicht NLWKN (Abruf 07.11.2021)
- [22] Der NLWKN – Dienstleister für Niedersachsen (Hrsg.: Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz). Norden, 2009.
- [23] Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz, Nitratwerte versch. Messstellen, 2019 bis einschl. 2021. 2021, intern.
- [24] Nährstoffbericht für Niedersachsen 2020/2021 (Hrsg.: Landwirtschaftskammer Niedersachsen). Oldenburg, 2022.
- [25] Reducing Your N Footprint. Change Your N Foot-print. 2011. Verfügbar unter: <http://www.n-print.org/ReducingYourNFootprint> (Abruf 13.04.2022)

