

NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSE FÜR ORGANISMEN HÖCHST PROBLEMATISCH

## Nitrat in der Nordsee – Auf die richtige Balance kommt es an

AutorInnen: Dr. Andreas Neumann, Dr. Alexa Wrede, Dr. Justus van Beusekom  
(Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung HZG)

**Nährstoffe wie Nitrat sind im Meer nicht per se schädlich. Ihr Vorhandensein treibt die Primärproduktion von Algen an. Diese wiederum bilden die Nahrungsgrundlage für Millionen Zugvögel, Krabben, Fische und Robben. Fehlen diese Nährstoffe, würde das auch ein Problem für Algen, Tiere und uns Menschen bedeuten. Es kommt also auf das Gleichgewicht an. Doch wie funktioniert dieses Gleichgewicht und was haben Seeigel damit zu tun? Die Zusammenhänge in der Nordsee werden zunehmend besser verstanden.**

- Ist im Meer zu viel vom Düngemittel Nitrat vorhanden, kann dies zu Massenvermehrungen von Algen und zum Verlust der wichtigen Seegraswiesen führen.
- In der Nordsee beeinflussen viele Arten den Stickstoffumsatz.
- Das Verschwinden einer einzelnen Art kann unvorhersehbare Folgen für die Abbauleistung des ganzen Systems haben.

### Wirtschaftliche Nutzung der Nordsee

Wenn wir am Strand stehen, unseren Blick über die Nordsee schweifen lassen und uns eine salzige Brise um die Nase weht, dann ahnen wir die grenzenlose Weite. Gleich da hinten, kurz vor dem Horizont, dort beginnt die Freiheit. Doch wir täuschen uns, denn längst ist es eng geworden auf der Nordsee.

Die Verbindungen zwischen den großen europäischen Häfen gleichen heute stark befahrenen Schnellstraßen auf denen täglich hunderte Schiffe verkehren. Zwischen den Schiffrouten wurden alleine in der Deutschen Bucht in den letzten zehn Jahren über 1100 Windenergieanlagen errichtet, und hunderte zusätzliche Anlagen sind im Bau oder in der Planung. Hinzu kommen Plattformen zur Öl- und Gasförderung, Seekabel, Pipelines, Sandentnahmestellen, und der Großteil des Nordseebodens wird regelmäßig durch Grundschleppnetze umgepflügt. Am Nordseegrund bleibt kaum ein Kiesel auf dem anderen, und der Flächennut-

zungsplan der Nordsee gleicht daher zunehmend der Straßenkarte einer Großstadt.

Einige der Nutzungsarten schließen sich jedoch gegenseitig aus. Dort wo ein Windpark steht, darf nicht gefischt werden und wo Sand entnommen wird, können keine Seekabel verlegt werden. Bei der Planung der jeweiligen Nutzungsarten müssen daher viele Interessen berücksichtigt werden. Krabben fischen kann man nur dort, wo Krabben sind und auch der Bau von Windparks stellt besondere Ansprüche an das Terrain. Aber nach welchen Kriterien soll entschieden werden, welche Nutzung für welchen Teil des Nordseebodens die beste Wahl ist?

Zu den unmittelbaren Wirtschaftsinteressen soll hier eine weitere Perspektive ergänzt werden. Denn der Nordseeboden ist nicht einfach nur eine leere Fläche oder ein nasser Gewerbepark, sondern ein komplexer Lebensraum mit vielfältigen Funktionen. Eine dieser Funktionen ist der Abbau von Nitrat zu Luftstickstoff. Sie ist

so wichtig für uns, dass sie als Ökosystemleistung bezeichnet wird.

## Nitrateintrag in der Nordsee – Wie entsteht ein gutes Gleichgewicht?

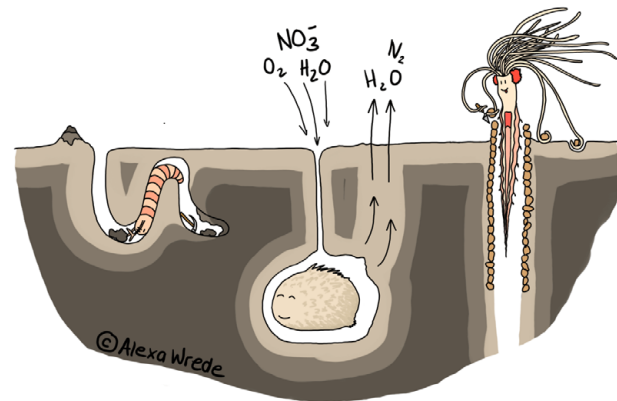
Nitrat ist Dünger und kann, wenn zu viel vorhanden, zu Massenvermehrungen von Algen und zum Verlust der wichtigen Seegraswiesen führen. Eine solche Entwicklung nennt man Eutrophierung. Zu einer Eutrophierung kommt es jedoch erst, wenn die Kapazität des Ökosystems zur Regulation der Nährstoffmenge überschritten wird.

Denn Nährstoffe wie Nitrat sind nicht per se schädlich. Ihr Vorhandensein treibt die Primärproduktion der Algen an, die im Weiteren dann die Millionen Zugvögel, Krabben, Fische, und Robben ernährt. Zu wenige Nährstoffe würden daher auch ein Problem für Algen, Tiere und uns Menschen bedeuten. Es kommt also auf das Gleichgewicht an. Doch wie funktioniert dieses Gleichgewicht überhaupt und was haben Seeigel damit zu tun?

Eigentlich ist Stickstoff für die aquatischen Ökosysteme ein knappes Gut, denn nicht alle Formen des Stickstoffes können tatsächlich von Algen oder Tieren genutzt werden. Nur als Nitrat, Nitrit und Ammonium können Algen und Wasserpflanzen den für das Wachstum notwendigen Stickstoff aufnehmen und dann über die Nahrungsnetze an Tiere weiterreichen. Man bezeichnet diese Formen des Stickstoffs daher auch als nutzbaren, reaktiven Stickstoff.

Weil der reaktive Stickstoff ursprünglich knapp war, haben sich die Ökosysteme daran angepasst und recyceln den Stickstoff so weit wie möglich. Von den Organismen freigesetzter reaktiver Stickstoff wird an den Meeresboden oder die Wassersäule abgegeben und steht dann erneut für Algenwachstum zur Verfügung, womit der Kreislauf von vorn beginnt.

Zum Problem wird das dann, wenn durch menschliche Aktivität beständig neuer Stick-



**Abb. 1:** Die verschiedenen Arten im Sediment bewohnen verschiedene „Stockwerke“ und tragen in verschiedener Weise zum Recycling oder Abbau des reaktiven Stickstoffs bei. In den beige dargestellten Bereichen ist Sauerstoff vorhanden und reaktiver Stickstoff wird zu Nitrat oxidiert und dann recycelt. Die braunen Bereiche sind zwar sauerstofffrei, doch nur in den hellbraunen Bereichen ist auch Nitrat vorhanden, um durch Denitrifikation den reaktiven Stickstoff zu  $N_2$  abzubauen.

Grafik: Alexa Wrede

stoff hinzugefügt wird, der sich dann im System anreichert.

Ein Beispiel dafür ist die küstennahe Strömung der Nordsee, die wie ein „Küstenfluss“ entlang der schottischen und englischen Ostküste nach Süden fließt, dann entlang der belgischen, niederländischen und deutschen Küste nach Osten, und schließlich entlang der dänischen Küste nach Norden. Dabei nimmt die küstennahe Strömung den Stickstoff von Themse, Schelde, Rhein und Elbe auf, der sich dann langfristig im Küstenstrom anreichert. Langjährige Messungen des Helmholtz-Zentrums Geesthacht (HZG) zeigen klar, dass der größte Teil der Stickstofffracht der Flüsse aus der Landwirtschaft stammt und damit teilweise weit im Landesinneren seinen Ausgangspunkt hat (BMUB, 2017; Johannsen et al., 2008). Das Ergebnis ist eine Eutrophierung der Küstengewässer.

Doch der Meeresboden – sowie jeder andere Gewässerboden – hat noch einen anderen Trick

parat. So ist er nicht nur eine Quelle für reaktiven Stickstoff sondern auch einer der größten Verbraucher von reaktivem Stickstoff. Das klingt zunächst paradox, bedeutet aber, dass ein Teil des den Boden erreichenden reaktiven Stickstoffs recycelt wird. Ein anderer Teil wird zu nicht-reaktivem Luftstickstoff (N<sub>2</sub>) abgebaut und damit aus der Nordsee entfernt. Dafür brauchen die Mikroben jedoch spezielle Bedingungen.

Das Sediment muss zum Teil sauerstofffrei sein und genug organisches Material enthalten. Zudem muss durch intensiven Austausch mit der sauerstoffreichen Wassersäule der Nachschub sichergestellt sein, damit sich eine ideale Kopplung der mikrobiellen Prozesse von Nitrifizierung (Recycling von Nitrat) und Denitrifizierung (Entfernung von Nitrat) einstellt.

In recht grobem, gut durchlässigem, und mit Rippeln bedecktem Sand (wellenförmige Oberflächenstruktur) läuft dieser Prozess ausgesprochen gut. Hier pumpt die Strömung von Gezeiten und Wellen das Wasser langsam durch den Sand. Es hat ausreichend Zeit, um Ammonium zu Nitrat umzuwandeln und anschließend sauerstofffrei zu werden, sodass das Nitrat effizient abgebaut wird (Marchant et al., 2016).

## Biodiversität in Sedimenten als wichtiger Einflussfaktor

Schwieriger ist die Situation in all jenen Gebieten der Nordsee, in denen der Meeresboden aus feinkörnigeren Sedimenten besteht, die durch Wellen und Strömung nicht, oder nur kaum, durchdrungen werden. Hier übernimmt die ansässige Bodengemeinschaft die Aufgabe des Zulieferers.

Durch das beständige Wühlen, Graben und Ventilieren ihrer Wohnbehäusungen verstärken sie den Austausch zwischen Nordseeboden und Wassersäule deutlich. Messungen des HZG für das NOAH-Projekt zeigen, dass bis zu zwei Drittel des gesamten Austausches zwischen Sediment und Wasser durch die Aktivität der

Meeresbodenbewohner, der sogenannten Makrofauna, angetrieben werden. Dabei beeinflusst die Makrofauna auch erheblich den Stickstoffumsatz.

Wie stark ein Meeresbodenbewohner zum Austausch zwischen Wasser und Sediment beiträgt, hängt von dessen speziellen Eigenschaften und Verhaltensweisen ab. Bis jetzt ist kaum erforscht, welche Eigenschaften den Stickstoffumsatz im Nordseeboden auf welche Art beeinflussen – ob also der Abbau durch Denitrifikation überwiegt oder das Recycling. Deshalb beginnen wir gerade erst zu erahnen, welche Spezies wichtig sind für den Abbau reaktiven Stickstoffs.

Das Verschwinden einer einzelnen Art kann daher unvorhersehbare Folgen für die Abbauleistung des ganzen Systems haben. Beispielsweise zeigen Untersuchungen des Alfred-Wegener-Instituts auf Sylt, dass schon eine einzelne Art wie der Wattwurm (*Arenicola marina*) das marine Ökosystem ganz erheblich prägen kann. Nur durch das beständige Durchwirken des Sandes durch die Wattwürmer bleibt der Sand durchlässig und damit nützlich für den Nitratabbau.

Geht der Wattwurm dagegen verloren, dann wird der Sand in wenigen Monaten schlickig und das Stickstoff-Recycling überwiegt (Volkenborn, 2005). Auch der Herzseeigel (*Echinocardium cordatum*) arbeitet den Meeresboden eifrig durch. In weiten Gebieten der Nordsee gehört er zu den wichtigsten Mediatoren des Nährstoffaustauschs über die Wasser-Sediment-Grenze. Seine Aktivitäten führen jedoch, abhängig von den Umweltbedingungen, mal zu einem Recycling und mal zu einer Denitrifizierung.

Andere Arten, die mitunter stark zur Denitrifizierung beitragen, sind der Bäumchenröhrenwurm (*Lanice conchilega*), der vor allem in den Wattgebieten hohe Dichten erreicht, sowie die Nussmuschel (*Nucula nitidosa*), die vor allem die sehr schlammigen Gebiete der Nordsee bevölkert. Dies sind aber nur einige wenige Bei-

spiele der ungefähr 650 Arten in der Deutschen Bucht die alle ihren Beitrag zu dem Gleichgewicht zwischen Recycling und Denitrifizierung beitragen.

### **Jede Gemeinschaft übernimmt eine wichtige Funktion**

Doch wie das Beispiel des Wattwurms zeigt, ist dieses Gleichgewicht empfindlich und stark von der funktionellen Biodiversität und Redundanz der Artengemeinschaft abhängig. Es wird offensichtlich, dass die Funktionen in der Wattwurm-Gemeinschaft nicht redundant genug verteilt sind, um den Verlust des Wattwurmes zeitnah zu ersetzen.

Dies schließt jedoch nicht aus, dass über einen langen Zeitraum eine neue Art die freigewordene Stelle entsprechen füllen könnte. Zusätzlich ist auch die Gleichmäßigkeit (Äquität) der Gemeinschaft von Bedeutung. So ist die Wahrscheinlichkeit höher, dass eine bestimmte Funktion wie die Denitrifikation verloren geht wenn sie nur auf einer massiv dominanten oder einer sehr seltenen Art beruht.

Eine gleichmäßige Verteilung von Organismen über die verschiedenen Funktionen schützt dagegen das reibungslose Funktionieren der Meeresboden-Gemeinschaft. Da wir aber noch nicht vollständig verstanden haben, welche Arten für den Stickstoffabbau besonders wichtig sind, ist es sinnvoll, möglichst viel Biodiversität zu erhalten, damit auch noch unerkannte, aber wichtige Schlüsselarten geschützt werden. Diversität ist in diesem Zusammenhang kein Selbstzweck, sondern sichert eine für uns wichtige Funktion.

Doch die Gemeinschaften der Nordsee haben sich nach mehr als einem Jahrhundert der intensiven Befischung an regelmäßige Störungen angepasst und spiegeln mitunter gar nicht mehr die ursprünglichen Gemeinschaften wieder. Deshalb ist bisher unbekannt, wie sich eine Rückkehr zum ursprünglichen Zustand auf die Denitrifizierungskapazität der Deutschen Bucht auswirken würde. Ebenso wenig ist bekannt,

welchen Einfluss die vielen anthropogenen – das heißt von Menschen gemachten – Aktivitäten wie Fischerei oder Windparkbau haben und ob dieser Einfluss auf allen Meeresbodentypen derselbe ist.

Wenn wir jedoch besser verstehen würden, wie die Fauna-Gemeinschaften der Nordseeböden den Stickstoffkreislauf beeinflussen und wie diese wiederum von den menschlichen Aktivitäten beeinflusst werden, dann ließen sich die verschiedenen Nutzungsarten besser aufeinander abstimmen. Dann wüssten wir auch, wie wir unvermeidbare Beeinträchtigungen an einer Stelle durch zielgerichtete Maßnahmen an anderer Stelle kompensieren können.

” Und ganz so wie über einen Preis für die CO<sub>2</sub>-Freisetzung diskutiert wird, könnte dann auch die Freisetzung von reaktivem Stickstoff einen Preis bekommen.

Ziel der aktuellen Forschung am HZG ist es daher, erstmals eine Straßenkarte und einen Fahrplan für das Transportnetz der Meeresbodenbewohner in der Deutschen Bucht zu erstellen. Wir wollen vorhersagen können, welche Arten, Gemeinschaften und Gebiete mit Blick auf Belastungen wie Klimawandel oder menschliche Nutzung besonders schützenswert sind, da sie die Nährstoffkreisläufe besonders stark beeinflussen.

### **Umfassendes Verständnis der Zusammenhänge als Voraussetzung für wirksames Gewässermanagement**

Die Zusammenhänge zwischen Diversität und reaktivem Stickstoff, die wir für den Küstenfluss skizziert haben, gelten gleichermaßen auch für die übrigen Gewässer – also für Flüsse, Bäche und Seen. Viele dieser Gewässer sind bereits

stark durch menschliche Eingriffe verändert und haben einen erheblichen Teil ihrer Denitrifikationskapazität verloren. Auch in diesen Gewässern führt ein Überangebot von reaktivem Stickstoff zu erheblichem Algenwachstum, das an den Unterläufen wie der Unterelbe regelmäßig zu starkem Sauerstoffdefizit führt und das Risiko für Fischsterben deutlich erhöht.

Mit der Charakterisierung aller Quellen und Senken für reaktiven Stickstoff lässt sich ein ganzheitliches Gewässermanagement einrichten, das auf kontinuierlicher Beobachtung basiert und bei dem die Kapazität der Senken den tolerierbaren Eintrag definiert. Unter Einbeziehung aller Quellen und Senken entlang der Binnengewässer und des Küstenflusses könnte zukünftiges Monitoring genutzt werden, um nachhaltige Stickstoff-Quoten zu ermitteln.

Im Ergebnis würde die tolerierbare Stickstofffreisetzung zu einer quantifizierbaren, knappen Ressource werden. Und ganz so wie über einen Preis für die CO<sub>2</sub>-Freisetzung diskutiert wird, könnte dann auch die Freisetzung von

aktivem Stickstoff einen Preis bekommen. Mit diesem Preis für die Freisetzung reaktiven Stickstoffs können Naturschutzinteressen und Wirtschaftsinteressen mit dem gleichen Kriterium gegeneinander abgewogen werden. Dann steht nicht mehr abstrakte Diversität gegen reale Arbeitsplätze oder Steuereinnahmen, sondern dann werden die Gewinne und Kosten der Eingriffe in den Stickstoffhaushalt abgewogen.

Es würde sich dann auch wirtschaftlich lohnen, die Denitrifikationskapazität der Gewässer zu verstärken, beispielsweise durch die Vergrößerung von Bereichen mit geringer Wassertiefe und geringer Strömungsgeschwindigkeit entlang der Flüsse, also durch die Erhaltung von Flussauen und die Renaturierung von Nebenarmen, weil genau dort der reaktive Stickstoff besonders effizient abgebaut wird. Wenn also die Freisetzung von reaktivem Stickstoff zu einer begrenzten und handelbaren Ressource wird, dann kann die Erhaltung funktionierender Biotope und deren Biodiversität zum Ergebnis von nüchternen, wirtschaftlichen Überlegungen werden.

## Quellen

- BMUB, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (2017). *Stickstoffeintrag in die Biosphäre – Erster Stickstoffbericht der Bundesregierung* (Broschüre Nr. 2262). Berlin, Germany: BMUB.
- Johannsen, A., Dähnke, K. & Emeis, K. (2008). Isotopic composition of nitrate in five German rivers discharging into the North Sea. *Organic Geochemistry*, 39(12), 1678-1689. doi:10.1016/j.orggeochem.2008.03.004
- Marchant, H. K., Holtappels, M., Lavik, G., Ahmerkamp, S., Winter, C. & Kuypers, M. M. M. (2016). Coupled nitrification-denitrification leads to extensive N loss in subtidal permeable sediments. *Limnology and Oceanography*, 61(3), 1033-1048. doi:10.1002/lno.10271
- Volkenborn, N. (2005). *Ecosystem engineering in intertidal sand by the lugworm *Arenicola marina**. PhD thesis, Universität Bremen.

## Impressum

### Herausgeber

Helmholtz-Zentrum Potsdam,  
Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ  
Telegrafenberg  
14473 Potsdam

### Redaktion

PD Dr. Dierk Spreen  
Jana Kandarr  
Oliver Jorzik

### Layout

Pia Klinghammer

E-Mail: [redaktion-eskp@gfz-potsdam.de](mailto:redaktion-eskp@gfz-potsdam.de)

Alle Artikel sind auch im Internet abrufbar:

<https://themenspezial.eskp.de/biodiversitaet-im-meer-und-an-land/inhalt-937146/>

Stand: Februar 2020

Heft-DOI: <https://doi.org/10.2312/eskp.2020.1>

ISBN: 978-3-98-16597-4-0

### Zitiervorschlag:

Earth System Knowledge Platform (Hrsg.). (2020). *ESKP-Themenspezial Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt*. Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.1

### Einzelartikel:

[Autor\*innen]. (2020). [Beitragstitel]. In Earth System Knowledge Platform (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt* ([Seitenzahlen]). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:[DOI]

Die Verantwortung für die Inhalte der Einzelbeiträge der vorliegenden Publikation liegt bei den jeweiligen Autorinnen und Autoren.



Text, Fotos und Grafiken soweit nicht andere Lizenzen betroffen:  
eskp.de | [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)