



BIODIVERSITÄT IM MEER UND AN LAND

Vom Wert biologischer Vielfalt

Wie entsteht und
schwindet Biodiversität?

Klimawandel bedingt
Artenwandel

Schutz von Leben
im Meer

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

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/)

Inhalt

Editorial	6
1. Wie entsteht und schwindet Biodiversität?	8
Begriffsdefinition: Was ist gemeint, wenn wir von Biodiversität reden?	9
PD Dr. Dierk Spreen, fachliche Durchsicht: Prof. Dr. Kurt Jax, Prof. Dr. Josef Settele	
Biodiversität als Versicherung für die Zukunft	14
Prof. Dr. Josef Settele	
Biodiversität und Ethik	21
Dr. Uta Eser	
Die Entstehung neuer Arten beobachten	25
Prof. Dr. Oscar Puebla	
Wandel der Biodiversität im Meer und an Land vergleichen	28
Prof. Dr. Helmut Hillebrand	
Bedeutung der Biodiversität für Ökosystemfunktionen und Küstenformen	33
Dr. Wenyan Zhang, Dr. Christiane Eschenbach	
Genetische und physiologische Diversität – Grundlage der Anpassung von Pflanzen in Evolution und Nutzung	39
Prof. Dr. Ulrich Schurr	
2. Vom Wert biologischer Vielfalt	43
Funktionelle Diversität: Welche Funktionen erfüllen marine Ökosysteme?	44
Dr. Ute Jacob, Prof. Dr. Helmut Hillebrand	
Naturstoffe aus dem Meer für Medizin und Landwirtschaft	47
Prof. Dr. Deniz Tasdemir	
Nutzung mikrobieller und pflanzlicher Diversität in der Biotechnologie	50
Prof. Dr. Michael Bott	
Wasserqualität und Biodiversität – eine enge wechselseitige Beziehung	54
Dr. Markus Weitere, Dr. Mario Brauns, Dr. Karsten Rinke, Prof. Dr. Dietrich Borchardt, Valerie Wentzky	
Grenzen des Lebens kennen. Das größte Ökosystem der Erde: die Tiefe Biosphäre	58
Dr. Jens Kallmeyer, Jun. Prof. Dr. Susanne Liebner, Prof. Dr. Dirk Wagner	
3. Klimawandel bedingt Artenwandel	64
Arteninvasion und Klimaerwärmung – Folgen für die Biodiversität der Küsten	65
Dr. Christian Buschbaum	
Invasive Arten als Chance?	69
Prof. Dr. Martin Wahl	
Welches Leben entsteht unter wegbrechendem Schelfeis in der Antarktis?	72
Prof. Dr. Julian Gutt	
Leben am Limit – der Klimawandel bedroht den Kabeljau	76
Dr. Ute Daewel	
Reis, der Salz und Trockenheit aushält	80
Prof. Dr. Peter Nick	
Stressresistente Weinreben: Signale verstehen statt Gift verspritzen	82
Prof. Dr. Peter Nick	

4. Nährstoffüberschüsse für Organismen höchst problematisch	85
Überdüngung von Gewässern macht Mikroorganismen zu schaffen	86
Dr. Tina Sanders	
Ein Zuviel an Nährstoffen in der Ostsee	89
Prof. Dr. Martin Wahl	
Nitrat in der Nordsee – Auf die richtige Balance kommt es an	92
Dr. Andreas Neumann, Dr. Alexa Wrede, Dr. Justus van Beusekom	
„Mehr ist besser“ – Seegrass als Indikator für den Zustand von Küstengewässern	97
Dr. Tobias Dolch	
Nutrient Network – ökologische Forschung für Grasländer neu gedacht und neu gemacht	100
Prof. Dr. Stan Harpole	
Tagfalter als Indikatoren für den Biodiversitätsverlust im Grünland	104
Elisabeth Kühn	
Ökologische oder konventionelle Landwirtschaft – was ist besser für die Artenvielfalt?	108
Dr. Karin Stein-Bachinger, Almut Haub & Frank Gottwald	
5. Biodiversitätswandel und Schwund natürlicher Flächen durch Verstädterung	112
Wie steht es um die Biodiversität der Städte?	113
Dr. Sonja Knapp	
Unsere Städte – neue Spielfelder der Evolution?	116
Dr. Sonja Knapp	
Wie ernst ist es uns mit der Eindämmung des Flächenverbrauchs?	119
Dr. Jana Bovet, Dr. Elisabeth Marquard	
Lichtverschmutzung. Wie wirken erhellte Nächte auf Tiere und Pflanzen?	123
Dr. Christopher Kyba, Prof. Dr. Martin Wahl	
6. Wie gelingt Renaturierung?	125
Leitbilder für die Renaturierung von Flussauen schaffen	126
Dr. Christian Damm	
Staudämme: Auen in der Amazonasregion erhalten	130
Jana Kandarr, fachliche Prüfung Prof. Dr. Florian Wittmann	
Bioenergie und Aufforstung sind ambivalent	136
Prof. Dr. Almut Arneth	
Pflanzenvielfalt im Grünland und in Wäldern verbessert Nährstoffrückhalt	140
Dr. Sophia Leimer, Prof. Dr. Wolfgang Wilcke	
Was wächst, wenn es nicht mehr kracht? – Biologische Vielfalt auf Truppenübungsplätzen	145
Dr. Carsten Neumann	

7. Schutz von Leben im Meer 149

Biodiversität der Tiefsee noch weitgehend unbekannt	150
Dr. Henk-Jan T. Hoving	
Veränderung der Biodiversität im Meer schwer vorherzusagen	154
Prof. Dr. Kai Wirtz	
Neue Einblicke durch Plankton-Observatorien	158
Dr. Klas Ove Möller	
Die Bestimmung von Phytoplanktongruppen durch Fernerkundung in Küstengewässern	162
Dr. Christiane Eschenbach, Dr. Hajo Krasemann	
Indikatoren für EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makroalgen leichter bestimmen	167
Dr. Inka Bartsch, Dr. Christian Buschbaum, M. Sc. Tosia Schmithüsen	
Mikrobielle Biodiversität im Meer erhalten	172
Dr. Jutta Wiese, Prof. Dr. Ute Hentschel Humeida	
Biodiversitätsatlas: Auswirkungen der globalen Fischerei auf die marine Biodiversität	176
Cristina Garilao, Dr. Rainer Froese	
Was macht ein Meeresschutzgebiet erfolgreich?	179
Dr. Katharina Teschke, Prof. Dr. Thomas Brey	
Die Wiederansiedlung der Europäischen Auster	183
Corina Peter, Dr. Bernadette Pogoda	

8. Biodiversität in allen Sektoren verankern 187

Wie geht es nach dem globalen Bericht des Weltbiodiversitätsrats IPBES weiter?	188
Dr. Elisabeth Marquard	
Der Weg von internationalen Umweltberichten in die deutsche Politik	193
Dr. Gesche Krause, Dr. Anne-Kathrin Happe, Jan Scheve	
Mainstreaming: Biodiversität in nationalen Strategien verankern	196
Dr. Penelope Whitehorn	
Natur in die Stadt – mit seinem Biodiversitätsplan geht Paris neue Wege	199
Oliver Jorzik	
Der Schutz von Biodiversität braucht angepasste Politik- und Finanzierungsinstrumente	205
Dr. Julian Rode	
Wie gut ist die deutsche Biodiversitätsforschung vernetzt?	209
Jonas Geschke	

EDITORIAL

Biodiversität im Meer und an Land

Die Befunde liegen klar ausgebreitet vor uns. Der Weltbiodiversitätsrat IPBES warnt in seinem jüngsten globalen Bericht vor einem starken Rückgang der Arten und der Biodiversität insgesamt. Geschätzt sind 1 Million Tier- und Pflanzenarten im Laufe der nächsten 20 bis 50 Jahre vom Aussterben bedroht, wenn nicht gesteuert wird. Der Anteil der Arten, die derzeit vom Aussterben bedroht sind, liegt durchschnittlich bei etwa 25 Prozent.

Zahlreiche Ökosystemleistungen, die die Natur uns zur Verfügung stellt, sind für die menschliche Gesundheit und unsere Versorgung unerlässlich: als Nahrungsmittel, als Basis für Arzneien oder für den Zugang zu sauberem Trinkwasser. Die meisten dieser Ökosystemdienstleistungen sind nicht vollständig ersetzbar, einige sind nach Angaben des IPBES sogar unersetzlich. Schwindet die Biodiversität, sind auch diese wichtigen Ökosystemleistungen bedroht.

Der Sachstandsbericht des IPBES bezieht sich auf das, was wir über Biodiversität jetzt und heute wissen. Aber viele Zusammenhänge und Wechselwirkungen in der Natur sind überhaupt noch nicht bekannt. Allein im Meer werden pro Tag durchschnittlich vier neue Arten entdeckt. Schätzungen zufolge sind in den Ozeanen circa 300.000 bis 2 Millionen Arten sogar noch gänzlich unbekannt.

In unserem neuen Themenspezial „Vom Wert biologischer Vielfalt – Biodiversität im Meer und an Land“ fragen wir danach, was Biodiversität im modernen wissenschaftlichen Verständnis bedeutet und welche Rolle sie für unser Leben spielt. Biodiversität bedeutet mehr als Artenvielfalt. Es geht auch um genetische Variabilität innerhalb einer Art, um die funktionelle Vielfalt oder die Vielfalt der Ökosystem-

typen. In den Blick nehmen wir auch einzelne Treiber bzw. Ursachen, die für den Wandel der Biodiversität ausschlaggebend sind: Klimawandel, veränderte Landnutzung, Überdüngung der Böden, Verstädterung oder der Eintrag von Schadstoffen.

In der öffentlichen Diskussion dominiert häufig die Betrachtung einzelner Klassen wie Insekten und bekannter Arten wie der Europäischen Honigbiene. Wir wollen aber dafür sensibilisieren, dass es viele weitere Organismen gibt, die für Ökosysteme an Land und im Meer ebenfalls eine zentrale Bedeutung haben wie die verschiedenen Planktonarten, Seegräser oder Mikroorganismen. Dazu werfen wir auch einen Blick in Regionen, die in der öffentlichen Wahrnehmung nur selten auftauchen wie zum Beispiel die Tiefe Biosphäre oder die höchst biodiverse Flussauen.

” **Die größten Auswirkungen auf die Biodiversität in Meeresökosystemen hat die Fischerei der letzten 50 Jahre. (IPBES)**

Bei der Erstellung des Themenspezials haben uns wieder viele Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler aus dem Forschungsbereich Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft geholfen und uns einen fachkundigen Einblick in ihre aktuelle wissenschaftliche Arbeit gegeben. Bedanken wollen wir uns für die Unterstützung beim Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI),

beim Forschungszentrum Jülich (FZJ), beim GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, beim Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ), beim Helmholtz-Zentrum Geesthacht - Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG), beim Karlsruher Institut für Technologie (KIT) sowie bei dem Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ). Unser Dank gilt außerdem dem Helmholtz-Institut für Funktionelle Marine Biodiversität an der Universität Oldenburg (HIFMB), dem zum KIT gehörenden Institute of Meteorology and Climate Research - Atmospheric En-

vironmental Research (IMK-IFU) in Garmisch-Partenkirchen, dem Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) in Müncheberg, dem Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein (LLUR), dem Netzwerk-Forum zur Biodiversitätsforschung Deutschland (NeFo) sowie dem Büro für Umweltethik in Tübingen.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen!
Ihre ESKP-Redaktion

Die **Earth System Knowledge Platform** (www.eskp.de) ist die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft.

Getragen wird ESKP vom **Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung** (AWI), dem **Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt** (DLR), dem **Forschungszentrum Jülich** (FZJ), **GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel**, dem **Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum** (GFZ), dem **Helmholtz-Zentrum Geesthacht - Zentrum für Material- und Küstenforschung** (HZG),

dem **Karlsruher Institut für Technologie** (KIT) sowie dem **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ**.

Das Themenspezial-Format der Wissensplattform (themenspezial.eskp.de) bietet übergreifende Syntheseperspektiven zu jeweils einem besonderen Thema. Die vorliegende Publikation fasst erstmalig eine Themenspezial-Ausgabe in einer Gesamt-PDF zusammen. Online sind bislang außerdem die Themenspezial-Ausgaben „Rohstoffe in der Tiefsee“, „Metropolen unter Druck“ sowie „Plastik in Gewässern“ zugänglich.

1. Wie entsteht und schwindet Biodiversität?

Einleitung

Wenn wir heute von Biodiversität sprechen, ist damit in der Regel die Vielfalt von Arten gemeint. Aus wissenschaftlicher Sicht umfasst der Begriff jedoch weitaus mehr. Am Anfang des Themenspezials soll daher zunächst ein Grundverständnis erzeugt werden, was Biodiversität ist und welchen Wert Biodiversität für uns hat. Dies schließt auch Fragen der Ethik mit ein.

Biodiversität ist einem starken Wandel unterworfen, sowohl an Land wie auch im Meer. Wie lassen sich diese Änderungen erfassen, wo gibt es Verlierer und möglicherweise auch Gewinner? Am Beispiel des Wattenmeers wird konkret gezeigt, welche Funktionen ein Lebensraum für uns Menschen übernehmen kann. Moderne Züchtungsmethoden machen deutlich, wie der Mensch genetische Diversität nutzen kann, um Pflanzen auf den Klimawandel vorzubereiten.

Themen-Überblick

- ▶ Biodiversität, eine Begriffsdefinition
- ▶ Biodiversität und Ethik
- ▶ Die Entstehung neuer Arten beobachten
- ▶ Wandel der Biodiversität im Meer und an Land vergleichen
- ▶ Die Bedeutung von Biodiversität für Küsten
- ▶ Genetische und physiologische Diversität – Grundlage der Anpassung von Pflanzen in Evolution und Nutzung

WIE ENTSTEHT UND SCHWINDET BIODIVERSITÄT?

Begriffsdefinition: Was ist gemeint, wenn wir von Biodiversität reden?

Autor: PD Dr. Dierk Spreen (ESKP)

Fachliche Durchsicht: Prof. Dr. Kurt Jax, Prof. Dr. Josef Settele (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ)

Der Begriff der Biodiversität ist nicht klar umrissen. In den Umweltwissenschaften geht man von einem erweiterten Verständnis der Biodiversität aus, das über Artenvielfalt hinausreicht. Darüber hinaus haben die ethischen und politischen Aspekte von Biodiversität erheblich an Bedeutung gewonnen.

- Die wissenschaftliche Definition von Biodiversität ist von dem Gebrauch des Begriffs als Schlagwort zu unterscheiden.
- Der Begriff hat eine lange Geschichte. Es lassen sich vier Grundbedeutungen herausarbeiten.
- Ethisch betrachtet ist Biodiversität ein komplexer Gegenstand. Durch die UN-Biodiversitätskonvention wurde der Erhalt von Biodiversität als politisches Ziel anerkannt.

Die „Krise der Biodiversität“ ist zu einem umweltpolitischen Schlagwort geworden, das in der Öffentlichkeit verwendet wird, um die Botschaft einer generellen Bedrohung der Artenvielfalt oder sogar „der Natur“ insgesamt zu vermitteln (Beierkuhnlein, 2003, S. 62). Die Verwendung in öffentlichen und politischen Stellungnahmen ist allerdings nicht vollständig deckungsgleich mit der wissenschaftlichen Bedeutung des Begriffs.

Bedeutung von Biodiversität in den Wissenschaften

Auch in den Wissenschaften handelt es sich bei Biodiversität um keinen feststehenden Begriff. Früher sprach man vor allem über Artenvielfalt in einem bestimmten räumlich und zeitlich eingegrenzten Rahmen. 1986 wurde mit dem von der amerikanischen Akademie der Wissenschaften veranstalteten „Forum on Bio-Diversity“ in Washington ein neuer Begriff ins Spiel gebracht (Jax, 2018, S. 130). Der Begriff der Biodiversität, der spätestens seit der Convention on Biological Diversity (CBD) von 1992 auch allgemein bekannt wurde (Dierßen/Huckauf, 2008, S. 3), ermöglicht es, in Bezug auf die Viel-

falt des Lebens eine erweiterte Perspektive einzunehmen. So kann man heute vier Bedeutungen von Biodiversität unterscheiden (vgl. Riede/Mutke, 1999):

- **Erstens** meint Biodiversität sowohl die Variabilität innerhalb von Populationen als auch die gesamte genetische Vielfalt innerhalb eines Ökosystems. Es geht demnach um die genetische Diversität innerhalb von Arten und Artengemeinschaften.
- **Zweitens** umfasst er die Anzahl der verschiedenen Arten in einem definierten Ökosystem (Artenvielfalt oder taxonomische Diversität). Diese Bedeutung entspricht am ehesten dem klassischen Verständnis von Biodiversität.
- **Drittens** bezieht sich der Begriff auf die Ökosystem-Diversität. Hierbei geht es um die Anzahl der verschiedenen Ökosystemtypen in einer größeren geografischen Region. Für die Nordsee / Nordatlantik wären dies z. B. so unterschiedliche Systeme wie Salzwiesen, Wattgebiete oder Felsküsten in der Gezeitenzone, Freiwasserbereiche oder Kaltwasserkorallensysteme. Ebenfalls berücksichtigt werden müssen

- **viertens** – die verschiedenen Verhaltens- und Ernährungsweisen von Arten und somit indirekt aller Prozesse innerhalb eines Habitats/Ökosystems. Relevant sind deren Rollen innerhalb der Nahrungskette- und -netze, z.B. Räuber-Beute-Beziehungen, Parasitismus oder Symbiosen und die optimale Ressourcennutzung und Nährstoffumsätze, die Funktion einer oder mehrere Arten als Bestäuber oder Destruenten etc. Hierbei zählt also nicht die Anzahl der Arten, sondern deren Funktionen (Rollen). In diesem Fall spricht man von funktioneller Diversität.

Das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity, CBD) fasst in der „Schlussakte von Nairobi“ von 1992 unter dem Begriff der biologischen Vielfalt „die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören; dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme“ (BGBl II, 1993, Nr. 32, Art. 2).

Nicht immer ist der wissenschaftliche Gebrauch des Begriffs einheitlich. Zusammenfassend kann man aber sagen, dass Biodiversität die Vielfalt des Lebens zu einem bestimmten Zeitpunkt bzw. über eine bestimmte Zeitspanne und in einem bestimmten Raum bezeichnet (vgl. Beierkuhnlein, 2003, S. 64).

Vom Wert der Biodiversität

Allerdings hat auch der oben bereits angedeutete Schlagwortcharakter des Begriffs seinen Sinn, wenn Biodiversität in der öffentlichen Debatte auftaucht oder in den Medien verwendet wird. Von Anfang an war der Gebrauch des Begriffs auch in den Wissenschaften eng mit dem Schutz der Natur verbunden (Jax, 2018, S. 130). Und so war es auch gedacht: Die normative Imprägnierung des wissenschaftlichen Begriffes der Biodiversität erkennt an, dass die Wissenschaften kein Raum jenseits der Gesellschaft sind (Eser, 2003, S. 162, 169). Damit eröffnet sich

eine politische Dimension, die über die reine Erarbeitung wissenschaftlicher Erkenntnisse hinausgeht. Hier können ethische Überlegungen helfen, die sich allerdings nicht aus einfachen Formeln ableiten lassen.

Biodiversität stellt sich nicht nur auf fachwissenschaftlicher Ebene, sondern auch ethisch und normativ als ein komplexes Problem dar. Dies zeigt sich schon an der einfachen Frage: „Wie wichtig ist uns Biodiversität und warum?“ Allein die Zuweisung einer Wertigkeit hängt stark von den Wertsystemen ab, die jeweils zugrunde gelegt werden und die auf persistente Wertkonflikte verweisen, die in pluralistischen Gesellschaften allerdings nicht nur normal sind, sondern selbst wiederum einen Wert darstellen.

Grob kann unterschieden werden zwischen einem intrinsischen Wert der biologischen Vielfalt und dem Wert, den sie für den Menschen hat. Im ersten Fall handelt es sich um eine Wertigkeit von Biodiversität, die unabhängig von menschlichem Nutzungsinteresse ist. Das

Infokasten: Ethische Forschung

„Naturwissenschaftliche Forschung kann nur beschreiben, sie kann de facto nicht bewerten, ohne ihre eigene Selbstbegrenzung als ‚wertfreie Wissenschaft‘ zu überschreiten. Hier ist der Punkt, an dem ethische Forschung ansetzt und an dem gesellschaftliche Entscheidungsprozesse eingehen. Solche Entscheidungsprozesse sind nie nur von reinen Kosten-Nutzen-Abwägungen geprägt. Sie werden auch immer von einem großen Spektrum von Werten mit bestimmt. In diesem Sinne kann es auch keine ‚ökologischen‘ Begründungen für den Schutz von Biodiversität (oder den Naturschutz generell) geben. Ökologische Argumente sind nur ein Teil einer Argumentationskette, die sich auf bestimmte, von Menschen vertretene Werte und Interessen beziehen, wie die Erhaltung eines Ökosystems aus Gründen menschlichen Wohlergehens.“ (Jax, 2010, S. 15)

Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) etwa bestimmt „das Schutzgut der biologischen Vielfalt“ als „ein eigenständig anzustrebendes Ziel“ (Gassner et al., 2010, S. 323).

Demgegenüber stehen diejenigen Werte, die Biodiversität für Menschen konkret hat oder haben kann. Letztere sind ausgesprochen vielfältig. Es kann sich etwa um ökonomische oder ökologische Rollen biologischer Vielfalt handeln. Diese Perspektive betont etwa die Bedeutung von Ökosystemdienstleistungen für gesellschaftliche oder wirtschaftliche Prozesse. Hierbei geht es um den Nutzwert von Biodiversität.

Nicht zu vergessen sind aber auch die sogenannten kulturellen Dienstleistungen (Jax, 2018, S. 131). Dem Erholungswert von Naturräumen, der sich auch mit ästhetischen Werten verbinden kann, sprechen viele Menschen eine erhebliche Bedeutung zu: Der Ausflug ins Grüne inklusive situativer Bewunderung des Naturschönen beispielsweise in Form einer artreichen Wildblumenwiese wird als positives Erlebnis wahrgenommen, das etwa Stresserfahrungen ausgleichen kann.

Auch die Werthhaftigkeit von Biodiversität für den Menschen findet sich im BNatSchG reflektiert. Die biologische Vielfalt ist ebenfalls im Hinblick auf ihre Eigenschaft „als Grundlage für Leben und Gesundheit des Menschen“ auf Dauer zu sichern (BNatSchG, §1, Abs.1, Nr.1).

Ergänzend zu betonen ist hierbei, dass sich der ästhetische Naturgenuss einem rein instrumentellen Verständnis entzieht, weil ästhetisches Vergnügen per se aus dem Rahmen zweckhaften Handelns herausgehoben ist. Im ästhetischen Rezeptionsmodus wird das Naturschöne nicht betrachtet, um etwa einen ökonomischen oder wissenschaftlichen Zweck zu verfolgen, sondern das Naturschöne wird um seiner Rezeption willen rezipiert. Eben daraus resultieren der ästhetische Genuss und die mit ihm einhergehenden positiven Gefühle.

Ethik und Politik

Was die ethische Thematisierung von Biodiversität angeht, ist diese von politischen Fragen nicht zu trennen. Denn letztlich wird dabei die Art und Weise der Umweltnutzung verhandelt. Fragen, die die Verteilung und Nutzung von Land umkreisen, waren aber immer schon grundlegend für das Politische und für politische Ordnungsstrukturen: „Wer darf welches Stück Natur zu welchem Zweck nutzen und damit gegebenenfalls Nutzungsinteressen anderer auch frustrieren?“ (Eser, 2008, S. 8) Hierbei geht es einerseits um die gerechte Verteilung von Zugangs- und Nutzungsrechten an der Natur. Andererseits geht es um Generationengerechtigkeit. Dürfen die heutigen Generationen die Erde quasi verbrauchen – etwa wie ein Erbe oder ein Konsumgut? Oder gibt es eine Verpflichtung, den Planeten wie eine Leihgabe zu behandeln, die man an künftige Generationen in brauchbarem Zustand weitergibt?

Solche Fragen betreffen die ethische Problemstellung „Gerechtigkeit“. Darüber hinaus werden aber auch Fragen thematisiert, die die Bedeutung des Umweltverhältnisses im Zusammenhang mit einem „guten Leben“ betreffen. Die bereits von Aristoteles aufgeworfene Frage nach dem „guten Leben“ zielt nicht darauf ab, wie Menschen sich augenblicklich glücklicher fühlen können. Vielmehr wird gefragt, was ein gegliedertes Leben ausmacht (Eser et al., 2014, S. 97-105).

Aus der Perspektive des Wertes von Biodiversität oder Natur sind hierbei die Beziehungen zwischen Menschen und nichtmenschlicher Natur von besonderem Interesse. Es geht dabei etwa um die Beziehungen (oder „Relationen“) etwa zu Tieren oder Landschaften, denen eine besondere Bedeutung zugeschrieben wird. Diese Beziehungen sind nicht Mittel zum Zweck für andere, nützliche Ziele, sondern sie stehen als solche selbst im Mittelpunkt und stellen für uns Menschen daher einen Wert dar. Sie heißen daher auch relationale Werte (Jax, 2018, S. 136). Solche werthaften Relationen sind nicht beliebig austauschbar – es ist eben genau diese

Landschaft, mit der eben genau jene Person spezifische Gefühle verbindet.

Durch diesen ganzheitlichen Ansatz wird erst recht deutlich, dass die mit Biodiversität und Umwelt verbundenen Wertfragen immer auch Fragen sind, die das Zusammenleben von Menschen und die damit verbundenen sozialen, kulturellen und politischen Konflikte betreffen: „Umweltkonflikte [...] sind nicht in erster Linie Konflikte zwischen ‚dem Menschen‘ und ‚der Natur‘, sondern Konflikte zwischen unterschiedlichen Menschen mit unterschiedlichen Interessen.“ (Eser, 2014, S. 233)

Der politische Charakter von Umweltfragen ermöglicht es einerseits, dass die Notwendigkeit, Biodiversität zu schützen, besser ins öffentliche Bewusstsein vordringen kann. Andererseits bleibt es dennoch unsicher, ob Biodiversität zukünftig zureichend geschützt wird. „Eine Umweltpolitik, die Ernst macht mit dem Schutz der natürlichen Umwelt und ihrer weltweit gerechten Verteilung, muss individuelle Konsumfreiheiten möglicherweise begrenzen. Es könnte sein, dass die erforderlichen Zumutungen sich als nicht mehrheitsfähig erweisen – selbst wenn sie moralisch gerechtfertigt sind.“ (Eser, 2014, S. 234)

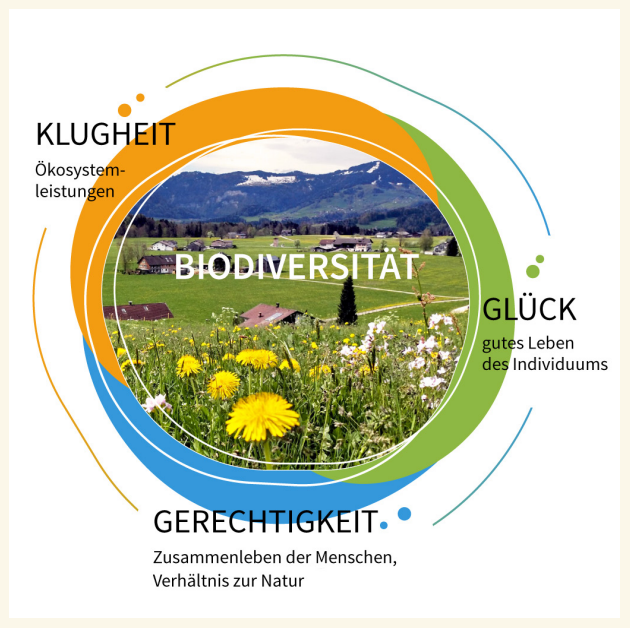
Durch die UN-Biodiversitätskonvention (Convention on Biological Diversity, CBD), die am 29. Dezember 1993 in Kraft getreten ist, wurde das Bemühen um den Erhalt der biologischen Vielfalt immerhin bereits zu einer staatlichen Aufgabe. Die Konvention wurde von nahezu allen Staaten der Erde sowie der EU unterzeichnet und auch ratifiziert. 37 Staaten haben sie bisher allerdings nicht ratifiziert (Stand: 6/2019). Mit der Konvention der Vereinten Nationen verpflichten sich die Staaten zu drei gleichberechtigten Zielen, nämlich „den Schutz, die nachhaltige Nutzung und die gerechte Verteilung der natürlichen Reichtümer zu gewährleisten“ (Eser, 2008, S. 8).

2012 wurde zudem der Weltbiodiversitätsrat (Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES) eingerichtet.

Infokasten: Klugheit, Gerechtigkeit, Glück

In den auf den Wert von Biodiversität bezogenen Debatten verbinden sich verschiedene ethische Dimensionen. Die Umweltphilosophin Uta Eser unterscheidet zwischen drei ethischen Dimensionen in der Debatte um Biodiversität:

- **Erstens** die Dimension der „Klugheit“, die sich auf Ökosystem(dienst)leistungen und Nutzenkalküle bezieht.
- **Zweitens** spielt die Dimension der „Gerechtigkeit“ eine Rolle, die auf soziale Teilhabenaspekte sowie Verteilungs- und Betroffenheitskonflikte verweist, aber auch auf Gerechtigkeit gegenüber anderen Lebewesen (intrinsicischer Wert).
- Und **drittens** ist das die Dimension des „Glücks“, die auf die Rolle von Natur für eine gelungene individuelle Lebensgestaltung abzielt (Eser, 2014, S. 224-227). Auch die glücksethische Dimension hat eine politische Seite, insofern es eine Aufgabe der Regierung ist, die allgemeinen Voraussetzungen für ein „gutes Leben“ aller Gesellschaftsmitglieder zu schaffen und zu sichern (Eser et al., 2014, S. 103 f.).



Im Mai 2019 hat der IPBES erstmalig einen Weltbiodiversitätsbericht vorgelegt, der in seiner Bedeutung wohl nur mit dem Weltklimabericht des IPCC vergleichbar ist. Der Bericht nimmt eine Bestandsaufnahme des Zustands der globalen Ökosysteme vor und wird daher auch als „Globaler Zustandsbericht“ bzw. als „Global Assessment“ bezeichnet. Der IPBES-Bericht warnt vor einer beispiellosen Verschlechterung des Zustands der Natur und vor der Beschleunigung des Artensterbens. Beides hat gravierenden Auswirkungen auf die Menschen in der gan-

zen Welt. Näheres zum Bericht findet sich im Beitrag von Elisabeth Marquard vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in diesem Themenspezial (S. 189–192).

Um den Zugang zum globalen IPBES-Bericht für deutsche Leser zu erleichtern, hat das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig (2019) zudem eine sehr empfehlenswerte und verdichtete deutsche Übersetzung der IPBES-Zusammenfassung für Entscheidungsträger veröffentlicht.

Quellen

- Beierkuhnlein, C. (2003). Der Begriff Biodiversität. *Nova Acta Leopoldina, NF 87(328)*, 52-71.
- Dierßen, K. & Huckauf, A. (2008). Biodiversität – Karriere eines Begriffs. Aus *Politik und Zeitgeschichte*, 3, 3-10.
- Eser, U. (2003). Der Wert der Vielfalt: „Biodiversität“ zwischen Wissenschaft, Politik und Ethik. In M. Bobbert, M. Düwell & K. Jax (Hrsg.), *Umwelt, Ethik und Recht* (S. 160-181). Tübingen, Germany: Francke.
- Eser, U. (2008). Ethik der Biodiversität. Naturschutz und globale Gerechtigkeit. *umweltjournal Rheinland-Pfalz*, 50, 8-9.
- Eser, U. (2014). Umweltethik und Politische Ethik: Natur als Gegenstand von Interessenkonflikten. In M. Maring (Hrsg.), *Bereichsethiken im interdisziplinären Dialog* (S. 221-238). Karlsruhe: Karlsruher Institut für Technologie (KIT). doi:10.5445/KSP/1000037755
- Eser, U., Neureuther, A.-K., Seyfang, H. & Müller, A. (2014). *Prudence, justice and the good life: a typology of ethical reasoning in selected European national biodiversity strategies*. Bonn, Germany: BfN.
- Gassner, E., Winkelbrandt, A. & Bernotat, D. (2010). *UVP und Strategische Umweltprüfung. Rechtliche und fachliche Anleitung für die Umweltprüfung* (5. Aufl.). Heidelberg, Germany: C.R. Müller Verlag.
- Gesetz zu dem Übereinkommen vom 5. Juni 1992 über die biologische Vielfalt vom 30. August 1993 idF vom 30. August 1993 (BGBl II, 1741).
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung GmbH – UFZ. (Hrsg.). (2019, 6. Mai). *Das „Globale Assessment“ des Weltbiodiversitätsrates IPBES. Auszüge aus dem „Summary for policymakers“ (SPM)*. Leipzig, Germany: UFZ.
- Jax, K. (2010). Biodiversität und Ethik. In Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (Hrsg.), *UFZ-Experten: In Sachen Biodiversität* (S. 14-16). Leipzig, Germany: UFZ.
- Jax, K. (2018). Zwischen Eigenwert und ökonomischem Nutzen: Spannungsfelder, Missverständnisse und Chancen beim Schutz der biologischen Vielfalt. *Forum Wissenschaftsethik*, 26 (Sonderausgabe), 129-137.
- Kraberg, A. (2014). Entwicklungen der marinen Artenvielfalt. *Earth System Knowledge Platform. Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft*, 01:213.
- Marquard, E. (2019). Wie geht es nach dem globalen Bericht des Weltbiodiversitätsrats IPBES weiter? In Earth System Knowledge Platform (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt* (S. 188-192). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches Geo-Forschungszentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.1.8.1
- Riede, K. & Mutke, J. (1999). Biodiversität. In *Lexikon der Biologie* (Band 2, S. 395-401). Heidelberg, Germany: Spektrum Akademischer Verlag.

WIE ENTSTEHT UND SCHWINDET BIODIVERSITÄT?

Biodiversität als Versicherung für die Zukunft

Interview mit Prof. Dr. Josef Settele (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Zusammen mit weiteren Expertinnen und Experten leitete Prof. Dr. Josef Settele vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig (UFZ) im Auftrag der Vereinten Nationen von 2016 bis 2019 die Erstellung des Globalen IPBES-Berichts zum Zustand der Ökosysteme und der Artenvielfalt. Im Interview erklärt Josef Settele, warum Biodiversität auch eine Versicherung für die Zukunft ist.

- Je mehr Arten wir verlieren, umso geringer ist das Potential, dass bei veränderten Bedingungen eine geeignete Art einspringen kann.
- Umgekehrt stellt Artenvielfalt eine Art Zukunftsversicherung dar.
- Die Vielfalt des Lebens ist gewissermaßen Teil einer „Solidargemeinschaft“, die in Schadensfällen eintreten kann, die durch Klimawandel, Parasiten oder Ackergifte verursacht wurden.
- Dieser Eintritt erfolgt auch zum Nutzen des Menschen.
- Der Mensch muss sein Verhältnis der Natur ändern, wenn er diese Versicherung künftig noch in Anspruch nehmen möchte.

Sehr geehrter Herr Professor Settele, Sie empfehlen die „Aufrechterhaltung der genetischen Vielfalt der Bienen“ (Settele, 2019, S. 301)? Warum ist diese genetische Vielfalt so wichtig?

Josef Settele: Zunächst: Die Empfehlung zur Aufrechterhaltung der genetischen Vielfalt ist nicht nur meine, sondern eine, die aus dem Bestäubungs-Assessment des IPBES resultiert. In der genetischen Vielfalt liegt das Evolutionspotential der Arten. Es reduziert das Aussterberisiko einer Art, da es innerhalb einer Art immer auch Individuen gibt, die mit Veränderungen der Rahmenbedingungen, wie z.B. dem Klimawandel, besser zurechtkommen als der Durchschnitt aller Populationen einer Art.

Im Prinzip gilt das dann genauso auf der Ebene der Arten. Je mehr Arten einer Gruppe wir haben, umso höher ist die Chance, dass eine für die andere unter veränderten Bedingungen einspringen kann. Das ist beispielsweise wichtig bei der Betrachtung der Bienenarten jenseits der Honigbiene. Die Honigbiene ist bei uns ja nur eine von hunderten verschiedener Bienen-

arten. Während es der Honigbiene recht gut geht – das ist für ein Nutztier auch nicht so überraschend –, also ihre Bestände nicht gefährdet sind, ist die Lage bei den Wildbienen wesentlich kritischer. Etwa die Hälfte der Wildbienenarten ist im Rückgang begriffen und somit gefährdet. Je mehr Arten wir verlieren, umso geringer ist das Potential, dass bei veränderten Bedingungen eine geeignete Art einspringen kann. Dies ist bei praktisch allen Ökosystemleistungen relevant, ist aber bei der Bestäubung besonders offensichtlich.

Wir betrachten Natur häufig entweder als nachwachsende Ressource, die sich beliebig ausbeuten und technisch beherrschen lässt, oder aber als eine vom Menschen unberührte Wildnis. Mit der vorhergehenden Antwort bringen Sie implizit eine neue Sichtweise ins Spiel: Biodiversität sehen Sie als eine Versicherung für die Zukunft. Kann man daher von einer neuen „Solidargemeinschaft“ zwischen natürlichen Arten und nutzendem Menschen sprechen, d.h. einer Gemeinschaft, in der beide Seiten füreinander eintreten und nicht lediglich der Mensch die Natur ausbeutet?

Josef Settele: Bei der Sicht auf Biodiversität als Versicherung geht es ja nicht so sehr um den direkten monetären Schadensausgleich durch die Solidargemeinschaft (menschlicher) Versicherungsnehmer. Es betrifft bereits die Behebung einer Schadensursache bzw. die Minderung des Risikos beim Ausfall einer Art oder Varietät, wenn sie durch eine andere Art oder Varietät funktional zumindest in erheblichen Anteilen ersetzt werden kann. Also wird der Schaden oder das Risiko durch den Eintritt einer Variation für eine andere begrenzt – und zwar auch in seinen ökonomischen Folgen für den Menschen. Das hatte ich schon am Beispiel der Bienen angerissen, deren weltweiter Beitrag zur menschlichen Ernährung einen monetären Wert von mehreren hundert Milliarden Euro pro Jahr aufweist.

Ein anderes Beispiel ist die Banane. Die heute sehr gängige Sorte „Cavendish“ war einst als Ersatz für eine andere von Pilzen betroffene Sorte, gewissermaßen zur Schadensabwendung im großen Stil angebaut worden. Doch jetzt ist sie aber selbst bedroht – wiederum durch einen Pilz, der sogenannten Panama-Krankheit TR4. Lösungen für dieses Problem könnten resistente, genetisch veränderte Bananen sein. Häufig ist aber bei resistenten Sorten über kurz oder lang eine Anpassung des „Schadorganismus“ – hier also des Pilzes – zu beobachten, die diese Resistenzen dann überwindet, insbesondere wenn diese auf großen Flächen als Monokulturen angebaut werden. Ein diversifizierter Anbau mit einer größeren Sortenvielfalt ist viel weniger anfällig, da die Wahrscheinlichkeit größer ist, dass er Varietäten beinhaltet, denen der Schädling nicht so viel anhaben kann. Eben jene Varietäten stellen die Basis der Zukunftsversicherung dar.

An welchem Punkt greift nun der Aspekt der Solidargemeinschaft?

Josef Settele: Lassen sie es mich noch so ausdrücken: Die Vielfalt des Lebens ist Teil der Solidargemeinschaft, die in Schadensfällen eintritt, die durch Klimawandel, Parasiten oder Ackergifte verursacht wurden. Dieser Eintritt

erfolgt durchaus auch zum Nutzen des Menschen als Forcierung einer Ökosystemleistung. Beispielsweise konnten wir in den letzten Jahrzehnten zeigen, dass bewässerter Reisanbau in Asien keine großen Schädlingsprobleme hat, solange – und das ist zunächst kontraintuitiv – nicht gegen Schädlinge gespritzt wird (Settele et al., 2018, 2019).

Der Einsatz von Insektiziden zerstört die Vielfalt der Nützlinge. Zudem ermöglicht er den Schädlingen eine beschleunigte Erholung ohne Feinde und dadurch entsprechendes Wachstum. Dies führt erst zu gravierenden Ausbrüchen und dann zu Verlusten. Die Vermeidung von Insektiziden hat in diesem System die Bewahrung einer hohen Artenvielfalt zur Folge, die immer viele Arten umfasst, welche als Gegenspieler der Schädlinge aktiv werden können.

Insofern also der Erhalt von Biodiversität eine Zukunftsversicherung darstellt, hat der Mensch die Option die Verpflichtung übernehmen, die Diversität des Lebens aktiv zu schützen und kann damit grundlegend sein Verhältnis zur und Verständnis von „Natur“ verändern. Letzteres ist eine zentrale Komponente des transformativen Wandels, den wir im Rahmen unseres globalen Assessments als Basis für zukunftsorientierte Entwicklung herausgearbeitet haben. „Wir“ umfasst in diesem Falle auch die Staatengemeinschaft, denn das Dokument ist in Ko-Produktion der Wissenschaftlichen Community mit den Regierungsdelegationen im Konsens verabschiedet worden (IPBES, 2019).

Erst jüngst hat eine Studie unter Leitung der TUMünchen nachgewiesen, dass die Insektenbiomasse in Deutschland stark zurückgeht (Seibold et al., 2019). Was sind seine wesentlichen Ursachen bei uns? Hat sich unsere Landschaft wirklich derart verändert?

Josef Settele: Diese Studie beschreibt eines der ersten großen Ergebnisse der DFG-Exploratorien aus dem Bereich der Insekten. Die Exploratorien liegen in drei Regionen Deutschlands: der Schwäbischen Alb in Baden-Württemberg, dem thüringischen Nationalpark

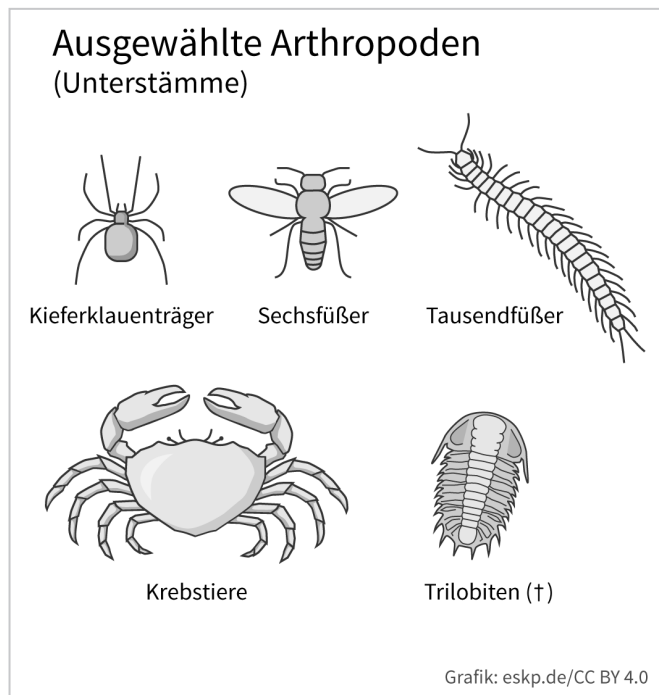
Hainich und im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin in Brandenburg. Hier wurden Daten der letzten 10 Jahre im Zeitraum 2008–2017 analysiert, wobei die höheren Biomassen alle am Anfang der Untersuchungsperiode standen und ab der zweiten Hälfte der Untersuchungen dann auf einem niedrigeren Niveau in etwa konstant blieben.

Wie bei vielen Studien ist es auch hier nicht einfach, die Ursachen herauszufiltern. Wir haben oft das Problem, dass wir mit den nun zahlreicher werdenden neueren Studien vermutlich den Ausklang einer Entwicklung beobachten, die schon über lange Zeit anhält. Das zeigt sich auch beim europäischen Grünland-Indikator der Tagfalter, für den wir seit 1990 quantitative Daten haben (Van Swaay et al., 2019). In diesen Indikator fließen seit 2005 auch die Daten zu den Tagfaltern in Deutschland ein. In Bezug auf diese Daten können wir in diesem Zeitraum keinen Trend bei den Individuenzahlen beobachten. Sehr wohl zeigt sich aber ein Rückgang der Artenzahlen – sowohl innerhalb wie auch außerhalb von Schutzgebieten (Rada et al., 2019).

Hier wie auch bei der DFG-Studie sehen wir einen Rückgang der sogenannten Gamma-Diversität. Sie zeigt uns an, dass Arten über Regionen hinweg verloren gehen und ebenso, dass wir eine Homogenisierung der Artenbestände haben. Das bedeutet, dass sich die Arteninventare überregional ähnlicher werden. Die DFG-Studie legt nahe, dass die meisten Triebkräfte des Arthropodenrückgangs auf größeren Skalen wirken. Sie stehen zumindest beim Grünland in Zusammenhang mit der Landschaft und damit der Landnutzung in der Umgebung dieser Gebiete.

Wie lässt sich das ändern, wo müsste man ansetzen?

Josef Settele: Für Gegenmaßnahmen impliziert dies, dass sich die Politik stärker auf die Landschaftsskala konzentrieren muss, um die negativen Auswirkungen der Landnutzung und somit der Veränderung der Landschaft in den Griff zu bekommen, die lokal vielleicht gar nicht



Übersicht über ausgewählte Arthropoden. Grafik: Wissensplattform Erde und Umwelt, eskp.de / CC BY 4.0

so gut wahrzunehmen ist. Auch Klima-Effekte könnten hier eine Rolle spielen. Die genauen Zusammenhänge sind jedoch noch unklar.

All diese Forschungsergebnisse deuten darauf hin, dass letztlich der transformative Wandel in unserem Wirtschaften – national wie international – eine wichtige Voraussetzung für eine nachhaltige Zukunft darstellt. Wie oben erwähnt, ist ein Zugang in Partnerschaft mit der Natur nötig. Dies umfasst auch ein wesentlich besser koordiniertes Vorgehen über Landschaften und verschiedene Sektoren wie Land- und Forstwirtschaft, Verkehr und Planung hinweg. Partnerschaft umfasst also auch eine Partnerschaft der verschiedenen Akteure.

Mit welchen Anreizen könnten wir Landwirte unterstützen, damit diese Bestäubern mehr Nahrung bieten?

Josef Settele: Es gibt ja schon erste Programme, wie die berühmten Blühstreifen. Diese bringen jedoch noch einige Probleme mit sich. Zum Beispiel können die Blühstreifen durch

rechtliche Vorgaben maximal fünf Jahre bestehen bleiben, danach müssen sie wieder in die eigentliche Nutzfläche integriert werden. Zudem hängt das Überleben von Bestäubern nicht nur von den Nahrungsquellen ab, man braucht auch Nisthabitat. Da sind beispielsweise offene Bodenstellen für viele Arten eine wichtige Komponente. Das könnte erreicht werden, indem Weg- und Heckenränder nicht zu gepflegt daherkommen, sondern ein wenig Chaos und Störung zugelassen wird. Diese Maßnahmen, wie zahlreiche andere, haben die wir in einer deutschsprachigen Broschüre zu den Ergebnissen des IPBES-Bestäuber-Assessments in Kooperation mit dem Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) in Sachsen zusammengestellt (Deutsche IPBES-Koordinierungsstelle, 2016).

Wie in Ihrer Frage schon anklingt, geht es letztlich um geeignete Anreize, solche Maßnahmen auch umzusetzen. Neben Programmen mit Subventionen, die oft gar nicht so einfach ausgestaltet werden können, geht es meines Erachtens ganz stark darum, dass wir die Landwirte mitnehmen und als Partner auf Augenhöhe begreifen. Viele von ihnen sind sehr mit der Natur verbunden und am Schutz der Artenvielfalt interessiert, nicht zuletzt weil gerade sie um die Bedeutung der Vielfalt – nicht nur der Kulturpflanzensorten und Tierrassen – wissen. Vielen Landwirten ist bewusst, dass wir alle von der Vielfalt der Arten abhängig sind.

Wie gelangen wir zu reich strukturierten Landschaften, wenn die Eigentumsverhältnisse in der Landwirtschaft seit langem zementiert sind und häufig auf große Monokulturen gesetzt wird?

Josef Settele: Eine reiche Strukturierung der Landschaft scheitert nicht unbedingt an den Eigentumsverhältnissen. Es gibt durchaus viele Gründe, Strukturen zu erhalten bzw. wieder zu etablieren. Man denke nur an den Schutz vor Wasser- und Winderosion durch Hecken. Hecken werden oft auch von Landwirten mit ganz verschiedenem Flächenzuschnitt geschätzt. Mitunter ist die Struktur der Landschaft gar

nicht hinreichend, um bestimmte Trends zu erklären. In Süd- und Südwestdeutschland finden wir oft eine reich strukturierte Landschaft, dennoch gibt es negative Entwicklungen bei Insekten. Mit Sicherheit hat auch die Nutzung der Fläche selbst negative Auswirkungen – insbesondere im Grünland ist dies unumstritten. Wenn Grünland vor allem zur Gülleentsorgung erhalten muss und zudem ein Dutzend oder mehr Schnitte im Jahr erfährt, ist es als Lebensraum für Insekten nicht mehr geeignet.

Bei der Honigbiene als Nutztier ist weltweit ein positiver Trend zu verzeichnen. Könnte das dazu beitragen, dass ihre wilden Verwandten und andere wildlebende Bestäuberarten verdrängt werden, weil sie beim Kampf um die Blüte einer erhöhten Konkurrenz ausgesetzt sind?

Josef Settele: Die Honigbiene ist nach Schwein und Rind das dritt wichtigste Nutztier weltweit. Die Anzahl an Bienenstöcken, die von Imkern gehalten werden, hat in den letzten 30–40 Jahren weltweit um 50 Prozent zugenommen. Hingegen sind die Bestände von Wildbienen bei vielen Arten deutlich rückläufig. Dennoch gibt es aber nur wenige Indizien für eine gravierende Konkurrenz, zumal das Spektrum der besuchten Blüten sich zwischen den Arten oft deutlich unterscheidet. Dort wo Imker schon lange ihre Stöcke ausbringen und sich zugleich eine Diversität von Wildbienen gehalten hat, kann man eventuell überlegen, keine Erhöhung der Honigbienenbestände anzustreben. Außerdem gilt es auch hier, den Austausch zwischen den Akteuren zu pflegen, da sowohl Naturschützer wie auch Imker meist einen engen Bezug zur Natur und zu Insekten haben und es sinnvoller ist, die vorhandenen Kräfte zu bündeln. Letztes Jahr haben wir das in einem kleinen Beitrag in der Zeitschrift „Science“ beschrieben (Kleijn et al., 2018).

Abgesehen von der Landwirtschaft, welcher Wirtschaftszweig muss sich grundlegend ändern, wenn man Biodiversität als Zukunftsversicherung erhalten möchte? Wo müsste man dabei konkret ansetzen?

Josef Settele: Ich würde die Landwirtschaft hier gar nicht so alleine stehen lassen wollen. Es geht letztlich um unser ganzes Wirtschaftssystem, das mit der Natur versöhnt werden muss. Es geht also um die Integration von Ökologie und Ökonomie. Nicht umsonst klingen die beiden Begriffe sehr ähnlich, denn es geht in beiden Fällen um unser „Haus“ und wie wir damit umgehen. Dabei hat jeder eine Rolle – vom Konsumenten, über die Gemeinde, die privaten Unternehmen, die Verwaltung, die Planung, die regionalen und nationalen Regierungen, die Staatengemeinschaft (Settele, 2019b).

Die Genbank auf Spitzbergen besitzt mehr als 800.000 Samen von Nutzpflanzen aus der ganzen Welt. Können uns solche Genbanken gegen die Risiken des Artenverlusts versichern? Brauchen wir sie in großem Maßstab?

Josef Settele: Solche Genbanken sind ein wichtiges Instrument zur Bewahrung der Vielfalt, können aber wohl nur auf Nutzpflanzen beschränkt bleiben. Es ist hierbei wichtig zu wissen, dass die dort eingelagerten Samen immer wieder ersetzt werden bzw. angebaut werden müssen, um die Bestände an keimfähigen Samen aufrechtzuerhalten. Das ist für alle Pflanzenarten kaum vorstellbar – und bei Tieren sowieso keine Option. Ohne den Erhalt von Pflanzen in der freien Natur ist den Tieren die Basis entzogen, und ohne die Tiere wird es wiederum schwierig, die Pflanzen neu auszusähen und von ihnen Samen zu erhalten, zumal wenn diese von tierischen Bestäubern abhängig sind.

In europäischen Breiten ist es gerade die Kulturlandschaft – und nicht die Wildnis –, die zur Artenvielfalt beiträgt. Das passt ja vom Prinzip her sehr gut zu der Versicherungsperspektive, da die Bewirtschaftung des Bodens keineswegs per se als negativ für Biodiversität gewertet werden darf. Wie stellt sich die Lage heute in Europa dar? Brauchen wir möglicherweise in Deutschland und Europa ein neues Verständnis von Kulturlandschaft?

Josef Settele: Vielleicht brauchen wir kein neues Verständnis, vielmehr benötigen wir generell ein Verständnis von Kulturlandschaft. Das Bewusstsein für die Rolle der Kulturlandschaft, für die Vielfalt, ist in Europa nicht mehr hinreichend ausgeprägt. Zum Beispiel ist das Wissen um die Tatsache, dass die Landwirtschaft vor allem im Offenland – außerhalb von Wäldern – ein wichtiger Grund für unsere Artenvielfalt darstellt, in vielen Bevölkerungsschichten nicht vorhanden.

Ein Ziel bei den Aichi-Biodiversity-Targets ist es, 17 Prozent unserer Landfläche und Binnengewässer bis 2020 unter Schutz zu stellen. Es wird eines der wenigen Ziele zum Schutz der Biodiversität sein, welches voraussichtlich erreicht wird. Treffen wir bei der Auswahl der Naturschutzgebiete gute Entscheidungen? Was sind Lehren und Erfahrungen aus dem bisherigen Umgang mit Schutzgebieten?

Josef Settele: Insgesamt treffen wir bei der Auswahl und der Ausweisung von Schutzgebieten durchaus ganz gute Entscheidungen – insbesondere wenn man mit berücksichtigt, bei welchen Gebieten man einigermaßen erfolgversprechend vorgehen kann. Schauen wir nun mal auf Mitteleuropa und insbesondere Deutschland, dann ist aber festzustellen, dass wir insbesondere beim Management dieser Gebiete große Schwächen haben. Gerade auch in Schutzgebieten beobachten wir Rückgänge von Arten, auch wenn insgesamt dort mehr Arten vorhanden sind als außerhalb. Das schließt direkt an die vorhergehende Frage an, denn die Vorstellung, ein Gebiet auszuweisen und sich zu überlassen, führt in unserer Kulturlandschaft zu einem Rückgang der Vielfalt. Hier sind Nutzung und Management nötig – und hier ist auch die Rolle des Landwirtes als Landschaftspfleger ins Spiel zu bringen.

Eine Frage zum Abschluss: Zunehmend werden Privatgärten in pflegeleichte Stein- und Schotterwüsten verwandelt. Dass das weder für das lokale Klima, noch für die Artenvielfalt der heimischen von Flora und Fauna nützlich ist, liegt auf der Hand. Woher rührt dieser

gegen die unmittelbar umgebene Natur gerichtete Trend? In einzelnen Kommunen wird bereits per Verordnung gegen Schottergärten vorgegangen. Ist das aus Ihrer Sicht der richtige Weg oder muss man stärker mit Anreizen arbeiten? Wie wichtig sind artenreiche Privatgärten für den Erhalt der Biodiversität insgesamt?

Josef Settele: In diesem Zusammenhang spricht man ja mittlerweile von „Gärten des Grauens“ (Viering, 2018; Koller, 2019). Aber zusätzlich zur Rolle von Privatgärten ist auch die Rolle des Siedlungsraumes für die Artenvielfalt zu beachten. Beides hängt eng zusammen. Man hört gelegentlich, dass Städte die neuen Zentren der Biodiversität wären. Dies ist jedoch eine Frage der Betrachtungsweise. Eigentlich ist der urbane Raum nicht per se artenreicher. Er ist es aber wiederum doch, und zwar im direkten Vergleich mit dem Land, denn hier hat eben die Artenvielfalt zum Beispiel durch Landnutzungswandel und Klimawandel abgenommen. Die Stadt hat damit quasi eine Arche-Noah-Funktion übernommen. Sie kann den Biodiversitätsverlust im ländlichen Raum aber nicht ausgleichen. Für unser aller Wohlergehen ist jedoch wichtig, dass wir Biodiversität in den Städten erhalten. Hiermit erklärt sich auch die Rolle von Privatgärten. Dennoch bin ich der Meinung, dass jeder, der einen Garten hat, diesen auch nach seinen Prioritäten entwickeln und bewirtschaften sollte. Es gibt auch Steingärten, die zwar karg wirken, aber gleichzeitig besondere Nischen für Arten aufweisen können. Ebenso ist der Übergang von einem Schottergarten zu einem japanischen Steingarten fließend – dies gilt auch für das ästhetische Empfinden. Für den Wasserhaushalt sind solche Flächen immer noch besser als eine komplett versiegelte Fläche. Auch hier plädiere ich dafür, die Mitmenschen durch inhaltliche Argumentation mitzunehmen und nicht durch Reglementierungen für die Anliegen der Natur zu verlieren – zu der sie selbst ja auch gehören.

Vielen Dank für das Gespräch.

Die Fragen stellte die ESKP-Redaktion.

Infobox: Ausgewählte Daten & Fakten zu Insekten

- Weltweit werden fast 90 Prozent aller Blütenpflanzen – und 75 Prozent aller wichtigen Nutzpflanzen – von Insekten bestäubt.
- Insgesamt schätzt man den globalen Wert der Bestäubung für die Ernteerträge auf 200 bis 600 Milliarden Euro pro Jahr. Konservativ geschätzt, müsste man mindestens 235 Milliarden US-Dollar aufwenden, um die Bestäubungsleistung der Tiere zu imitieren.
- Bei der Bestäubung findet man auch eine Spezialisierung unter den Insektenarten: Bei Ölpalmen/Ölfrüchten sind Rüsselkäfer, bei Luzernen und Feldbohnen sind Hummeln und bei Apfelbäumen sind Wildbienen, Hummeln sowie Schwebfliegen effektiver als die Honigbiene.
- Darüber hinaus sind 70 Prozent der Fledermaus- sowie 60 Prozent der Vogelarten auf Insekten als Futter angewiesen.
- Insgesamt gibt es circa 8 Millionen Arten auf der Erde (ohne Mikroorganismen, vgl. Purvis et al., 2019), schätzungsweise gehören bis zu 3/4 aller Arten weltweit zu den Insekten.
- Geschätzt werden 1 Million Tier- und Pflanzenarten im Laufe der nächsten Jahrzehnte (nächste 20–50 Jahre) vom Aussterben bedroht, wenn nicht gegensteuert wird.
- Konservativ geschätzt sind 10 Prozent aller Insektenarten in den nächsten Jahrzehnten vom Aussterben bedroht.
- Wir haben in Europa 10–15 Insektenarten, die einen Großteil der Bestäubung übernehmen. Die restlichen 300–500 Insektenarten könnten dann wichtig werden, wenn Bestäuber nachhaltig unter dem Klimawandel leiden und eventuell ausfallen.

(Quellen: IPBES, 2019; Koller, 2019; Palme, 2019, 20. Oktober; Purvis et. al., 2019)

Quellen

- Deutsche IPBES-Koordinierungsstelle. (Hrsg.). (2016, Juli). *Bestäuber: Unverzichtbare Helfer für weltweite Ernährungssicherheit und stabile Ökosysteme. Eine Erläuterung zur Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger des Berichts zu Bestäubern, Bestäubung und Nahrungsmittelproduktion der zwischenstaatlichen Plattform für Biodiversität und Ökosystemleistungen (IPBES)*. Bonn: Deutsche IPBES-Koordinierungsstelle, DLR.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (hrsg. von S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondizio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Gariboldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis & C. N. Zayas). Bonn, Germany: IPBES secretariat.
- Kleijn, D., Biesmeijer, J., Dupont, Y. L., Nielsen, A., Potts, S. G. & Settele, J. (2018). Bee conservation: inclusive solutions. *Science*, 360(6387), 389-390. doi:10.1126/science.aat2054
- Koller, A. (2019). „Die Stadt hat eine Arche-Noahfunktion für einige Tier- und Pflanzenarten übernommen.“ [Interview mit Josef Settele]. *Garten + Landschaft*, (8), 16-19.
- Palme, K. (2019, 20. Oktober). Interview zum Insektensterben: Forscher fordert bestäuberfreundliche Politik [Interview der Deutschen Welle mit Josef Settele, www.dw.com]. Aufgerufen am 14.11.2019.
- Purvis, A., Butchart, S. H. M., Brondizio, E. S., Settele, J., & Díaz, S. (2019). No inflation of threatened species. *Science*, 365(6455), 767. doi:10.1126/science.aaz0312
- Rada, S., Schweiger, O., Harpke, A., Kühn, E., Kuras, T., Settele, J. & Musche, M. (2019). Protected areas do not mitigate biodiversity declines – a case study on butterflies. *Diversity and Distributions*, 25, 217-224. doi:10.1111/ddi.12854
- Seibold, S., Gossner, M. M., Simons, N. K., Blüthgen, N., Müller, J., Ambarlı, D., ... Weisser, W. W. (2019). Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature*, 574, 671-674. doi:10.1038/s41586-019-1684-3
- Settele, J. (2019a). Bestandsentwicklungen und Schutz von Insekten. Analysen und Aussagen des Weltbiodiversitätsrats (IPBES). *Natur und Landschaft*, 94(6-7), 299-303. doi:10.17433/6.2019.50153713.299-303
- Settele, J. (2019b). Wie können wir Ökosysteme langfristig sichern? Der Weltbiodiversitätsrat IPBES belegt deutlich, dass eine grundlegende Transformation lebenswichtig ist. *Umwelt aktuell*, (7), 2-3.
- Settele, J., Heong, K. L., Kühn, I., Klotz, S., Spangenberg, J. H., Arida, G., ... Wiemers, M. (2018). Rice Ecosystem Services in South-East Asia. *Paddy and Water Environment*, 16, 211-224. doi: 10.1007/s10333-018-0656-9
- Settele, J., Spangenberg, J. H., Heong, K. L., Kühn, I., Klotz, S., Bustamante, J. V., ... Wiemers, M. (2019). Rice Ecosystem Services in South-East Asia – the LEGATO project, its approaches and main results with a focus on biocontrol services. In M. Schröter, A. Bonn, S. Klotz, J. Settele & C. Baessler (Hrsg.), *Atlas of Ecosystem Services. Drivers, Risks, and Societal Responses* (S. 373-382). Cham: Springer Nature. doi:10.1007/978-3-319-96229-0
- Van Swaay, C. A. M., Dennis, E. B., Schmucki, R., Sevilleja, C. G., Balalaikins, M., Botham, M., ... Roy, D. B. (2019). *The EU Butterfly Indicator for Grassland species: 1990-2017: Technical Report*. Butterfly Conservation Europe.
- Viering, K. (2018). Gärten des Grauens. *Spektrum der Wissenschaft*, (47), 26-34.

WIE ENTSTEHT UND SCHWINDET BIODIVERSITÄT?

Biodiversität und Ethik

Gastbeitrag von Dr. Uta Eser (Büro für Umweltethik/Tübingen)

Einen Tag lang war sie die Top-Nachricht: die biologische Vielfalt. Genauer gesagt, ihr drohen- des Schwinden. Eine Million Arten, so verkündete der Weltbiodiversitätsrat am 6. Mai dieses Jahres in Paris, sei weltweit vom Aussterben bedroht. Die Ursache: der Mensch und sein Wirt- schaften; die Folge: die Gefährdung menschlichen Lebens auf unserem Planeten. „Wir sägen an dem Ast, auf dem wir sitzen“, kommentierte Umweltministerin Svenja Schulze die Veröffent- lichung des Berichts.

- Der Schutz der biologischen Vielfalt ist seit Langem ein anerkanntes Ziel, dennoch schreitet der Biodiversitätsverlust fort.
- Das hat auch mit eingeschränkten Problembeschreibungen zu tun.
- Aus ökonomischer Sicht stellt die Natur Güter und Dienstleistungen zur Verfügung, die Lebensgrundlage der Menschheit sind.
- In dieser kollektiven Perspektive werden Interessenkonflikte und Unterschiede in der Be- troffenheit verschiedener Menschen vernachlässigt.
- Durch das Übergewicht nutzenbezogener Argumente tritt zudem die Bedeutung der Natur- verbundenheit für ein gutes Leben zu Unrecht in den Hintergrund.

1992 einigte sich die Weltgemeinschaft beim Weltgipfel für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro auf ein Übereinkommen zur biolo- gischen Vielfalt. Seine Ziele: die biologische Vielfalt wirksam zu schützen, ihre Nutzung nachhaltig zu gestalten, und die Gewinne aus der (biotechnologischen) Nutzung genetischer Ressourcen weltweit gerecht zu teilen. Seitdem haben zahlreiche Studien mit einer Fülle an Daten belegt, dass das Wohl und Wehe der Menschen auf diesem Planeten mit dem Wohl und Wehe der Ökosysteme und der Arten, aus denen sie zusammengesetzt sind, innig ver- bunden sind.

Ökosystemdienstleistungen: Bio- diversität in ökonomischer Perspektive

Zur Jahrtausendwende wurde das Millennium Ecosystem Assessment durchgeführt, eine welt- weite Erhebung des Zustands aller Ökosysteme und ihrer Auswirkungen auf das menschliche Wohlergehen. In seiner Folge wurde der Begriff der Ökosystemdienstleistungen zum festen Be-

standteil der Kommunikation über Biodiversi- tät. Natur, so der aus der Ökonomie stammende Ansatz, muss als Kapitalstock erachtet werden, welcher der menschlichen Gesell- schaft Güter und Dienstleistungen zur Verfü- gung stellt – und dies größtenteils unentgelt- lich. Basis-Leistungen wie Photosynthese oder Bodenbildung sind die Grundlage allen Lebens. Darüber hinaus versorgen Ökosysteme uns mit lebenswichtigen Gütern, regulieren Klima und Wasserqualität und sind Bedingung für Ge- sundheit und Erholung von Menschen.

Die Botschaft, die vor allem wirtschaftliche Ak- teure als Haupttreiber der Biodiversitätskrise erreichen soll, lautet: Auf lange Sicht kommt es uns teurer zu stehen, die biologische Vielfalt und die von ihr unterstützten Ökosystemfunk- tionen zu zerstören, als Maßnahmen zu ihrem Schutz zu ergreifen. Arten- und Biotopschutz ist somit, volkswirtschaftlich gesprochen, kein Verlustgeschäft, sondern eine auch ökono- misch sinnvolle Zukunftsinvestition. Von der Umweltpolitik in Auftrag gegebene ökonomi-

sche Untersuchungen konnten diesen Zusammenhang ausweislich zahlreicher Fallstudien belegen (www.teebweb.org).

Gemeinwohl versus Individualinteressen

Wie kommt es, dass all diesen Studien und politischen Strategien zum Trotz das Artensterben weitergeht? Eine Antwort auf diese Frage könnte in der Formulierung des Satzes zu finden sein, mit dem die Umweltministerin Svenja Schulze das Problem kommentierte. „Wir“, so hieß es dort, würden an dem Ast sägen, auf dem „wir“ sitzen. Diese verbreitete Kollektivrhetorik versäumt eine Unterscheidung, die gesellschaftlich von zentraler Bedeutung ist. Gesellschaft ist nicht einfach ein „Wir“ aus gleichen Interessen, Perspektiven oder Lebensstilen. Vielmehr ist zwischen Gesellschaft und Individuen zu unterscheiden. „Wir alle“, als Kollektiv, sind zwar auf die biologische Vielfalt angewiesen, aber „wir alle“, je individuell, profitieren von Verhaltensweisen, die zu ihrem Verlust beitragen.

Mit anderen Worten: Wir alle sägen (je einzeln) an dem Ast, auf dem wir alle (gemeinsam) sitzen. Dabei sind freilich nicht alle gleichermaßen am Sägen beteiligt. Ebenso wenig sind alle gleichermaßen von den Folgen betroffen. Biodiversitätsverlust oder Klimawandel treffen häufig diejenigen am härtesten, die nicht zu den maßgeblichen Verursachern gehören. Umgekehrt sind gerade diejenigen, die am wirksamsten Maßnahmen zum Schutz der Vielfalt ergreifen könnten, nämlich die globalen Top-Konsumenten, deren ökologischer Fußabdruck jedes verträgliche Maß weit übersteigt, oft genug auch diejenigen, die von den derzeitigen Wirtschaftsweisen am meisten profitieren.

Die Diskrepanzen zwischen kollektiven und individuellen bzw. gruppenspezifischen Interessen muss man zur Kenntnis nehmen und problematisieren, denn sie spielen eine erhebliche Rolle für das Erreichen bzw. Verfehlen allgemeiner Biodiversitätsziele. In der gemeinsamen

europäischen Agrarpolitik, beispielsweise, wird seit Jahren der zielgerichtete Einsatz öffentlicher Mittel für wichtige Bereiche wie Biodiversität zugunsten privatwirtschaftlicher Interessen vereitelt (Lorenzen, 2018). Statt mehr Maßnahmen zum Schutze der Biodiversität zu fördern, fließt ein Großteil der Mittel nach wie vor in die unspezifische flächenbezogene Förderung. So kommt es, dass Strategien mit höheren Zielen zwar geschrieben werden – aber dann oftmals lediglich fortgeschrieben, wenn sie ihre Ziele verfehlen.

Die Rechte anderer nehmen uns in die Pflicht

Will man diesen unbefriedigenden Zustand ernsthaft ändern, dann muss die Differenz zwischen kurzfristigen Partialinteressen und langfristigem Gemeinwohl viel ausdrücklicher zur Sprache gebracht werden als bisher. Dass die Bewahrung der biologischen Vielfalt aufs Ganze gesehen instrumentell klug ist, ist zwar richtig. Solche Klugheit begründet aber noch keine Verpflichtungen – Torheit ist bekanntlich nicht verboten. Ein moralisches – und dann womöglich auch rechtliches – Sollen resultiert aus diesen Erwägungen erst dann, wenn man in Rechnung stellt, dass das Handeln der Einen die Existenzmöglichkeit konkreter Anderer gefährdet: anderer Menschen in anderen Weltgegenden, anderer Menschen in Zukunft und anderer Lebewesen.

Sofern man davon ausgeht, dass diese Anderen ein Recht auf Existenz haben, ist es eben nicht nur eine Frage der Klugheit, ihren lebenserhaltenden Ast nicht abzusägen, sondern eine moralische Verpflichtung (Eser et al., 2011). So fordert die Jugend dieser Welt ihr Recht auf Zukunft gerade eindrücklich bei den „Fridays for Future“ ein.

FridaysForFuture – Digitalisierung macht Protest wissenschaftlicher: Dank FridaysForFuture steht die Erdsystemforschung, die wissenschaftliche Auskunft über die Grenzen der Belastbarkeit unseres Planeten geben kann, im

Mittelpunkt öffentlicher Debatten. Die Digitalisierung unterstützt diese Entwicklung, führt aber auch zu Kommunikations- und Verständnisproblemen.

Die Grenzen der instrumentellen Vernunft

Das mit der Ast-Metapher heraufbeschworene Argument kollektiver Lebensgefahr hat freilich noch ein weiteres Defizit: Es geht, wenn wir ehrlich sind, nicht um das Überleben unserer Art. Es geht, wie es der Club of Rome schon vor vierzig Jahren formulierte, um die Frage ob wir „überleben können, ohne den Rückfall in eine Existenzform, die nicht lebenswert erscheint“ (Meadows et al., 1973, S. 176). Für die Frage nach einem „lebenswerten“ Leben ist die existentielle Perspektive allein nicht hilfreich. Wer biologische Vielfalt ausschließlich als Lebensversicherung begreift, reduziert sie auf ein Mittel zum Zweck des Überlebens, statt zu fragen, was sie für ein gutes Leben bedeutet.

So zweckmäßig Natur für die Sicherung unseres Überlebens ist, so wenig können andere bedeutsame Fragen in den Blick geraten, wenn man die Kommunikation auf diesen Aspekt beschränkt. Die Frage nach Sinn und Bedeutung menschlicher Naturverbundenheit weist über reine Nützlichkeitsabwägungen hinaus. In der absichtslosen Hinwendung zur Natur, beispielsweise in der ästhetischen Erfahrung oder in der Liebe zur Eigenart bestimmter Landschaften, liegt eine ganz wesentliche Dimension des guten Lebens, deren Wichtigkeit in der Kommunikation über Biodiversität notorisch unterberücksichtigt bleibt. Sie kann erst dann zur Sprache kommen, wenn die Vorherrschaft der instrumentellen Vernunft selbst einer Kritik unterzogen wird.

Gutes Leben: Keine Pflicht, aber ein Recht

Für die Philosophin Martha Nussbaum (1999) stellt die „Fähigkeit in Verbundenheit mit Tieren, Pflanzen und der ganzen Natur zu leben und pfleglich mit ihnen umzugehen“ eine

menschliche Grundfähigkeit dar. Eine rücksichtsvolle Naturbeziehung ist in dieser Perspektive nichts, was Menschen sollen, aber etwas, das sie können. Während die Rechte anderer uns moralisch in die Pflicht nehmen, stellt die Verwirklichung unserer menschlichen Grundfähigkeiten lediglich ein erstrebenswertes Ziel unserer Lebensführung dar. Wer aber sein Glück sucht, d.h. ein gelingendes, wahrhaft menschliches Leben führen will, ist gut beraten, dieses Ziel zu verfolgen.

Pflichten ergeben sich im Rahmen einer solchen tugendethischen Begründung nicht auf der persönlichen Ebene (den Einzelnen steht es frei, ihr Glück zu suchen wie sie wollen), sondern auf der staatlichen: Der Staat hat im Rahmen seiner Daseinsvorsorge die Aufgabe, seinen Bürger*innen die Bedingungen der Möglichkeit eines guten Lebens zu erhalten. Und zu diesen gehört, wenn man Naturverbundenheit als menschliche Grundfähigkeit akzeptiert, die Bewahrung von Natur als „Erfahrungsraum und Sinninstanz“ (so der Umweltpsychologe Ulrich Gebhard, 2014).

Erst allmählich gelingt es, diesem Glücks-Wert der Natur, d.h. der Bedeutung der Naturbeziehung für das Gelingen des Lebens, gebührenden Raum in der Biodiversitätskommunikation zu geben. So hat etwa der Weltbiodiversitätsrat in seinem begrifflichen Rahmen den instrumentellen Nutzwert und den moralischen Selbstwert der Natur um die dritte Kategorie des relationalen Werts ergänzt. Relational bedeutet: Hier geht es um die Qualität der Beziehung zwischen Menschen und Natur – und Beziehungen sind eben keine beliebig austauschbaren Dienstleistungen, sondern vermitteln Sinn und Bedeutung. Ein rücksichtsvoller Umgang mit unserer natürlichen Mitwelt ist in dieser Perspektive nicht primär eine Frage des eigenen Nutzens, und auch nicht notwendig eine Frage moralischer Rechte der Natur. Vielmehr ist er vor allem eine Möglichkeit, unsere menschlichen Potentiale zur Rücksichtnahme auf andere in vollem Umfang auszuschöpfen.

Quellen

- Eser, U., Neureuther, A.-K. & Müller, A. (2011). *Klugheit, Glück, Gerechtigkeit. Ethische Argumentationslinien in der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt* (Naturschutz und biologische Vielfalt, 107). Bonn/Bad Godesberg: Bundesamt für Naturschutz.
- Gebhard, U. (2014). Wie viel „Natur“ braucht der Mensch? „Natur“ als Erfahrungsraum und Sinninstanz. In G. Hartung & T. Kirchhoff (Hrsg.), *Welche Natur brauchen wir? Analyse einer anthropologischen Grundproblematik des 21. Jahrhunderts* (S. 249-274). Freiburg i. Br., Germany: Herder.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (hrsg. von S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondizio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis & C. N. Zayas). Bonn, Germany: IPBES secretariat.
- Lorenzen, H. (2018). Mehr als ein Fabelwesen. Europäische Landwirtschaftspolitik. *Politische Ökologie*, 36(154), 34-41.
- Meadows, D., Meadows, D., Zahn, E. & Milling, P. (1973). *Die Grenzen des Wachstums. Bericht des Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt.
- Nussbaum, M. C. (1999): Der aristotelische Sozialdemokratismus. In M. C. Nussbaum (Hrsg.), *Gerechtigkeit oder Das gute Leben* (S. 24-85). Frankfurt am Main, Germany: Suhrkamp.

WIE ENTSTEHT UND SCHWINDET BIODIVERSITÄT?

Die Entstehung neuer Arten beobachten

Autor: Prof. Dr. Oscar Puebla (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Wie sich Arten neu bilden, konnte Charles Darwin im Jahre 1835 erstmals anhand der berühmt gewordenen Darwinfinken und ihrer Schnabelformen dokumentieren. Gelegenheiten, das frühe Stadium der Artenbildung zu beobachten, bieten sich nur selten. Buntbarsche in den Ostafrikanischen Grabenseen oder Heliconius-Schmetterlinge im Amazonasgebiet können es anzeigen. Für die Meere fehlte bisher ein solcher Modellorganismus. Wissenschaftler sind nun fündig geworden.

- Bei der Artenentstehung an Land spielen geografische Barrieren eine wichtige Rolle.
- Im Meer gibt es solche Hindernisse für den genetischen Austausch kaum.
- Gerade deshalb ist es interessant, den Prozess der Artbildung zu verstehen.
- Derzeit sind aufgrund der Einwirkung des Menschen viele Arten bedroht oder bereits verschwunden.
- Auch das ist ein Grund, warum der umgekehrte Effekt, nämlich der der Artenentstehung, untersucht werden .

Die Anzahl der auf der Erde lebenden Arten ist an sich ein dynamisches Gleichgewicht zwischen Aussterben und Artenbildung – jenem evolutionären Prozess, durch den sich neue Arten entwickeln. Die Aktivitäten des modernen Menschen ziehen gegenwärtig das sechste Massenaussterben nach sich. In diesem Zusammenhang ist es wichtiger denn je, die Entstehung neuer Arten zu betrachten.

Bergketten und Wüsten spielen eine Schlüsselrolle bei der Artbildung

Die überwiegende Mehrheit der Arten ist vor langer Zeit entstanden. Deshalb ist es schwierig, genau die Prozesse zu rekonstruieren, die zu ihrer Entstehung geführt haben. An Land und in der Süßwasserumwelt spielen geografische Barrieren wie Bergketten, Wüsten oder die Isolation von Gewässernetzen eine Schlüsselrolle bei der Artenbildung, da sie den genetischen Austausch zwischen den Populationen reduzieren. In der Meeresumwelt hingegen gibt es solche natürlichen Hindernisse für den genetischen Austausch nur in weitaus geringerem Maße.

Hinzu kommt, dass viele Meeresarten ein planktonisches Larvenstadium haben, das prinzipiell einen genetischen Austausch über große Distanzen hinweg ermöglicht. Isolation als Motivator gesonderter Artbildung entfällt daher. Dennoch gehören einige Meeresumgebungen wie Korallenriffe zu den artenreichsten und damit genetisch diversesten Lebensräumen der Welt. Wie hat sich diese Vielfalt entwickelt, wenn doch umweltbedingte Barrieren fehlen?

Dem Verständnis der Artenbildung auf der Spur

Der Prozess der Artenbildung ist häufig durch die Auffächerung (Radiation) einer wenig spezialisierten Art in mehrere spezialisierte Arten gekennzeichnet. Jüngste evolutionäre Radiationen zeigen die Darwinfinken auf den Galapagos-Inseln, Buntbarsche in den Ostafrikanischen Grabenseen oder auch die Heliconius-Schmetterlinge im Amazonasgebiet. Sie haben bisher als Modellsysteme gedient, um zu verstehen, wie verhältnismäßig schnell neue Arten entstehen können.

Arten in diesen Radiationen befinden sich oft im Frühstadium der Divergenz, d.h. der Auseinanderentwicklung und Spezialisierung, was die Möglichkeit bietet, die genetischen, ökologischen und verhaltensbezogenen Mechanismen der Artbildung zu verstehen. Im Ozean gab es bisher keine Tiergruppe, die Rückschlüsse auf schnelle Artbildungsprozesse ermöglichte.

Farbenreiche Rifffbarsche eignen sich als Modellorganismen

Fündig wurde man nun in der Karibik im Golf von Mexiko. Hier gibt es besondere Rifffbarsche, die sich hervorragend als Studienobjekte eignen. Das hat zwei Gründe: Trotz ihrer Vielfalt besteht zwischen ihnen immer noch eine mehr oder minder stark ausgeprägte genetische Nähe. Es gibt zum einen Arten, die sich genetisch sehr ähnlich sind, zum anderen auch solche, die schon stärkere genetische Unterschiede aufweisen. Dieses breite Spektrum an Artenunterschieden macht sie interessant.

Dabei unterscheiden sie sich im Wesentlichen durch ihre Farbgebung. Farbmuster von Fischen können eine wichtige ökologische Rolle spielen, zum Beispiel, um sich zu tarnen und im Riff zu verstecken. Darüber hinaus ist auch aggressive Mimikry bekannt: Hier ahmen die Individu-

en andere Arten farblich nach. Indem also einzelne Individuen der Gattung der Hamletbarsche anderen Arten ähnlich werden, können sie ihren Beuteerfolg steigern. Sie gliedern sich mühelos in andere, an sich artfremde Gruppen ein und können aus dieser Vergesellschaftung heraus besser Beute fangen.

Die reproduktive Isolation zwischen den Arten basiert letztendlich auf der Partnerwahl. Es gibt eine starke Tendenz als Partner nur Arten mit identischer Farbgebung auszuwählen. Hamletbarsche eignen sich schlussendlich auch deshalb sehr gut als Studienobjekte, weil ihre Ökologie sowie die Mechanismen der reproduktiven Isolation schon gut verstanden sind. Hinzu kommt, dass sich bis zu neun Arten am gleichen Riff finden. So bietet sich hier die seltene Gelegenheit, Meeresarten bei der Entstehung quasi zuzusehen. Aufgrund all dieser Kenntnisse war es möglich, ein umfassendes Modellsystem für die Erforschung mariner Artbildung zu entwickeln (Abb. 1).

Gene zur Erkennung von Farbmustern identifiziert

Um die genetischen Grundlagen der Artbildung zu verstehen, haben wir zunächst 100 Fischgenome entschlüsselt. Wir fanden heraus, dass

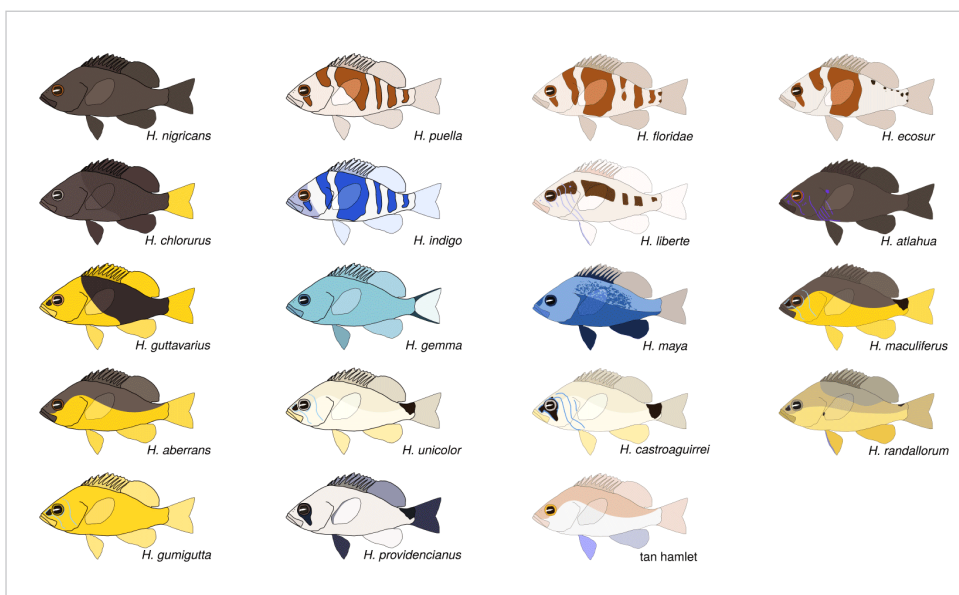


Abb. 1: Die Hamletbarsche (*Hypoplectrus* spp.), sind eine Gattung von bunten Rifffischen aus der weiteren Karibik. **Illustration:** Kosmas Hench

die überwiegende Mehrheit des Genoms zwischen den Arten fast identisch ist. Dennoch haben wir einige Gene identifiziert, die stark und konsequent zwischen den Arten differenziert sind. Im Einklang mit der Ökologie und Reproduktionsbiologie der Hamletbarsche sind diese Gene an der Entwicklung von Farbmustern und deren Wahrnehmung durch das Sehen beteiligt.

Darüber hinaus deuten die genetischen Daten darauf hin, dass sich die Riffbarsche erst vor „kurzem“, sprich nach der letzten Eiszeit, die vor knapp 12.000 Jahren endete, in mehrere Arten aufgespalten haben. Alles in allem deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass es eine kleine Anzahl von Genen mit großen Effekten gibt.

Schlussendlich sind es also vor allem die Gene, die für Nahrungssuche und Partnerwahl verantwortlich sind. Sie führen zu einer reproduktiven Isolation und können damit die Artbildung antreiben. Dieser Prozess kann dann relativ schnell ablaufen.

Artenbildung unterstützen

Maßnahmen zur Erhaltung und Förderung der marinen Biodiversität sollten also nicht nur das Aussterben, sondern auch die Prozesse der ständig ablaufenden Artenbildung berücksichtigen.

Der wichtigste Faktor zur Förderung der Artenbildung ist die Sicherstellung ökologischer und genetischer Vielfalt. Ein effizienter Weg zur Erhaltung der ökologischen Vielfalt ist der Schutz ganzer Ökosysteme und nicht nur einzelner Arten. Die genetische Vielfalt wird am besten erhalten, wenn Wert darauf gelegt wird, Populationen möglichst groß zu halten, d.h. schlussendlich viele Individuen einer Art zu haben, die sich genetisch vielfältig vermehren können.

Quellen

- Moran, B. M., Hench, K., Waples, R. S., Höppner, M. P., Baldwin, C. C., McMillan, W. O. & Puebla, O. (2019). The evolution of microendemism in a reef fish (*Hypoplectrus maya*). *Molecular Ecology*, 28(11), 2872-2885. doi:10.1111/mec.15110
- Picq, S., Scotti, M. & Puebla, O. (2019). Behavioural syndromes as a link between ecology and mate choice: a field study in a reef fish population. *Animal Behaviour*, 150, 219-237. doi:10.1016/j.anbehav.2019.02.016
- Puebla, O., Picq, S., Lesser, J. S. & Moran, B. (2018). Social-trap or mimicry? An empirical evaluation of the *Hypoplectrus unicolor*-*Chaetodon capistratus* association in Bocas del Toro, Panama. *Coral Reefs*, 37(4), 1127-1137. doi:10.1007/s00338-018-01741-0

WIE ENTSTEHT UND SCHWINDET BIODIVERSITÄT?

Wandel der Biodiversität im Meer und an Land vergleichen

Autor: Prof. Dr. Helmut Hillebrand (Helmholtz-Institut für Funktionelle Marine Biodiversität an der Universität Oldenburg HIFMB)

Menschliche Eingriffe in das Klima, die Stoffkreisläufe lebenswichtiger Elemente, die Nutzung von Ressourcen an Land und im Meer, und damit zusammenhängende Verschmutzungen verändern die biologische Vielfalt auf verschiedenen räumlichen Skalen, vom lokalen Habitat bis hin zur globalen Biodiversität. Während auf der globalen Ebene vor allem die Rate des Aussterbens von Arten Besorgnis erregt, ist der Biodiversitätswandel auf lokaler bis regionaler Ebene komplexer und erlebt sowohl Gewinner als auch Verlierer.

- Einfache Maße wie die Anzahl der Arten zur Messung von Biodiversitätsveränderungen greifen zu kurz.
- Individuen einwandernder Arten sind schnell erfasst. Die Teilzerstörung eines Habitats hingegen führt nicht zum sofortigen Artenverlust.
- Die Anpassungsfähigkeit einer Lebensgemeinschaft ist stark von der räumlichen Heterogenität der Artenvielfalt abhängig.
- 360 Studien zur Verbreitungsveränderung ergaben: im Meer eine durchschnittliche Veränderung von 30,6 Kilometern [$\pm 5,2$ km] pro Jahrzehnt. Diese ist deutlich höher als an Land, wo sie nur 6,1 Kilometer [$\pm 2,4$ km] betrug.

Global wird der derzeitige Biodiversitätsverlust oft als sechste Massensterben der Erdgeschichte beschrieben (Barnosky et al., 2011). Dies bezieht sich jedoch nicht auf den Anteil der bereits ausgestorbenen Arten, der in der heutigen Zeit mit wenigen Prozent viel kleiner ist als in den erdgeschichtlichen Biodiversitätstransformationen, wo zum Teil mehr als drei Viertel der Arten ausstarben. Vielmehr beschäftigt die Wissenschaft eher die heutige Rate des Aussterbens. Um den Vergleich von verschiedenen Zeiträumen zu ermöglichen, lässt sich die Sterberate am besten berechnen als die Anzahl ausgestorbener Arten pro 1000 bekannten Arten in einem Zeitraum von 1000 Jahren. Starben in Zeiten, in denen der Mensch, *Homo sapiens*, noch nicht existierte, weniger als eine von 1000 Arten in 1000 Jahren aus, so liegt die jetzige Rate ungefähr um den Faktor 1000 höher (Mace et al., 2005).

Auch ist der Anteil gefährdeter Arten hoch: Deren Populationsentwicklung ist so negativ, dass ihr zukünftiger Bestand gefährdet ist. In der Tat sind es vor allem Arten, die ganze Lebensräume prägen und formen wie Seegräser, größere Algenarten (Makrophyten), langlebige Top-Konsumenten, bei denen geringe verbleibende Populationsgrößen dokumentiert wurden. In einer Synthese von 12 gut untersuchten Küstenregionen und Flussmündungen dokumentierten Heike Lotze und ihr Team (Lotze et al., 2006) zum Beispiel eine mittlere Abnahme der Populationsgrößen auf nur noch 25–47 Prozent. Diese Größen ergeben sich aus dem Vergleich mit einer Bestandsschätzung aus vorindustriellen Zeiten.

Artenzahl häufig unzureichend zur Messung von Biodiversitätsänderungen

Während es kaum Zweifel gibt, dass die biologische Vielfalt auf globaler Ebene abnimmt, ist es nicht so einfach, die Veränderung der Biodiversität auf lokaler oder regionaler Ebene zu dokumentieren. Typischerweise wird diese Veränderung als Artenreichtum gemessen, aber Zeitreihen zu Artenzahlen zeigen keine systematische Abnahme (Vellend et al., 2013; Dornelas et al., 2014) und im marinen Systemen teilweise sogar eine Zunahme (Elahi et al., 2015). Dies ist allerdings keine Entwarnung zum Zustand lokaler Biodiversität sondern reflektiert, dass die Artenzahl eine ungenügende Variable ist, um Biodiversitätsveränderung zu messen. Dies hat sowohl statistische als auch ökologische Gründe.

Statistisch ist die Anzahl identifizierbarer Arten sehr stark vom Probenaufwand abhängig. Wenn man öfter oder größere Flächen beprobt, findet man mehr Arten. Aber selbst, wenn man den Aufwand normiert, verändert sich die gefundene Artenzahl. Denn abhängig ist sie erstens von der Gesamthäufigkeit von Individuen und zweitens davon, wie gleichmäßig verschiedene Arten zur Gesamthäufigkeit beitragen. Sind wenige Arten dominant und viele selten, ergeben sich größere Schwankungen der Artenzahl als wenn all alle Arten ungefähr gleich häufig sind. Drittens spielt das räumliche Vorkommen (Cluster) von Individuen eine Rolle und natürlich kann sich – viertens – auch die Gesamtzahl der Arten in einer Region, der sogenannte Artenpool, ändern (Chase & Knight, 2013).

Ökologisch kann man eine erwartete Zunahme der Artenzahl z.B. durch Schutzmaßnahmen oder aber eine Abnahme der Artenzahl durch z. B. eventuelle Verschmutzungen erst detektieren, wenn das lokale Ökosystem ein neues Gleichgewicht zwischen Ein- und Auswanderung erreicht hat. Während der Übergangsphase hin zu einem solchen Gleichgewicht können die unterschiedlichen Zuwanderungs- und

Aussterberaten zu verzerrten Schätzungen der kurz- und langfristigen Trends des Artenreichtums führen.

Der lange Weg zu einem neuen Gleichgewicht der Artenzahl

Der Artenreichtum erhöht sich oft schneller, als dass Arten infolge von langwierigen Konkurrenz- oder Räuber-Beute-Wechselwirkungen lokal aussterben. So ist das erste Individuum einer einwandernden Art schnell erfasst. Die Teilerstörung eines Habitats hingegen führt nicht zum sofortigen Artenverlust, sondern dieser tritt erst nach mehreren Generationen auf, in denen die „verlierenden“ Arten allmählich immer seltener werden. Dieses Phänomen wird in der ökologischen Literatur als Aussterbeschuld (engl. „extinction debt“) beschrieben (Jackson & Sax, 2010).

Umgedreht kann es zu einer Verzögerung der Einwanderung kommen, wenn in isolierten Lebensräumen der Einwanderungsprozess langsam, aber das Aussterben nach einer Umweltveränderung schnell vonstattengeht. In Zeitserien zur Begutachtung lokaler Trends der Biodiversität zeigt sich, dass der Weg zu einem neuen Gleichgewicht der Artenzahl sehr lange dauern kann, so dass die Befunde eher die zeitliche Verzögerung zwischen Einwanderung und Aussterben widerspiegeln als einen tatsächlichen Trend (Hillebrand et al., 2018).

Die Rate des Wandels der Artenzusammensetzung

Daher schlagen viele Forschende vor - statt einzelner Parameter wie Artenzahl oder anderer Indizes der Vielfalt - die Rate des Wandels der Artenzusammensetzung zu erarbeiten (Dornelas et al., 2014; Hillebrand et al., 2018). Hierfür gibt es etablierte Maße des „Artumsatzes“ (engl. „species turnover“), dessen zeitliche Veränderung Aufschluss über die Veränderlichkeit von Ökosystemen und ihren Bewohnern geben kann. So lassen sich deutliche Unterschiede in der Rate der Veränderung im Meer und an Land beobachten (Blowes et al., 2018): die deutlich

höhere Veränderung im Meer wird unter anderem dadurch erklärt, dass Meeresregionen durch Strömungen miteinander stärker verbunden sind. Wenn sich Umweltbedingungen ändern, ist die Einwanderung von besser angepassten Arten schlichtweg einfacher. Gleichzeitig zeigen marine Organismen eine teils höhere Empfindlichkeit für erhöhte Temperaturen (Pinsky et al., 2019). Diese Empfindlichkeit bringt schneller weitere Veränderungen von Lebensgemeinschaften mit sich.

Artenzusammensetzung und Artenreichtum voneinander entkoppelt

Die Änderungsraten der Artenzusammensetzung sind häufig von Änderungen des Artenreichtums entkoppelt (Hillebrand et al., 2018), wofür es eine Reihe von Gründen geben kann. Erstens können Zuwanderungen und Aussterben gleich hoch sein, was zu einem starken, wenn nicht sogar vollständigen Austausch des Artinventars bei gleichzeitig geringer Veränderung des Artenreichtums führt. Zweitens können Arteneinwanderungen das Aussterben übertreffen, wenn beispielsweise die vom Menschen vermittelte Verbreitung gebietsfremder Organismen hoch ist oder globale Veränderungen es Arten ermöglichen, in Gebiete einzudringen, in denen sie zuvor nicht bestehen konnten. Drittens kann das Aussterben Invasionen übertreffen, beispielsweise wenn globale Veränderungen einen Standort für bereits etablierte Arten ungünstiger machen oder die Anzahl potenzieller Nischen verringern. Hier sind hohe Umsätze und ein Rückgang des Artenreichtums zu erwarten.

Beta-Diversität

Diese differenzierte Betrachtung des Biodiversitätswandels fördert auch eine wichtige Rolle für die räumliche Unterschiedlichkeit der Artenvielfalt zutage, die in der Ökologie als β -Diversität bezeichnet wird (im Vergleich zur lokalen α und globalen γ Artenvielfalt).

Eine hohe β -Diversität reflektiert, dass in benachbarten Lebensräumen sehr unterschied-

liche Arten leben. Korallenriffe wie auch tropische Regenwälder zeichnen sich durch eine sehr hohe β -Diversität aus. Auf der einen Seite wird diese räumliche β -Diversität vom Menschen stark direkt beeinflusst, da durch die Verschleppung von Arten (z.B. über das Ballastwasser von Schiffen, durch Warentransport oder Kultivierung) die regionalen Unterschiede homogenisiert werden. Die β -Diversität ist folglich gering. In einer homogenisierten Landschaft wird ein Habitat von gleichen Habitaten mit gleichem Artinventar umgeben, so dass es bei sich ändernden Umweltbedingungen nur geringe Chancen auf eine Einwanderung besser angepasster Arten gibt. In der Konsequenz ist somit die Anpassungsfähigkeit einer lokalen Lebensgemeinschaft über Zeit stark von der räumlichen Heterogenität der Artenvielfalt abhängig (Hodapp et al., 2018).

Verbreitungsgebiete ändern sich durch den Klimawandel im Meer deutlich stärker

Auf dieser regionalen Ebene sind die Anpassungen der Biodiversität an ein sich änderndes Klima am deutlichsten zu beobachten, da man die Verschiebung der Verbreitung von Arten über Zeit beobachten kann, sowohl entlang von Breitengraden (Parmesan & Yohe, 2003) als auch – im terrestrischen Bereich – entlang von Höhenlinien (Wilson et al., 2005).

Analog zu dem schnelleren zeitlichen Turnover im Meer, ist auch dabei auch die räumliche Verlagerung des Verbreitungsgebietes im Meer schneller: Poloczanska und andere (2013) fassten 360 Studien zur Verbreitungsveränderung zusammen und fanden im Meer eine durchschnittliche Veränderung von 30,6 Kilometern [$\pm 5,2$ km] pro Jahrzehnt. Diese ist deutlich höher als an Land, wo diese Änderung des Verbreitungsgebietes nur 6,1 Kilometer [$\pm 2,4$ km] betrug, oder aber für Land und Süßwasserorganismen gemeinsam auch bei nur 19,7 Kilometern [$\pm 3,7$ km] lag. Außerdem verschoben sich äquatorferne Verbreitungsgrenzen ca. viermal schneller als das äquatornahe (d.h. 72 km bzw. 15,4 km pro Jahrzehnt), was die oben ge-

nannte zeitliche Diskrepanz zwischen Immigration und Extinktion reflektiert. Es wandern also schnell Arten in klimatisch günstigere (kühlere) Gebiete ein, während das Aussterben (äquatornäher) ein ganz allmählicher Prozess bleibt.

Dass diese Verschiebung tatsächlich einen Zusammenhang mit der globalen Erwärmung hat, konnten Jonkers und andere (2019) anhand einer globalen Analyse von Kämmerlingen (Foraminiferen) zeigen. Diese Einzeller hinterlassen Mikrofossilien und erlauben somit einen Vergleich jetziger Artzusammensetzung mit vorindustriellen Proben. Sowohl die Richtung als auch das Ausmaß der Artverschiebung korrelierte dabei mit der beobachteten Erwärmung in den jeweiligen Meeresregionen.

Fazit

Die Biodiversität an Land und im Meer ändert sich in Zeiten des globalen Wandels der Umwelt. Die Prozesse, die hierbei über Zeit und im Raum stattfinden, sind zu komplex, um sie mit einfachen Maßen wie der Anzahl der Arten zu beschreiben. Stattdessen bedarf es einer umfassenden Analyse mehrerer Aspekte der biologischen Vielfalt, um auch die Konsequenzen des Biodiversitätswandels für das Funktionieren von Ökosystemen zu verstehen.

Quellen

- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., ... Ferrer E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature*, 471, 51-57. doi:10.1038/nature09678
- Blowes, S., Supp, S., Antao, L., Bate, S. A., Bruelheide, H., Chase, J., ... Dornelas, M. (2018). Biodiversity trends are stronger in marine than terrestrial assemblages. *bioRxiv*, 457424. doi:10.1101/457424
- Chase, J. M. & Knight, T. M. (2013). Scale-dependent effect sizes of ecological drivers on biodiversity: why standardised sampling is not enough. *Ecology Letters*, 16(s1), 17-26. doi:10.1111/ele.12112
- Dornelas, M., Gotelli, N. J., McGill, B., Shimadzu, H., Moyes, F., Sievers, C., Magurran, A. E. (2014). Assemblage Time Series Reveal Biodiversity Change but Not Systematic Loss. *Science*, 344(6181), 296-299. doi:10.1126/science.1248484
- Elahi, R., O'Connor, M. I., Byrnes, J. E. K., Dunic, J., Eriksson, B. K., Hensel, M. J. S., Kearns, P. J. (2015). Recent Trends in Local-Scale Marine Biodiversity Reflect Community Structure and Human Impacts. *Current Biology*, 25(14), 1938-1943. doi:10.1016/j.cub.2015.05.030
- Hillebrand, H., Blasius, B., Borer, E. T., Chase, J. M., Downing, J. A., Eriksson, B. K., ... Ryabov, A. B. (2018). Biodiversity change is uncoupled from species richness trends: consequences for conservation and monitoring. *Journal of Applied Ecology*, 55(1), 169-184. doi:10.1111/1365-2664.12959
- Hodapp, D., Borer, E. T., Harpole, W. S., Lind, E. M., Seabloom, E. W., Adler, P. B., ... Hillebrand, H. (2018). Spatial heterogeneity in species composition constrains plant community responses to herbivory and fertilisation. *Ecology Letters*, 21(9), 1364-1371. doi:10.1111/ele.13102
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (hrsg. von S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondizio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis & C. N. Zayas). Bonn, Germany: IPBES secretariat.

- Jackson, S. T. & Sax, D. F. (2010). Balancing biodiversity in a changing environment: extinction debt, immigration credit and species turnover. *Trends in Ecology & Evolution*, 25(3), 153-160. doi:10.1016/j.tree.2009.10.001
- Jonkers, L., Hillebrand, H. & Kucera, M. (2019). Global change drives modern plankton communities away from the pre-industrial state. *Nature*, 570, 372-375. doi:10.1038/s41586-019-1230-3
- Lotze, H. K., Lenihan, H. S., Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R. G., Kay, M. C., Kidwell, S. M., Kirby, M. X., Peterson, C. H. & Jackson, J. B. C. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*, 312(5781), 1806-1809. doi:10.1126/science.1128035
- Mace, G. M., Masundire, H., Baillie, J., Ricketts, T., Brooks, T., Hoffmann, M., ... Whiteman, C. (2005). Biodiversity. In H. Hassan, R. Scholes & N. Ash (Hrsg.), *Biodiversity in Ecosystems and Human Wellbeing: Current State and Trends* (S. 7-122). Washington, DC: Island Press.
- Parmesan, C., Yohe, G. (2003). A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature*, 421, 37-42. doi:10.1038/nature01286
- Pinsky, M. L., Eikeset, A. M., McCauley, D. J., Payne, J. L. & Sunday, J. M. (2019). Greater vulnerability to warming of marine versus terrestrial ectotherms. *Nature*, 569, 108-111. doi:10.1038/s41586-019-1132-4
- Poloczanska, E. S., Brown, C. J., Sydeman, W. J., Kiessling, W., Schoeman, D. S., Moore, P. J., ... Richardson, A. J. (2013). Global imprint of climate change on marine life. *Nature Climate Change*, 3, 919-925. doi:10.1038/nclimate1958
- Vellend, M., Baeten, L., Myers-Smith, I. H., Elmendorf, S.C., Beausejour, R., Brown, C. D., De Frenne, P., Verheyen, K. & Wipf, S. (2013): Global meta-analysis reveals no net change in local-scale plant biodiversity over time. *PNAS*, 110(48), 19456-19459. doi:10.1073/pnas.1312779110
- Wilson, R. J., Gutierrez, D., Gutierrez, J., Martinez, D., Agudo, R. & Monserrat, V. J. (2005). Changes to the elevational limits and extent of species ranges associated with climate change. *Ecology Letters*, 8(11), 1138-1146. doi:10.1111/j.1461-0248.2005.00824.x

WIE ENTSTEHT UND SCHWINDET BIODIVERSITÄT?

Bedeutung der Biodiversität für Ökosystemfunktionen und Küstenformen

AutorInnen: Dr. Wenyan Zhang, Dr. Christiane Eschenbach (Helmholtz-Zentrum Geesthacht HZG)

Küsten sind nicht nur besondere und artenreiche Lebensräume, sondern übernehmen auch wichtige Funktionen für uns Menschen. Sie unterliegen ständigen Veränderungen, ihre Gestalt und die zukünftige Entwicklung der Küsten sind das Ergebnis vielfältiger Wechselwirkungen. Daher reagieren sie sehr empfindlich auf den Klimawandel und andere anthropogene Umwelteinwirkungen. Am Beispiel des Wattenmeeres wird deutlich, dass die Wechselwirkungen zwischen biologischen und physikalischen Vorgängen entscheidend sind für das Verständnis der Küstenzonen und ihrer Veränderungen.

- Küstenzonen sind Lebensraum für eine große Vielzahl von Lebewesen.
- Küsten unterliegen im Zusammenhang mit dem Klimawandel tiefgreifenden Veränderungen.
- Diese lassen sich aber nur verstehen, wenn man die dynamischen Wechselwirkungen zwischen den physikalischen und den biologischen Prozessen betrachtet.
- Hier erfolgt das am Beispiel des einzigartigen Lebensraumes Wattenmeer.

Was macht Küstenzonen so besonders?

Küstenzonen sind sehr vielfältig und variabel, sie sind Lebensraum für eine große Vielzahl von Lebewesen – und für ca. 40 Prozent der Weltbevölkerung. Küsten sind einem ständigen Wandel unterworfen, unterliegen Einflüssen von Land, vom Meer und aus der Atmosphäre. Die Biodiversität im Küstenraum ist sehr hoch: Die Ökosysteme des Meeres und des Lands treffen im Küstenraum aufeinander und beeinflussen sich gegenseitig.

Küstenökosysteme liefern den Menschen wertvolle Dienste, etwa als Nahrungsquelle, Verkehrswege und Erholungsraum. Sie tragen sehr wesentlich zu den Ökosystemleistungen der Erde bei. Küsten sind aber auch sehr empfindlich gegenüber Stressfaktoren, die unter anderem von menschlichen Aktivitäten und dem Klimawandel ausgehen. Viele Küsten weltweit sind zum Beispiel von Erosion betroffen, eine Entwicklung, die sich durch Klimaveränderungen verstärken wird.

Die morphologische Entstehung der Küstenlandschaften und die Risiken, denen sie ausgesetzt sind, kann man nur verstehen, wenn man die dynamischen Wechselwirkungen zwischen den physikalischen und den biologischen Prozessen betrachtet. Zahllose verschiedene Organismen, von Wattwürmern über Muscheln bis zu den Millionen von Brut- oder Rastvögeln, und die physikalischen Prozesse, wie Strömung, Erosion und Sedimentation, tragen dazu bei und stehen in ständiger Wechselbeziehung.

Hier werden einige dieser Wechselwirkungen für den einzigartigen Lebensraum des Wattenmeeres (Nordsee) näher beleuchtet. Wir zeigen an einigen Beispielen einerseits die Bedeutung der Lebewesen und der Biodiversität für die Ausgestaltung der Küsten und des Meeresbodens und andererseits, wie die Morphologie und die Dynamik der Küsten ihrerseits wiederum die Habitatvielfalt und die Ökosysteme der Küstenzone bedingen.

Was formt die Küsten und den Meeresboden?

Wellen, Strömungen durch Gezeiten und Wind, sowie Sedimentbewegungen (hydro- und morphodynamische Prozesse) formen nach klassischem Verständnis die Topographie des Meeresbodens und der Küstenzonen. So lassen sich zum Beispiel die Sandrippeln am Strand in erster Näherung allein durch physikalische Vorgänge und ohne Zutun biologischer Effekte erklären.

Die Effekte von Tieren und Pflanzen spielen für die Ausgestaltung der typischen Elemente von Küstenzonen aber dennoch eine wesentliche Rolle. In früheren Studien wurden sie aber oft vernachlässigt. Wesentlich durch Vegetation und die Tiere beeinflusst sind zum Beispiel Ästuare und Deltas (Wasserkörper und fluviale Ablagerungen im Bereich von Flussmündungen), Küstenebenen, Wattgebiete und vorgelagerte Inseln, die als Barriere den Küstenbereich vom offenen Meer abschirmen („Barriere“-Inseln). Untersucht werden diese Fragen zur Küstenmorphologie und ihrer Dynamik durch das Fachgebiet der Küstenmorphodynamik.

Wechselwirkungen von Lebewesen und Sedimenthaushalt im Wattenmeer

Für die Entstehung und die Aufrechterhaltung des Wattenmeeres spielt der Sedimenthaushalt, als Zusammenspiel der Zufuhr von Schwebstoffen und Erosionsprozessen, eine entscheidende Rolle. Meeresströmungen und Flussläufe bringen Material, wie Sand, Schluff und organische Ablagerungen, die im Wattenmeer zurückbleiben. Durch Gezeitenströme und Stürme wird es aber auch immer wieder aufgewirbelt und umgelagert. Ebbe und Flut, das heißt regelmäßiges Trockenfallen und Überfluten, bewirken zudem starke Temperatur- und Salzgehaltsschwankungen. Ein schwieriger Lebensraum. Im Watt, auf den Salzwiesen und in den Dünen leben daher viele „Spezialisten“, die sich an diese Bedingungen angepasst haben – und nun auch auf sie angewiesen sind.



Abb. 1: Einige typische Lebensräume im Wattenmeer: (a) Wattflächen mit Sandbänken und Prielien, (b) Wattflächen als Lebensraum für Tiere (Benthos), (c) Dünen, (d) Salzwiesen/Marschen.

Fotos: Christiane Eschenbach/HZG

Beispiel: Salzwiesen

In strömungsgeschützten Wattbuchten, auf Schlick- und Mischwattflächen sowie Salzwiesen sedimentiert mit jeder Flut Feinmaterial (Abb. 1d). Das Land wächst allmählich höher und mehr und mehr Pflanzen können sich ansiedeln. Der Lebensraum der Salzwiesen liegt knapp über der mittleren Hochwasserlinie. Die Salzwiesenvegetation übt eine wichtige Kontrolle auf die Strömung des Wassers, den Sedimenttransport und morphologische Veränderungen aus. Die Pflanzen binden und stabilisieren die Sedimente sehr effektiv und spielen daher eine wichtige Rolle für den Erosionsschutz von Küstenlinien. Salzwiesen vermindern den Export von Feinmaterial bei Sturmfluten und erhöhen die Netto-Akkumulation von Feinmaterial. Salzwiesen verlangsamen das Wasser, nehmen es auf und filtern es. Damit reduzieren sie die Effekte von Überflutungen und sichern die Wasserqualität.

Die Wechselwirkungen von Lebewesen und Sedimenthaushalt sind vielfältig, wie sich für Beispiele aus den Wattflächen und von den Dünen der vorgelagerten Inseln detaillierter und mit Ergebnissen von Computersimulationen aufzeigen lässt.



Abb. 2: Wechselwirkungen zwischen Organismen und Sediment im Watt. Grafik: J. Stuhmann / HZG

Beispiel: Wattflächen und Meeresboden

Die Wechselwirkungen zwischen Organismen und Sediment beeinflussen das Sedimentationsgeschehen auf den durch die Gezeiten geprägten Wattflächen (Eulitoral, Abb. 1a und 1b) und auf dem Meeresboden (Sublitoral, unterhalb des mittleren Niedrigwasserstandes). Algen und Tiere beeinflussen zum Beispiel die Rauigkeit des Untergrunds und damit die Verteilung von Feinmaterial und die Sedimentdynamik. Sie sind eine starke treibende Kraft für die langfristige Entwicklung der Wattflächen (Abb. 2).

- Algen stabilisieren den Meeresboden und schützen damit gegen Erosion: Sie „verkleben“ Sedimentteilchen. Ein Algenteppich auf dem Meeresgrund „glättet“ die Oberfläche und reduziert deren Rauigkeit. Dadurch verringern sich die Scherkräfte, die durch das strömende Wasser auf den Untergrund ausgeübt werden.
- Viele Tiere lockern dagegen das Sediment auf und begünstigen Erosion. Viele Würmer, Krustentiere und Vögel suchen im Sediment nach Nahrung oder bewegen sich darin. Damit spielen sie tendenziell eine entgegengesetzte Rolle zu den Algen: Ihre Aktivitäten vermindern die Resistenz gegen Erosion.
- Kothäufchen von grabenden Tieren („Biodeposition“, Bild 1b) machen den Meeresboden rauer und fördern damit die Erosion

von Oberflächensedimenten. Andererseits fördern die Kothäufchen die Sedimentation von Feinmaterial – auch dort, wo durch physikalische Vorgänge sonst keine Ablagerungen zustande kommen könnten. Nahrungsangebot und Fressaktivität und damit auch die Ausscheidung von Kothäufchen variieren mit den Jahreszeiten.

- Muschelbänke spielen lokal eine wesentliche Rolle für die Deposition von Feinmaterial. Sie bilden lokal Hartsubstrat, stabilisieren den Untergrund und beeinflussen die lokalen Strömungsverhältnisse. Als Filterer scheiden sie nicht verdautes Material auf die Sedimentoberfläche aus (Biodeposition) und tragen zur Ablagerung von Schlack bei. Der Einfluss ist vom Muschelbestand abhängig und variiert im Jahresverlauf.
- Seegraswiesen dämpfen die Wellen und sind zum Beispiel für zahlreiche Fische, für Garnelen und Krabben unentbehrlich als Nahrungsgebiete, Zufluchtsorte und Kinderstuben.
- Veränderte Bedingungen wirken auf Pflanzen und Tiere zurück: Durch Sedimentveränderungen und Habitatverluste gehen solche Arten zurück, die an bestimmte Bedingungen, wie zum Beispiel das Schlackwatt, angepasst und auf sie angewiesen sind. Eine stärkere Trübung im Wasser durch erhöhte Schwebstoffgehalte beeinträchtigt die Photosynthese und führt zum Beispiel zum Rückgang von Algen und Seegraswiesen. Auch die sich durch Filtration ernährenden Muscheln leiden dann.

Nutzen von Computersimulationen

Ein numerisches Computersimulationsmodell, das von Zhang et al. (2019) entwickelt wurde, beschreibt und analysiert die Dynamik der in der Bodenzone lebenden Tiere („benthische Fauna“) in Abhängigkeit von den dort herrschenden Umweltbedingungen (Abb. 3). Die in der Bodenzone lebenden Tiere spielen eine zentrale Rolle im Kohlenstoffhaushalt, besonders in den flachen Küsten-Randmeeren. Sie dienen zudem als Nahrung für Fische und Vögel.

Das TOC-MacroBenthos Interaction Modell (TOCMAIM) rechnet auf der Basis folgender Annahmen (Abb. 3):

- Organische Partikel dienen der benthischen Fauna als Nahrung. Die Qualität als Nahrungsquelle hängt von der Beschaffenheit des organisch gebundenen Kohlenstoffs ab. Die Struktur der Makrobenthos-Artengemeinschaft richtet sich nach dieser Beschaffenheit. Wo zum Beispiel das Material frisch ist und ein enges, das heißt gut verdauliches Kohlenstoff-Stickstoff-Verhältnis hat, kommen in der Bodenzone mehr Organismen vor (Biomasse, Abb.3). Indirekt kontrolliert die Beschaffenheit des organischen Kohlenstoffs daher auch die Intensität der von den Lebewesen ausgehenden (biogenen) Durchmischung des Bodens (Bioturbation).
- Die Bioturbation wiederum beeinflusst entscheidend die Verteilung des organischen Kohlenstoffs in der Bodenzone: Grabende Tiere und Biodeposition bewegen Material nach oben oder unten.
- Die vertikale Position der größeren Lebewesen (Makrobenthos) im Sediment spiegelt das Gleichgewicht zwischen dem „Nutzen“, zum Beispiel der vorhandenen Menge und Qualität der Nahrung, und den „Kosten“ wider. Zu solchen Kosten zählen beispielsweise Sauerstoffarmut in tieferen Sedimentschichten und das erhöhte Sterberisiko durch Räuber in oberflächennahen und höheren Schichten.
- Im Einklang mit diesen Beobachtungen wird im Modell angenommen, dass die benthische Fauna mit den Bedingungen ihrer Umwelt (besonders dem Vorkommen von partikulärem organischem Material) im Gleichgewicht steht. Verändern sich die Umweltbedingungen, reagieren die Lebewesen – und verändern damit wiederum ihre Umgebung. So stellt sich ein neues Gleichgewicht ein. Im Bodenprofil ergibt sich in Abhängigkeit von der Tiefe damit eine Gleichgewichtsverteilung.

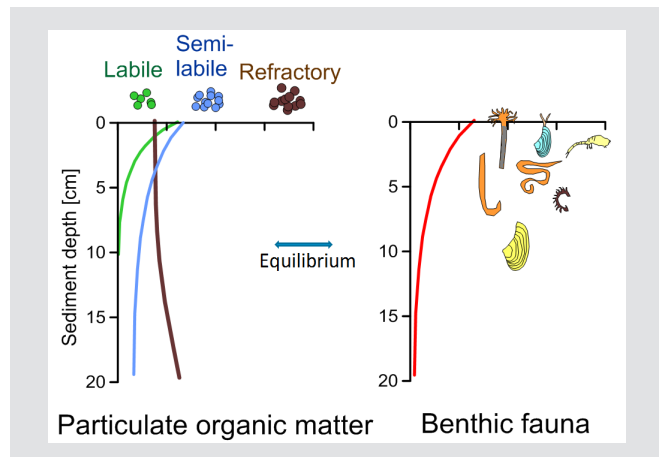


Abb 3: a) Die in der Bodenzone lebenden Tiere („benthische Fauna“) richten ihre Position im Sediment nach den Umweltbedingungen aus. **b)** Solange die Umweltbedingungen unverändert sind, wird im numerischen Modell eine Gleichgewichtsverteilung der benthischen Fauna als Reaktion auf ein konstantes Profil von partikulärem organischem Material angenommen. Grafik: aus Zhang W. et al., 2019 / CC BY NC-ND 4.0

Beispiel: Vorgelagerte „Barriere“- Inseln und ihre Dünen

Die vorgelagerten „Barriere“-Inseln, die das Wattenmeer von der Nordsee trennen, sind flach und bestehen zu großen Teilen aus nicht verfestigtem Sediment. Der Dünenkamm ragt als höchster Teil oft nur wenige Meter über den Meeresspiegel hinaus (Abb. 1c). Daher sind diese Inseln bei Stürmen oder Überflutungen der Erosion stark ausgesetzt. Den wichtigsten Küstenschutz gegen Erosion bieten die Dünen.

Das Muster ihrer Entstehung im Zusammenspiel von Sand und Vegetation kann durch numerische Computermodellierung beschrieben und analysiert werden (Abb.4). An vorderster Linie, zwischen Spülsaum und Dünengürtel, entstehen die sogenannten Vordünen (Abb.4a). Sie entwickeln sich, wo Sand durch den Wind in Richtung Land bewegt und dort von salztoleranten Pflanzen, wie Binsen-Quecke, Kali-Salzkraut, Meersenf und Salzmiere, gefangen und festgelegt wird. Die Vordünen wachsen zu Weißdünen an, auf denen zum Beispiel der Strandhafer und die Stranddistel den Sand mit Ausläufern, verzweigten Wurzeln und tiefen

Pfahlwurzeln befestigen und einen sicheren Pflanzenbestand bilden (Abb. 1c). Strandhafer übersteht Übersandung nicht nur, sondern benötigt sie sogar. Es entstehen Wälle aus hohen dicht bewachsenen Dünen und die Bodenbildung setzt ein, Grau- und Braundünen mit ihren typischen Pflanzengemeinschaften folgen landeinwärts, wo kein frischer Sand mehr eingblasen wird.

Die Biodiversität spielt für die Küstenzonen eine wichtige Rolle

Die Küsten haben wichtige Funktionen – auch für uns Menschen – und die Erhaltung der Biodiversität ist dafür eine wichtige Voraussetzung. Die Tiere und Pflanzen der Bodenzone (benthische Organismen) stehen am Beginn des Nahrungsnetzes im Meer, sie spielen daher eine wichtige Rolle für die Tiere auf den höheren Ebenen, wie zum Beispiel Fische und Vögel. Benthos-Lebewesen tragen dazu bei, organischen Kohlenstoff im Ökosystem zu fixieren: CO₂ wird aus der Atmosphäre entnommen, organisch gebunden und schließlich im Sediment gespeichert. Damit liefern sie einen Beitrag zur Klimaregulation.

Die Küsten werden im Zusammenspiel von physikalischen und biologischen Vorgängen geformt. Die physikalischen Prozesse, etwa durch Stürme und Einträge aus den Flüssen, bilden die Basis für die Küstenlinie und den Meeresboden. Auf dieser Grundlage siedeln sich dann Tiere und Pflanzen an und beeinflussen ihrerseits die Umgebung. So spielt beispielsweise die intakte Pflanzendecke der Dünen eine besondere Rolle für den Küstenschutz und es ist daher streng verboten, die Dünen abseits der ausgewiesenen Wege zu betreten. Die in der Bodenzone des Wattenmeers lebenden Tiere und Pflanzen haben verschiedene

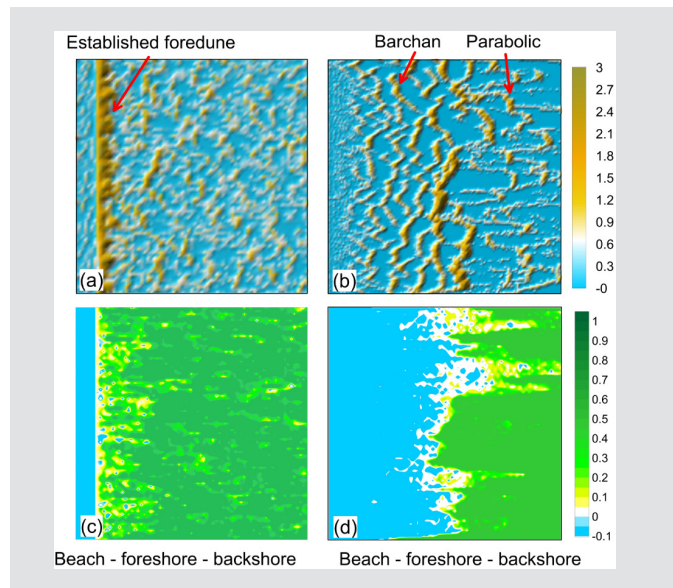


Abb. 4: Ergebnisse von Computersimulationen für die Bildung von drei typischen Dünenformen auf den vorgelagerten Inseln.

(a) Vordünen etablieren sich, wenn moderate Sedimentationsraten das Wachstum der Vegetation begünstigen. (b) Sicheldünen („Barchane“) bilden sich, wenn starke Windfracht das Vegetationswachstum behindert und parabol-förmige Dünen entstehen, wenn die randlichen „Beine“ bereits durch Vegetation befestigt sind, während der mittlere „Körper“-Bereich noch vegetationsfrei ist.

(c) und (d) zeigen die Dichte der Vegetationsdecke von (a) beziehungsweise (b).

Quelle: Zhang W. et al. 2015, Zhang W. et al. 2017.

Wirkungen: Manche lockern den Boden auf und begünstigen Erosion, viele aber fördern die Sedimentation und schützen vor Erosion. Ein fein abgestimmtes Zusammenspiel der verschiedenen „Akteure“ schützt die Küsten.

Küsten sind also nicht nur besondere und artreiche Lebensräume, sondern ihre Ökosysteme schützen, bieten Nahrung und übernehmen Regulationsfunktionen.

Infokasten: Das Wattenmeer (Nordsee)

Das Wattenmeer erstreckt sich an der Nordseeküste von Dänemark, Deutschland und den Niederlanden und gehört seit 2009 als größte zusammenhängende, weitgehend im natürlichen Zustand erhaltene Wattlandschaft der Erde zum „UNESCO-Weltnaturerbe“. Der Küstenbereich des Wattenmeers ist dem Einfluss der Gezeiten unterworfen. Landschaft und Reichtum der Biodiversität sind überwältigend.

Das Ökosystem Wattenmeer entstand – und wird erhalten – durch komplexe Wechselwirkungen zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Prozessen, die eine große Bandbreite an Übergangshabitaten formen. Dazu gehören neben den regelmäßig überfluteten und trockenfallenden Wattflächen mit Muschelbänken, Schlickflächen, Sandbänken und Prielen (Gezeitenkanälen) auch Salzwiesen und Marschen, Strände und Dünen (Abb. 1, Abb. 2). Vorgelagerte Inseln und Sandbänke schützen vor der Brandung der Nordsee. Man schätzt, dass das Wattenmeer Lebensraum für mehr als 10.000 Arten bietet, von Einzellern über Ben-

thos, verschiedene Pflanzen bis zu Fischen und Säugetieren (<https://www.waddensea-world-heritage.org>).

Einige Begriffe

Ästuar: Flussmündung, i.d.R. Flut und Ebbe ausgesetzt und häufig von trichterförmiger Gestalt

Benthos: Gesamtheit der am, auf und im Gewässerboden lebenden Organismen

Eulitoral: fällt regelmäßig zweimal täglich während Niedrigwasser trocken und ist während Hochwasser überflutet (→ Wattflächen)

Makrobenthos: Gesamtheit der am Gewässerboden mit dem Auge noch erkennbaren tierischen Organismen (Größe > 0,5 mm)

Sublitoral: unterhalb des mittleren Niedrigwasserstandes (→ Meeresboden, z.B. auch Priele, → Algen, Seegraswiesen)

Supralitoral: oberhalb des mittleren Hochwasserstandes, oft (10–250 mal/Jahr) von Salzwasser überspült (→ Salzwiesen)

Quellen

- Zhang, W., Schneider, R., Kolb, J., Teichmann, T., Dudzinska-Nowak, J., Harff, J. & Hanebuth, T. (2015). Land-sea interaction and morphogenesis of coastal foredunes – a modelling case study from the southern Baltic Sea coast. *Coastal Engineering*, 99, 148-166. doi:10.1016/j.coastaleng.2015.03.005
- Zhang, W., Schneider, R., Harff, J., Hünicke, B. & Fröhle, P. (2017). Modelling of Medium-Term (Decadal) Coastal Fore-dune Morphodynamics- Historical Hindcast and Future Scenarios of the Świna Gate Barrier Coast (Southern Baltic Sea). In J. Harff, K. Furmanczyk & H. v. Storch (Hrsg.), *Coastline changes of the Baltic Sea from south to east – past and future projection* (Coastal research library, Band 19, S. 107-135). Cham, Germany: Springer.
- Zhang, W., Wirtz, K., Daewel, U., Wrede, A., Kröncke, I., Kuhn, G., Neumann, A., Meyer, J., Ma, M. & Schrum, C. (2019). The budget of macrobenthic reworked organic carbon – a modelling case study of the North Sea. *Journal of Geophysical Research-Biogeosciences*. Accepted article. doi:10.1029/2019JG005109

WIE ENTSTEHT UND SCHWINDET BIODIVERSITÄT?

Genetische und physiologische Diversität – Grundlage der Anpassung von Pflanzen in Evolution und Nutzung

Autor: Prof. Dr. Ulrich Schurr (Forschungszentrum Jülich FZJ)

Im Jahre 2050 wollen annähernd 9,8 Milliarden Menschen ernährt und versorgt werden. Die genetische Diversität ist dabei ein großer Schatz, den wir Menschen nutzen können. Es gibt viele Möglichkeiten, wie genetische Diversität vergrößert wird: durch natürliche Strahlung, „springende“ Gene aber auch präzise Technologien. Die moderne Pflanzenzüchtung kann gezielt Pflanzen entwickeln, damit diese mit zukünftigen Anforderungen wie zunehmender Trockenheit oder hohen CO₂-Konzentrationen umgehen können.

- Der Mensch nutzt derzeit die große Vielfalt an genetischer Diversität wenig, denn lediglich zehn Pflanzenarten erbringen 95 Prozent der Biomasse für Nahrung und Kleidung weltweit.
- Grundlage jeglicher Züchtungen ist das Vorhandensein genetischer Diversität. Aus dieser können Züchter durch Selektion Genotypen mit benötigten Eigenschaften auswählen.
- Neue Züchtungsverfahren, wie das sogenannte „Gene Editing“, können präzise genetische Varianten erzeugen und so dazu beitragen, Pflanzen fit für die Zukunft zu machen.

Pflanzen besiedeln nahezu alle Habitate unserer Erde. Durch den Sauerstoff, den sie bei der Photosynthese bilden, sind sie die Architekten unserer Atmosphäre. Die Diversität von Pflanzen stellt aber auch die Grundlage für vielfältige Nahrungsmittel dar, die tief in den verschiedenen Kulturen der Menschheit verankert sind. Die bei weitem größte Menge an pflanzlicher Biomasse wird allerdings an Nutztiere verfüttert oder zur Herstellung von Futtermitteln genutzt, die oft durch biotechnologische Produkte angereichert sind (Bott, 2019).

Pflanzen sind auch wichtige Lieferanten von Baustoffen und Materialien für andere stoffliche Nutzungen wie Textilien oder Chemikalien. Sie dienen als Aroma- und Wirkstoffe in Lebensmitteln, zur Herstellung von Medikamenten aber auch von Luxuswaren. Pflanzen liefern Energie für Kraftstoffe – zum Beispiel als E10-Beimischung und Biokerosin. Als direkter Brennstoff dienen sie nicht nur in heimeligen Kaminöfen in Industrieländern, sondern vor al-

lem der ärmeren Bevölkerung in weniger industrialisierten Staaten. Allein die Vielfalt der Nutzung zeigt, welch' breites Spektrum an pflanzlichen Eigenschaften sich der Mensch im Laufe der Zeit zunutze gemacht hat – ganz ungeachtet der unverzichtbaren Beiträge von Pflanzen zu Ökosystemen und den von diesen Ökosysteme erbrachten Leistungen.

Allerdings nutzt der Mensch nur einen äußerst kleinen Teil pflanzlicher Biodiversität. Bei Nahrungsmitteln zeigt sich das ganz deutlich: trotz der über 50.000 essbaren Pflanzen weltweit, stellen Reis, Mais und Weizen 60 Prozent der Kohlehydrat-Versorgung der Menschheit. Lediglich zehn Pflanzenarten erbringen, nach Angaben der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen (FAO), 95 Prozent der Biomasse für Nahrung und Kleidung. Gleichzeitig werden zum Beispiel in Afrika immer noch etwa 500 Arten als Obst und Gemüse regional genutzt.

Biodiversität und Anpassung an Umweltverhältnisse (insbesondere Klima-Bedingungen)

Die Diversität von Pflanzen entsteht durch die Variation von Genen, also die vererbten Eigenschaften einer Pflanze. Evolutionsprozesse selektieren aus diesen genetischen Varianten diejenigen heraus, die an bestimmte Umweltbedingungen besonders gut angepasst sind. Die Verschiedenheit der Habitats führt zur Optimierung von Eigenschaften und damit zur Artbildung.

Dabei ist insbesondere der zeitliche Verlauf und die räumliche Verteilung von Ressourcen wie zum Beispiel Wasser von großer Bedeutung: So haben trockenstressresistente Pflanzen in Winterregen-Gebieten, d.h. Gebieten mit jahreszeitlich stark unterschiedlichen Niederschlägen, oft tiefreichende Wurzelsysteme. Dadurch können sie auch bei oberirdischer Trockenheit das Wasser tieferer Bodenschichten nutzen. Ganz im Gegensatz dazu verfügen Pflanzen der gemäßigten Zonen über ein flaches Wurzelsystem, das die immer wieder die Trockenheit unterbrechenden Regenfälle besser nutzen kann. Die Lösungen, die Pflanzen brauchen, um in ihrer jeweiligen Umwelt erfolgreich zu sein, sind genauso vielfältig wie die Habitats, in denen sie beheimatet sind.

Biodiversität in der Züchtung

Diese Vielfalt von notwendigen Anpassungen an variable Umweltbedingungen ist eine der zentralen Herausforderungen für die Pflanzenzüchtung. Durch Auswahl von Genotypen, die vererbbar – also über Generationen hinweg stabil – positive Eigenschaften zeigen, entwickelt der Züchter Linien und je nach Zulassung Sorten, die den Land-, Forstwirten und Gartenbauern zur Verfügung gestellt werden.

Die Grundlage jeglicher Züchtung ist allerdings das Vorhandensein genetischer Diversität, aus der der Züchter durch Selektion Genotypen mit

Infokasten:

Nach Angaben der Food and Agriculture Organization (FAO) der Vereinten Nationen ist die Viehzucht der weltweit größte Nutzer von Bodenressourcen, wobei Weideflächen und Anbauflächen für die Produktion von Futtermitteln fast 80 % der gesamten landwirtschaftlichen Nutzfläche ausmachen.

bestimmten Eigenschaften auswählen und diese mit anderen gewünschten Eigenschaften kombinieren kann. Wichtig ist dabei allerdings auch, dass sich ein Genotyp während seines Wachstums an vorhandene Umweltbedingungen anpassen kann und muss. Die genetische Ausstattung ist also eher als Werkzeugkasten zu verstehen, der erfolgreichen Linien nützliche Werkzeuge zur Verfügung stellt. Diese unterstützen Pflanzen einerseits dabei, alle auf sie zukommenden äußeren Herausforderungen zu meistern, die sich durch die verschiedenen Umweltfaktoren, das Klima oder Pathogene ergeben. Andererseits erfüllen sie dadurch wichtige Ansprüche an Pflanzenqualität und Ertrag. Im Zusammenspiel mit der räumlichen und zeitlichen Dynamik der Umwelt entwickelt sich dann der sogenannte Phänotyp – also das, was wir von einer Pflanze real wahrnehmen und gegebenenfalls auch nutzen. Dieser Phänotyp kann bei gleicher genetischer Ausstattung sehr unterschiedlich aussehen.

Genetische Diversität: Herkunft und Nutzung

Um genetische Diversität für die Züchtung zu nutzen, müssen neue genetische Eigenschaften in vorhandene Sorten eingebracht werden. Traditionell geht dies durch Einkreuzung aus direkt miteinander kreuzbaren Linien. Die Grundlage von Diversität in diesem direkt kreuzbaren Genpool sind Prozesse, über die natürliche Mutanten entstehen.

Mutanten entstehen zum Beispiel durch natürliche UV-Strahlung oder auch radioaktive Strahlung. Auch in Genomen angelegten genetischen Mechanismen zur Metagenese, so z.B. Transposons, die sogenannten „springenden Gene“, lassen in der Natur Mutanten entstehen. Allerdings ist die Diversität aus diesem „Genpool“ oft nicht ausreichend, um Pflanzen gegen neue Herausforderungen wie zum Beispiel andere Klimabedingungen oder neue Krankheiten zu wappnen oder ihnen neue Eigenschaften mitzugeben, die sie befähigen, mit weniger Wasser und Nährstoffen zurechtzukommen. Hierzu sind meist ganz neue Eigenschaften von Nöten.

Der klassische Weg zu neuen Pflanzeigenschaften ist die Mutagenese durch DNA-verändernde Agentien. Dies geschieht beispielsweise durch gezielte Bestrahlung oder den Einsatz Erbgut-verändernder Chemikalien. Auf diese Weise sind zahlreiche Obst-Sorten entstanden wie etwa unsere heutigen Bananen. Diese besitzen anstatt harter, Maiskorn-großer Samen inzwischen ein feines weißes Fruchtfleisch.

Während diese Mutationen zufällige Veränderungen verursachen, ist es mit Hilfe von Gentechnik möglich, ganz präzise neue Eigenschaften in Pflanzen zu integrieren. Ein ganz wesentlicher Vorteil solcher Methoden ist, dass dadurch gezielt Eigenschaften in den neuen Linien entstehen. Zudem verringert sich der Aufwand ganz entscheidend, denn bei zufälligen Mutationen verschlechtern sich sehr viel häufiger Eigenschaften, die dann wiederum mit großer Mühe eliminiert werden müssen.

Seit mehreren Jahrzehnten finden sogenannte transgene Pflanzen vor allem außerhalb Europas Anwendung (Kaulen, 2019, 03. August). Hier werden solche Gene, die die gewünschten Eigenschaften aufweisen, von anderen Organismen in ein pflanzliches Erbgut transferiert. Hier macht man sich Prozesse zu Nutze, die in der Natur Gentransfer zwischen Organismen ermöglichen. Eine ebenfalls auch aus natürlich vorkommenden Mechanismen abgeleitete Methode, das „Gene editing“, wurde erst vor wenigen



Drohne beim Überflug über ein Feld, das zukünftigen CO₂-Konzentrationen ausgesetzt ist.

Foto: Forschungszentrum Jülich

Jahren entwickelt. Mit Gene Editing kann an präzise ausgewählten Stellen Mutagenese und damit genetische Vielfalt erzeugt werden (Die neue Gen-Revolution; Schurr, 2019, 10. Januar).

Charakterisierung und Selektion

Unabhängig davon, auf welche Art und Weise genetische Diversität entsteht, muss die dadurch entstandene biologische Diversität charakterisiert bzw. selektiert werden. Dazu dient das sogenannte Phänotypisieren. Dabei handelt es sich um die quantitative Erfassung des Erscheinungsbildes einer Pflanze. Es dient dazu, die strukturelle und die funktionelle Eigenschaften von Pflanzen umfassend quantitativ zu beschreiben. Möglich wird dies durch Kombination von Pflanzenphysiologie mit neuartigen Sensoren, Automatisierungstechnik und Robotik sowie modernen IT-Verfahren.

In den letzten 10 Jahren ist es gelungen, die Genauigkeit und die Geschwindigkeit, mit der pflanzliche Eigenschaften vermessen werden können, soweit zu steigern, dass diese Verfahren heute zunehmend in der Praxis ankommen. Erstmals können in großen national und international angelegten Samen-Sammlungen Eigenschaften der vielen dort hinterlegten Samen unterschiedlichster Herkunft getestet werden. Als Folge können Physiologen Züchtern neue

Eigenschaften nennen, die Pflanzen auch bei so komplexen Merkmalen wie Trockenstress-Resistenz oder Nährstoffnutzung besser machen. Die neuen Methoden werden eingesetzt, um z. B. Pflanzenlinien zu identifizieren, die bei zukünftigen CO₂-Konzentrationen oder neuen Krankheiten bessere und stabilere Erträge bringen.

Die Charakterisierung der biologischen Diversität auf genetischer und physiologischer Ebene ist die Grundlage jeglicher Weiterentwicklung von Sorten. Diese werden dringend gebraucht, um den großen Herausforderungen durch Klimawandel und steigende Weltbevölkerung mit wissenschaftlich basierten Lösungen begegnen zu können.

Quellen

- Bott, M. (2019). Nutzung mikrobieller und pflanzlicher Diversität in der Biotechnologie. In Earth System Knowledge Platform (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt* (S. 50-53). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.1.2.3
- Die neue Gen-Revolution: Was man zu CRISPR/Cas wissen sollte (o.D.). [Webseite „transparenz Gentechnik“] [transgen.de]. Aufgerufen am 30.08.2019.
- Kaulen, H. (2019, 03. August). Europas Genpolitik spielt den Multis in die Hände [Interview mit Prof. Dr. Holger Puchta vom Botanischen Institut am KIT]. *Frankfurter Allgemeine Zeitung* [faz.net]. Aufgerufen am 02.09.2019.
- Schurr, U. (2019, 10. Januar). Urteil zu Genome Editing ist bedenklich [Kommentar] [helmholtz.de/wissenschaft_und_gesellschaft]. Aufgerufen am 30.08.2019.

2. Vom Wert biologischer Vielfalt

Einleitung

Was leistet Biodiversität in einzelnen Ökosystemen? Wie lassen sich die Potentiale, die im Meer oder an Land schlummern, nutzbar machen oder wie werden sie heute schon aktiv genutzt? In diesem Abschnitt wollen wir verschiedene Anwendungsbereiche aufzeigen, von der Ernährungswirtschaft, der Medizin bis hin zur Biotechnologie.

Ein wichtiger Bereich, in dem Biodiversität auch zuhause ist, ist die Tiefe Biosphäre. In einem Extrabeitrag wollen wir den tiefen Untergrund etwas näher vorstellen, denn gerade in den Porenräumen von Sedimenten sind Mikroorganismen beheimatet, die dort unter extremen Bedingungen überleben und uns möglicherweise auch die Grenzen des Lebens überhaupt aufzeigen können. Die Wechselwirkungen zwischen diesen Organismen und der Geosphäre sind zudem noch weitgehend unbekannt.

Themen-Überblick

- ▶ Funktionen mariner Ökosysteme
- ▶ Naturstoffe aus dem Meer
- ▶ Nutzung mikrobieller und pflanzlicher Diversität in der Biotechnologie
- ▶ Wasserqualität und Biodiversität – eine wechselseitige Beziehung
- ▶ Grenzen des Lebens kennen. Das größte Ökosystem der Erde: die Tiefe Biosphäre

VOM WERT BIOLOGISCHER VIELFALT

Funktionelle Diversität: Welche Funktionen erfüllen marine Ökosysteme?

AutorInnen: Dr. Ute Jacob, Prof. Dr. Helmut Hillebrand
(Helmholtz-Institut für Funktionelle Marine Biodiversität an der Universität Oldenburg HIFMB)

Marine Ökosysteme erfüllen eine Vielzahl von Dienstleistungen für uns Menschen. Etwa die Hälfte des Sauerstoffs der Atmosphäre geht beispielsweise auf die Photosynthese mariner Algen und Seegräser zurück. Gleichzeitig greift der Mensch häufig störend in diese Ökosysteme ein. Mehr als ein Drittel der sowohl für den Küstenschutz wie auch für junge Fische immens wichtigen Mangrovenwälder wurden bereits weltweit abgeholzt.

- Die drohende Biodiversitätskrise wird die Bereitstellung wichtiger Ökosystemleistungen und damit das Wohlergehen des Menschen beeinträchtigen.
- Auch die Ökosystemleistungen des Meeres sind betroffen.
- Dazu gehören Regulierungsleistungen wie die Produktion von Sauerstoff oder Versorgungsleistungen wie die Fischbestände.
- Es bedarf eines ganzheitlichen Ansatzes, der die Reproduktion der Ökosystemleistungen bei der Nutzung ermöglicht und nicht schädigt.

Biologische Vielfalt

Biologische Vielfalt gilt als Voraussetzung für intakte und funktionsfähige Ökosysteme. Lebewesen liefern Nahrungsmittel, Baumaterialien, Energiequellen und Wirkstoffe für Arzneimittel. Sie regulieren das Klima und sind wichtig für Bodenbildung, Nährstoffkreislauf und sauberes Trinkwasser. Anthropogene Einflüsse wirken sich weltweit auf die Ökosysteme aus.

Marine Ökosysteme

Marine Ökosysteme unterliegen ständigen Veränderungs- und Anpassungsprozessen, da sie unter dem Einfluss einer Reihe von Stressoren stehen (Hooper et al., 2012). Anthropogene Einflüsse können die Struktur und Funktionen mariner Ökosysteme beeinflussen und die damit verbundene Verfügbarkeit von Ökosystemleistungen reduzieren, die aber für das Wohlergehen des Menschen erforderlich sind (Cardinale et al., 2012). Mit drohendem Artenverlust sinkt die funktionale Diversität in marinen Öko-

systemen und es drohen einhergehende Änderungen von Struktur und Funktion von Nahrungsnetzen (De'ath et al., 2012).

Ökosystemleistungen des Meeres

Gerade die biologische Vielfalt des Meeres schafft die Basis für eine Vielzahl an Ökosystemleistungen. So ist etwa die Hälfte des Sauerstoffs der Atmosphäre auf die Photosynthese mariner Algen und Seegräser zurückzuführen, und eine Entnahme von 100 Millionen Tonnen Fisch pro Jahr stellt einen erheblichen Beitrag zur menschlichen Ernährung dar. Mehr als 1,5 Milliarden Menschen beziehen mehr als ein Viertel ihres tierischen Proteins allein aus Fisch. Diese marinen Ökosystemleistungen hängen jedoch in den seltensten Fällen von einzelnen Arten oder Artengruppen ab, sondern vom Zusammenspiel zahlreicher Organismen, zum Beispiel von Primärproduzenten, Pflanzenfressern, Fleischfressern, Zersettern (Destruenten),

und Krankheitserregern (Pathogenen). Als wesentlicher Grundstein der Ökosystemleistungen gilt daher die Biodiversität mit all ihren Ebenen. Ökosystemleistungen werden heute allgemein in drei Kategorien unterteilt: Regulierungsleistungen, Versorgungsleistungen sowie kulturelle Leistungen.

Marine Ökosystemleistungen sind zunächst die Versorgungsleistungen durch Fischerei, Aquakultur und die Wasserversorgung. Kulturelle Leistungen umfassen Erholung, Tourismus und die Wasserwege. Zu den Regulierungsleistungen zählt die ökosystemische Organisation von natürlichen Wechselwirkungen und Prozessen im Hinblick auf eine Förderung menschlichen Wohlbefindens. Die sogenannten Regulierungsleistungen beinhalten die Regulierung des Klimas, Schutz vor Stürmen und Hochwasser, sowie die Küstenstabilisierung.

Korallenriffe sind in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung, da sie die strukturell komplexesten und taxonomisch vielfältigsten Meeresökosysteme darstellen und zehntausenden von dazugehörigen Fischen und Wirbellosen Lebensraum bieten. Mangroven dienen als Kinder- und Brutstätte für viele wichtige Fischarten. Darüber hinaus können Mangroven die wirtschaftlichen Schäden verringern, die durch tropische Stürme verursacht werden, die Küstenerosion verhindern und so wertvolle landwirtschaftliche Flächen und Küstengrundstücke erhalten.

Der Einfluss menschlichen Handelns

Marine Ökosysteme zeigen deutlich den Einfluss menschlichen Handelns, gerade der Zustand der Korallenriffe verschlechtert sich deutlich. In den letzten 150 Jahren haben sich die mit lebenden Korallen besiedelten Flächen fast halbiert, wobei sich der Rückgang in den letzten 2–3 Jahrzehnten durch erhöhte Wassertemperatur und die Ozeanversauerung dramatisch beschleunigt hat. 35 Prozent der Mangrovenwälder sind verschwunden und 90 Prozent der weltweiten Fischbestände gelten entweder

als überfischt oder nicht nachhaltig befischt. Küstenökosysteme weisen einige der größten historischen Verluste auf und werden auch derzeit unvermindert zerstört. Aber auch im globalen Ozean gelten nur 13 Prozent der Fläche noch als „unberührte“ Wildnis (Jones et al., 2018).

” Mit drohendem Verlust von Arten sinkt die funktionelle Diversität in marinen Ökosystemen.

Notwendige Konsequenzen?

66 Prozent der marinen Ökosysteme sind maßgeblich verändert, aber der Erhalt mariner Vielfalt und die gleichzeitige nachhaltige Nutzung der Ressourcen der Meere ist möglich, wenn schnell gehandelt wird. Es bedarf eines ganzheitlichen Ansatzes, der ein Ökosystem-basiertes Fischereimanagement, die Einrichtung von weiteren Schutzgebieten und ein integriertes Küstenzonenmanagement verknüpft.

Quellen

- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... Naeem, S. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486, 59-67. doi:10.1038/nature11148
- De'ath, G., Fabricius, K. E., Sweatman, H. & Puotinen, M. (2012). The 27-year decline of coral cover on the Great Barrier Reef and its causes. *PNAS*, 109(44), 17995-17999. doi:10.1073/pnas.1208909109
- Hooper, D. U., Adair, E. C., Cardinale, B. J., Byrnes, J. E. K., Hungate, B. A., Matulich, K. L., Gonzalez, A., Duffy, J. E., Gamfeldt, L. & O'Connor, M. I. (2012). A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*, 486, 105-108. doi:10.1038/nature11118
- Jones, K. R., Klein, C. J., Halpern, B. S., Venter, S., Grantham, H., Kuempel, C. D., Shumway, N., Friedlander, A. M., Possingham, H. P. & Watson, J. E. M. (2018). The Location and Protection Status of Earth's Diminishing Marine Wilderness. *Current Biology*, 28(6), 2506-2512.e3. doi:10.1016/j.cub.2018.06.010

VOM WERT BIOLOGISCHER VIELFALT

Naturstoffe aus dem Meer für Medizin und Landwirtschaft

Autorin: Prof. Dr. Deniz Tasdemir (GEOMAR - Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Über 70 Prozent der Erdoberfläche sind von Ozeanen bedeckt. Sie umfassen fast 95 Prozent des Volumens der Biosphäre. Allein die Größe des marinen Lebensraumes und seiner biologischen Vielfalt deuten auf ein immenses und bisher weitestgehend unerschlossenes Potenzial mariner biologischer Ressourcen hin. Dieses Potential kann für die Entdeckung neuer Moleküle („Bio-discovery“) und biotechnologische Anwendungen genutzt werden.

- Rund 30.000 marine Naturstoffe sind derzeit bekannt, ein Großteil davon kommt auf dem Festland nicht vor. Ein mariner Naturstoff der Kegelschnecke hat eine 1.000fach stärkere schmerzlindernde Wirkung als Morphin.
- Derzeit werden Fucoide aus Braunalgen der Ostsee auf ihr Anwendungspotenzial z.B. bei altersbedingten Augenkrankheiten hin untersucht. Auch neue Antibiotika gegen multi-resistente Krankheitserreger sind im Fokus.
- Neuartige Moleküle marinen Ursprungs könnten giftige, künstlich hergestellte Agrochemikalien zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten in der Landwirtschaft ersetzen.

Jedes Lebewesen produziert während des Stoffwechsels Zwischenprodukte, sogenannte Metabolite. Unterschieden wird dabei in zwei Arten von Metaboliten. Zum einen Primärmetabolite: Sie sind für grundlegende Lebensfunktionen und das Wachstum eines jeden Organismus unverzichtbar. Im Laufe der Geschichte hat der Mensch enorm von marinen Organismen und ihren Primärmetaboliten profitiert. Ein Beispiel hierfür ist der Verzehr von Proteinen, die in Fisch oder Meeresfrüchten enthalten sind. Sie enthalten außerdem gesundheitsfördernde Fette, zum Beispiel Omega-3-Fettsäuren, und bilden die Hauptnahrungsquelle für Millionen Menschen.

Andere Primärmetabolite wie polymere Zucker aus Algen oder Krustentieren – hierzu zählen Carrageen, Agar oder Chitosan – werden schon heute in verschiedenen Bereichen der Lebensmitteltechnologie oder als Nahrungsergänzungsmittel zur Reduktion von Übergewicht genutzt. So zielt das dänisch-deutsche Kooperationsprojekt „FucoSan“ darauf ab, solche

polymeren sulfatierten Zucker, die Fucoide, aus Braunalgen der Ostsee zu gewinnen. Nach Extraktion und Aufreinigung der Fucoide wird ihr Anwendungspotenzial hinsichtlich medizinischer, pharmazeutischer, kosmetischer und weiterer industrieller Nutzung untersucht.

Vielfältige Anwendungsmöglichkeiten für Menschen

Neben den Primärmetaboliten gibt es marine Sekundärmetabolite, auch als marine Naturstoffe bezeichnet. Sie bestehen im Gegensatz zu Primärmetaboliten oft aus kleinen, aber chemisch sehr komplexen Molekülen. Sie dienen insbesondere der Interaktion und Kommunikation mit anderen Organismen, zum Beispiel der Anlockung von Partnern für die Vermehrung, aber auch zur chemischen Verteidigung oder zum Schutz vor schädigender ultravioletter Strahlung.

Die eigentliche marine chemische Diversität besteht aus genau diesen marinen Sekundär-

metaboliten. Hierzu gehören solche Naturstoffe, die von sessilen, wirbellosen Tieren produziert werden. Sessil heißt, dass die Organismen unfähig zur Fortbewegung sind wie zum Beispiel Schwämme oder Korallen. Aber auch Algen und marine Pflanzen wie beispielsweise Seegräser erzeugen solche Naturstoffe (Papazian et al., 2019). Besonders für die festsitzenden Organismen übernehmen Sekundärmetabolite wichtige ökologische Funktionen – derzeit sind ca. 30.000 dieser marinen Naturstoffe bekannt – denn sie weisen oft neue chemische Grundstrukturen ohne vergleichbare bekannte Strukturen aus terrestrischen Lebensräumen auf.

Sie bieten für Menschen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten – von Medikamenten bis zu Kosmetika. Aus einigen wurden bereits Arzneimittel entwickelt, welche im klinischen Einsatz sind. Darüber hinaus befinden sich viele marine Naturstoffe in klinischen und präklinischen Studien gegen Krebs, chronische Schmerzen und Infektionen. Beispielsweise verhindert der Naturstoff Conotoxin MVIIA, der von räuberischen Kegelschnecken zur Lähmung von Beutefischen produziert wird, beim Menschen die Weiterleitung von Schmerzreizen. Conotoxin MVIIA hat eine 1.000fach stärkere schmerzlindernde Wirkung als das stark wirksame Schmerzmittel Morphium und wird daher bei der Schmerzbehandlung von Patienten mit Krebs und AIDS im Endstadium eingesetzt.

Chemische Diversität ist meist eng verbunden mit biologischer Diversität. So zeichnen sich marine Habitate mit hoher biologischer Diversität und einem stark auf Konkurrenz ausgerichteten Umfeld für festsitzende Organismen (hierzu zählen zum Beispiel tropische Korallenriffe) auch durch eine hohe chemische Diversität aus. Aber auch das Weddellmeer in der Antarktis beherbergt eine einzigartige Schwammfauna und repräsentiert ein Beispiel für hohe Diversität in Meeresregionen mit extremen, aber hochstabilen (große Tiefe, konstant niedrige Temperaturen) Umweltbedingungen.

Neue, hoch entwickelte Technologien ermöglichen heute schon die Probenahme in entlege-



Foto: Jan Steffen/GEOMAR, CC BY 4.0

nen, schwer erreichbaren marinen Ökosystemen. Zudem ist es möglich, die Proben umfassend zu analysieren. Dies betrifft auch die Extraktion, Isolierung und Charakterisierung bioaktiver Sekundärmetabolite. Hinzu kommt die schnelle Testung auf pharmakologische Aktivität mittels sogenannter Hochdurchsatz-Screening-Systeme, mittels derer mehrere zehntausend Substanzen gleichzeitig getestet werden können. Weltweit haben Forschungsteams bereits eine große Anzahl kleiner Moleküle aus tropischen oder Tiefseeschwämmen identifiziert, die effizient das Wachstum von Krebszellen unterbinden. Die den beobachteten Aktivitäten zugrunde liegenden einzigartigen Wirkmechanismen werden ebenfalls identifiziert (Li et al., 2018).

Neuartige Moleküle gegen Pflanzenkrankheiten

Marine biologische Diversität wird zudem in hohem Maße von marinen, in Sedimenten oder in enger Assoziation mit marinen Tieren und Pflanzen lebenden Mikroorganismen repräsentiert. Sie stellen die weitaus nützlichsten Quellen für biotechnologische Anwendungen dar. Allerdings lässt sich ein Großteil mariner Mikroorganismen entweder nicht kultivieren oder zeigt bei Kultivierung im Labor nur eine geringe Produktion neuer Sekundärmetabolite. Um die chemische Diversität der produzierten Sekundärmetabolite zu steigern, verwendet unsere Forschungsgruppe systematisch unterschiedliche Medien, Kultivierungsbedingungen sowie die Technik der Co-Kultivierung.

In einem aktuellen Projekt wenden wir Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am GEOMAR die Co-Kultivierung an marinen Pilzen an, um neue Agrochemikalien zur Bekämpfung von Pflanzenkrankheiten zu entdecken (Oppong-Danquah et al., 2018). Es erfolgt eine direkte Co-Kultivierung von Pflanzenpathogenen mit einem marinen Pilz in einer kompetitiven, eng begrenzten Umgebung wie z.B. einer Petrischale. So wird die gezielte Produktion neuartiger Moleküle mit erhöhter Aktivität gegen Pflanzenpathogene induziert, die hohes Anwendungspotenzial in der Landwirtschaft als Ersatz für synthetische und toxische Agrochemikalien hat. Im Rahmen des EU-Projekts MarPipe wird nach neuen Antibiotika gegen multiresistente Krankheitserreger wie Methicillin-resistente *Staphylococcus aureus* (MRSA) gesucht. Kürzlich hat unsere Forschungsgruppe dabei eine Reihe von Bakterien und Pilzen aus der Tiefsee identifiziert, welche sogar das Wachstum schwer zu bekämpfender Bakterienstämme hemmen.

Insgesamt hat die marine chemische Diversität – repräsentiert durch marine Naturstoffe – ein enormes Potenzial, Lösungen für die großen globalen Herausforderungen besonders im Hinblick auf menschliche Gesundheit und Lebensqualität zu bieten.

Quellen

- Li, F., Janussen, D., Peifer, C., Perez-Victoria, I. & Tasdemir, D. (2018). Targeted Isolation of Tsitsikammamines from the Antarctic Deep-Sea Sponge *Latrunculia biformis* by Molecular Networking and Anticancer Activity. *Marine Drugs*, 16(8):268. doi:10.3390/md16080268
- Oppong-Danquah, E., Parrot, D., Blümel, M., Labes, A. & Tasdemir, D. (2018). Molecular Networking-based metabolome and bioactivity analyses of marine-adapted fungi co-cultivated with phytopathogens. *Frontiers in Microbiology*, 9:2072. doi:10.3389/fmicb.2018.02072
- Papazian, S., Parrot, D., Buryskova, B., Weinberger, F. & Tasdemir, D. (2019). Surface chemical defence of the eelgrass *Zostera marina* against microbial foulers. *Scientific Reports*, 9:3323. doi:10.1038/s41598-019-39212-3

Forschungsprojekte

FucoSan – Gesundheit aus dem Meer (Health from the sea)

Funding body: Interreg Germany-Denmark

Duration: May 2017 - August 2020

Contact: Prof. Dr. Deniz Tasdemir

Website: <https://www.fucosan.eu/>

MarPipe – Improving the flow in the pipeline of the next generation of marine biodiscovery scientists

Funding body: Horizon2020

Duration: November 2016 - November 2020

Contact: Prof. Dr. Deniz Tasdemir

Website: <http://www.marpipes.eu>

VOM WERT BIOLOGISCHER VIELFALT

Nutzung mikrobieller und pflanzlicher Diversität in der Biotechnologie

Autor: Prof. Dr. Michael Bott (Forschungszentrum Jülich FZJ)

Obwohl sie mit bloßem Auge meist nicht zu sehen sind, spielen Bakterien, Pilze und Viren eine entscheidende Rolle für das Leben auf unserem Planeten. Im globalen Kreislauf von Kohlenstoff und Stickstoff sind Mikroorganismen unersetzlich. Sie können Stickstoff aus Luft fixieren und damit Pflanzen düngen oder durch die Produktion von Antibiotika unser Leben retten. Viele Beispiele zeigen, wie stark wir in unserem Alltag, aber auch die Industrie, auf Mikroorganismen angewiesen sind. Da bisher nur ein Bruchteil der Mikroorganismen auf der Erde bekannt ist, birgt die Erforschung der „mikrobiellen dunklen Materie“ großes Potential für neue Entdeckungen und deren Nutzung durch den Menschen.

- Mikroorganismen spielen eine zentrale Rolle im Stoffkreislauf der Natur.
- Ihre vielfältigen Eigenschaften macht sich der Mensch zunutze – bei der Ernährung, in der Medizin oder der Reinigung von Abwasser.
- Auch bei der Etablierung einer nachhaltigen, biobasierten Wirtschaft bieten sich durch den verstärkten Einsatz von Mikroorganismen große Chancen.

Mikroorganismen umfassen ein breites Spektrum an meist einzelligen Lebewesen wie Bakterien und Archaeen. Ein besonderes Merkmal dieser sogenannten Prokaryonten ist, dass sie keinen Zellkern besitzen und besonders klein sind. Typischerweise sind sie nur 1–5 µm lang und 1 µm breit. Aber auch größere Organismen wie Pilze und Algen zählen zu den Mikroorganismen. Sie besitzen im Gegensatz zu Bakterien und Archaeen einen Zellkern und werden in der Fachsprache auch als eukaryontische Mikroorganismen bezeichnet.

Mikroorganismen spielen eine zentrale Rolle im Stoffkreislauf der Natur. Ihre vielfältigen Stoffwechsellleistungen macht sich der Mensch seit Jahrtausenden zunutze – etwa bei der Wein- und Bierherstellung, wenn Zucker mit der Hefe *Saccharomyces cerevisiae* in Alkohol (Ethanol) umgewandelt wird. Diese besonderen Eigenschaften kommen auch bei der Herstellung des Treibstoffs Bioethanol zum Tragen.

Biodiversität für medizinische Anwendungen von Bedeutung

Heute wird eine Fülle von Produkten biotechnologisch aus nachwachsenden Rohstoffen mit Mikroorganismen hergestellt. Dazu gehören Antibiotika, die von Pilzen wie *Penicillium* und Bakterien wie zum Beispiel *Streptomyces* und *Myxobakterien* als sogenannte „Sekundärmetabolite“ bilden. (Anm. d. Red.: Sekundärmetabolite sind chemische Stoffe, die im Stoffwechsel der Organismen anfallen, aber nicht lebensnotwendig sind.)

Aufgrund der zunehmenden Multiresistenzen krankheitsverursachender (pathogener) Bakterien wird die Suche nach neuen Antibiotika immer dringlicher. Hier spielt die metabolische Diversität von Mikroorganismen eine wichtige Rolle, um Stämme mit neuen antimikrobiell wirkenden Substanzen zu finden. Eine weitere Möglichkeit, Biodiversität für die Bekämpfung

pathogener Bakterien zu nutzen, stellen sogenannte Bakteriophagen dar. Dabei handelt es sich um Viren, die hochspezifisch Bakterien angreifen und zerstören. In diesem Feld kann in den kommenden Jahren mit einer rasanten Zunahme an bisher nicht beschriebenen Bakteriophagen und deren Einsatz in der Therapie von Infektionskrankheiten gerechnet werden.

Die Stoffwechselvielfalt von Mikroorganismen wird auch bei der Herstellung anderer Medikamente genutzt. Beispielsweise beinhalten die Synthesen vieler Medikamente auf Steroidbasis mikrobiell katalysierte Schritte, z. B. bei Hydrocortison, Prednisolon und Verhütungsmitteln wie Estrogenen und Gestagenen.

Essentielle Aminosäuren

Eine weitere große Produktfamilie, die ganz überwiegend mit verschiedenen Bakterienarten produziert wird, stellen Aminosäuren dar. Sie sind die Bausteine der Proteine, die einen Großteil fast aller Zellen ausmachen und die biochemischen Prozesse des Lebens beschleunigen bzw. erst in Gang bringen (katalysieren). Proteine bestehen aus 20 verschiedenen Aminosäuren, von denen Menschen und Tiere aber nur 12 selbst herstellen können. Die übrigen acht essentiellen Aminosäuren müssen mit der Nahrung aufgenommen werden.

Bei der direkten Gabe von Nährstoffen in den Blutkreislauf, d.h. unter Umgehung des Darms, der sogenannten parenteralen Ernährung des Menschen, spielen biotechnologisch produzierte Aminosäuren eine wichtige Rolle. Auch in der Tierernährung sind sie von Bedeutung. Mikroorganismen wie *Corynebacterium glutamicum* produzieren z. B. die Aminosäure L-Lysin. Aminosäuren werden zum Teil in Mengen von mehreren Millionen Tonnen pro Jahr hergestellt.

Lebenswichtige Vitamine herstellen

Wie die essentiellen Aminosäuren müssen auch die vom Menschen benötigten Vitamine mit der Nahrung aufgenommen werden. Und sie sind lebenswichtig. Drei der 13 humanen Vitamine

werden mit Mikroorganismen produziert: Vitamin C mit den Bakterien *Gluconobacter oxydans* und *Ketogulonicigenium vulgare*; Vitamin B2 (Riboflavin) entweder mit dem Pilz *Ashbya gossypii* oder dem Bakterium *Bacillus subtilis*; Vitamin B12 mit Stämmen von *Pseudomonas denitrificans* oder *Propionibacterium freundenreichii*.

Im Vergleich zu den essentiellen Aminosäuren sind die produzierten Jahresmengen viel geringer – man geht hier von maximal 100.000 Tonnen im Fall von Vitamin C aus. Die Preise für die hergestellten Vitamine sind jedoch deutlich höher.

Bakterien- und Pilzstämme nutzen

Mikrobiell produzierte organische Säuren spielen in vielen Lebensbereichen eine wichtige Rolle. Insbesondere Milchsäurebakterien, die Zucker in Milchsäure umwandeln, sind Grundlage für viele Milchprodukte wie Joghurt oder Käse. Sie werden aber auch für die Haltbarmachung von Rohwurst wie Salami oder für die Herstellung von Silage eingesetzt.

Zitronensäure, die mit dem Pilz *Aspergillus niger* gewonnen wird, findet Anwendung z.B. in der Getränkeindustrie. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von verschiedenen Bakterien- und Pilzstämmen konstruiert, die Zucker effizient in Bernsteinsäure (Succinat), Äpfelsäure (Malat) oder Itaconsäure umsetzen können. Ein besonders vielversprechendes Einsatzgebiet dieser organischen Säuren ist die Verwendung als Ausgangsstoff zur Produktion von gut abbaubaren Biopolymeren, mit denen langfristig die derzeit genutzten schwer abbaubaren chemischen Polymere ersetzt werden können.

Proteine wie Insulin werden mit Bakterien hergestellt

Neben den bisher beschriebenen niedermolekularen Verbindungen sind Proteine – insbesondere solche mit enzymatischer Aktivität – eine weitere wichtige Klasse von mikrobiell erzeugten Produkten. Dazu zählen Amylasen zur Kon-

version von pflanzlicher Stärke in Zucker, Waschmittelenzyme wie Proteasen und Lipasen, Futtermittelenzyme wie Phytasen sowie technische Enzyme wie Alkohol-Dehydrogenasen. Sie alle werden mit verschiedenen Mikroorganismen produziert, z.B. *Bacillus*-Stämmen. Für den Abbau von Cellulose und Hemicellulose werden beispielsweise Cellulasen und Hemicellulasen mit dem Pilz *Trichoderma reesei* produziert. Auch viele Pharmaproteine werden mit Mikroorganismen hergestellt. Dazu gehört auch Insulin, das mit *Escherichia coli*-Stämmen erzeugt wird.

Mikrobielle Gemeinschaften zur Wasserreinigung und Biogas-Produktion nutzen

Während in den oben genannten Beispielen einzelne Stämme von Mikroorganismen genutzt werden, sind bei der Wasseraufbereitung und der Biogasproduktion hochkomplexe mikrobielle Gemeinschaften notwendig. Der zentrale Schritt bei der Reinigung kommunaler Abwässer in der Kläranlage beruht auf der biologischen Reinigungsstufe im Belüftungsbecken. Dabei werden die im Wasser enthaltenen Schmutzstoffe durch eine mikrobielle Lebensgemeinschaft bestehend aus vielen verschiedenen Arten von Mikroorganismen, überwiegend Bakterien, zu CO₂ oxidiert.

Bei der Biogas-Produktion aus pflanzlichen Reststoffen oder eigens dafür angebauten Pflanzen werden die Stoffwechselleistungen einer diversen Gemeinschaft zum einen von Bakterien genutzt, die ohne Sauerstoff zu recht kommen wie z. B. Clostridien. Zum anderen aber auch von methanbildenden Archaeen (z.B. *Methanosarcina*), um das organische Material letztendlich in Methan (CH₄) und CO₂ umzusetzen.

Mikroorganismen können pflanzliche Naturstoffe herstellen

Ein hochaktuelles Forschungsgebiet in der Biotechnologie ist die mikrobielle Herstellung von Naturstoffen, von denen viele gesundheits-

fördernde Wirkungen besitzen oder für therapeutische Zwecke eingesetzt werden. Sowohl die Mikroorganismen selbst, aber auch Pflanzen synthetisieren Naturstoffe. Bei letzteren wird eine Zahl von etwa 200.000 verschiedenen Naturstoffen angenommen.

Der Zugang zu diesen Stoffen ist problematisch, da die Isolation aus der Pflanze aufgrund der oft geringen Konzentration und der Anwesenheit vieler anderer Naturstoffe sehr aufwändig ist und die chemische Synthese in vielen Fällen nicht möglich oder unrentabel ist. Daher wird die mikrobielle Produktion pflanzlicher Naturstoffe als vielversprechende Alternative betrachtet. Dabei werden die Gene für pflanzliche Biosynthesewege in geeigneten Mikroorganismen exprimiert. Beispiele sind die Bildung von Resveratrol, einem Polyphenol mit antioxidativen Eigenschaften, mit *Saccharomyces cerevisiae* oder die Synthese von Salidroside – einem möglichen Wirkstoff gegen die Huntington-Krankheit – mit *Corynebacterium glutamicum*.

Grund- und Feinchemikalien ohne fossile Rohstoffe synthetisieren

Im Rahmen der Etablierung einer nachhaltigen, biobasierten Wirtschaft, muss die bisher vorwiegend fossile Rohstoffe nutzende chemische Industrie schrittweise dazu übergehen, nachwachsende Kohlenstoffquellen zu nutzen und geschlossene Stoffkreisläufe zu etablieren. Auch dabei spielen die vielfältigen Stoffwechselleistungen von Mikroorganismen eine wichtige Rolle, z. B. um neue Hochleistungsstämme für die Synthese von Grund- und Feinchemikalien zu entwickeln. In diesem Kontext werden derzeit auch die verschiedenen, von Mikroorganismen im Laufe der Evolution herausgebildeten Stoffwechselwege zur autotrophen CO₂-Fixierung bezüglich einer möglichen biotechnologischen Nutzung evaluiert.

Ein letzter wesentlicher Punkt bei der Betrachtung der Biodiversität von Mikroorganismen ist die Tatsache, dass ein Großteil der auf der Erde vorkommenden Bakterien und Archaeen bis-

her nie untersucht wurde. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler sprechen hier auch von der sogenannten „mikrobiellen dunklen Materie“. Mit Hilfe der heute verfügbaren DNA- und RNA-Sequenzierungstechnologien konnte bereits gezeigt werden, dass die Mikrobiome vieler Habitats auf der Erde von bisher nicht kultivierten Bakterien und Archaeen dominiert werden. Die Stoffwechsellleistungen dieser Mikroorganismen können bisher nur anhand der Genomsequenzen vorhergesagt werden. Es ist jedoch zu erwarten, dass mit Hilfe neuartiger Kultivierungsansätze sowie mit Methoden der synthetischen Biologie die Stoffwechselfähigkeiten dieser Organismen in Zukunft besser erforscht und für die Biotechnologie nutzbar gemacht werden.

VOM WERT BIOLOGISCHER VIELFALT

Wasserqualität und Biodiversität – eine enge wechselseitige Beziehung

AutorInnen: Dr. Markus Weitere, Dr. Mario Brauns, Dr. Karsten Rinke, Prof. Dr. Dietrich Borchardt
(Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Valerie Wentzky (Landesamt für Landwirtschaft, Umwelt und ländliche Räume Schleswig-Holstein LLUR)

Nur knapp 10 Prozent unserer Gewässer sind in einem guten ökologischen Zustand. Die Ursachen sind vielfältig: Abflussregulierung, Gewässerverbauung, Nährstoffe, Bodenerosion und Pestizide aus der Landwirtschaft sowie Rückstände aus städtischen Kläranlagen. Was aber heißt der Verlust von Biodiversität für die Gewässerqualität? Führt der Verlust von Artenvielfalt zu einer Verschlechterung der Gewässerqualität? Die Methode der stabilen Isotope beantwortet diese Fragen.

- 90 Prozent der Gewässer in Deutschland weisen Degradationserscheinungen auf.
- Das führt zu einem Verlust an Artenvielfalt.
- Umgekehrt beeinflusst Artenvielfalt wiederum die Gewässerqualität.
- Neue Ansätze zur Nahrungsnetzanalyse ermöglichen es, die Zusammenhänge von Artenvielfalt und Gewässerqualität besser zu verstehen.
- Gerade diverse Artengemeinschaften können sich dabei schneller an Gewässerveränderungen anpassen und dadurch wichtige ökologische Funktionen aufrechterhalten.

Dass sich eine schlechte Wasserqualität auf die Artenvielfalt im Gewässer auswirkt, ist lange bekannt. So kam es vor dem nahezu flächigen Ausbau der Kläranlagen noch in den 70er und 80er Jahren des letzten Jahrhunderts zu sehr starken Belastungen der Gewässer durch organische Verunreinigungen und Giftstoffe. Sauerstoff wurde aufgrund der Zehrungsprozesse zur Mangelware, ganze Gewässerabschnitte waren mit Chemikalien belastet, und als Folge verschwanden viele empfindliche Arten.

Diese Situation hat sich heute mit dem Ausbau von kommunalen und industriellen Kläranlagen verbessert. Dennoch, auch heute sind nur knapp 10 Prozent unserer Gewässer in einem guten ökologischen Zustand. Knapp 90 Prozent weisen Degradationserscheinungen auf, meist verbunden mit einem deutlichen Verlust der für die jeweiligen Gewässer charakteristischen Arten. Die Ursachen sind vielfältig: Abflussregulierung, Gewässerverbauung, Nährstoffe, Bo-

denerosion und Pestizide aus der Landwirtschaft sowie Rückstände aus städtischen Kläranlagen tragen weiterhin zu einem Verlust der Biodiversität bei.

Wirkt sich der Verlust von Arten und Artenvielfalt so aus, dass er zu einer weiteren Verschlechterung der Gewässerqualität beiträgt?

Tatsächlich zeigen Forschungsergebnisse immer deutlicher, dass dies der Fall ist. In Gewässern tragen Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen an ganz unterschiedlichen Stellen zur Selbstreinigung der Gewässer bei. Ein anschauliches Beispiel sind Muscheln in Flüssen: Sie ernähren sich von einzelligen, schwebenden Algen (dem Phytoplankton) und filtern diese in beachtlichen Mengen aus dem Gewässer. Damit wirken sie dem Problem der Eutrophierung, d.h. der massenhaften Entwicklung von Algen im Gewässer aufgrund hoher Nährstoffbelastung, entgegen. Sie können dadurch die negati-

ven Auswirkungen erhöhter Nährstoffbelastungen kompensieren und zu einer stabileren und verbesserten Wasserqualität beitragen. Fehlen die Muscheln, etwa aufgrund von Kanalisierung und verändertem Fließverhalten in den Flüssen, dann ist auch Algenentwicklung ausgeprägter.

Die Situation in unseren Flüssen ist aber noch ein bisschen komplizierter. In vielen Bereichen sind artenreiche Muschelbestände zunehmend zurückgegangen und oft durch einzelne, nicht einheimische Arten wie z.B. die asiatische Körbchenmuschel ersetzt worden. Diese Vereinheitlichung spiegelt einen dramatischen Verlust von Artenreichtum. Aber ist das auch ein Problem für die Gewässerqualität? Zunächst nicht. Die neue Art erfüllt ihre Funktion und filtert das Wasser sehr effizient.

Ein Problem wird jedoch dann offensichtlich, wenn auch die neue Art in ihrem Bestand abnimmt. Und das kann schnell passieren, z.B. durch einen heißen Sommer oder die Ausbreitung von Parasiten, die die gesamte Muschelmonokultur befallen. Hier sind artenreiche Muschelbestände im Vorteil: Es können immer andere Arten die Funktion übernehmen, wenn einzelne Arten in Schwierigkeiten kommen. Man spricht von dem „Versicherungseffekt“ der Artenvielfalt.

Von der Artenvielfalt zur Gewährleistung vielfältiger Ökosystemleistungen: Neue Erkenntnisse durch moderne Ansätze der Nahrungsnetzanalysen

Das Beispiel der Muscheln verdeutlicht exemplarisch für eine Ökosystemleistung, wie Artenvielfalt Gewässerqualität beeinflusst. Im natürlichen Gewässer gibt es für die Organismen aber noch viel mehr zu tun; sie bauen z.B. organische Verunreinigungen und Schadstoffe ab und verhindern, dass Bakterien und Krankheitserreger Überhand gewinnen; und sie sorgen dafür, dass die Lückensysteme in der Gewässer-



Abb. 1: Wie beeinflusst der Mensch die Artenvielfalt in unseren Gewässern und welchen Einfluss hat das auf die Wasserqualität? Auch wenn die Beantwortung der Frage aufwendige Untersuchungen erfordert, steht am Anfang zunächst die Probenahme mit klassischem Gerät.

Foto: André Künzelmann/ UFZ

sole gut durchströmt werden und damit z.B. als Brutstätte für Forellen und Lachse erhalten bleiben.

Wie können wir diese vielfältigen Funktionen und deren Beziehung zur Biodiversität wissenschaftlich erfassen und bewerten? Hier kann die Methode der stabilen Isotope helfen, mit der Fressbeziehungen zwischen Räuber und Beute erfasst und ganze Nahrungsnetze beschrieben werden können.

Interessant ist dabei, dass man Biodiversität direkt in Funktionalität übersetzen kann. Das heißt, wir sehen nicht nur, welche Arten vorkommen, sondern auch, was die einzelnen Arten im Ökosystem leisten. Wer baut effizient Algen ab und wirkt so der Eutrophierung entgegen? Wer sorgt für einen kontinuierlichen Abbau von Pflanzenresten im System? Sind diese Ökosystemprozesse durch mehrere Arten gewährleistet?

Die Methode der stabilen Isotope beantwortet diese Fragen und hilft so auch dabei, menschlichen Einfluss auf die Gewässer zu bewerten, wie z.B. eine Studie zu den Auswirkungen des Seeuferverbaus verdeutlicht. Hier konnte gezeigt werden, dass Seeufer mit Badestellen

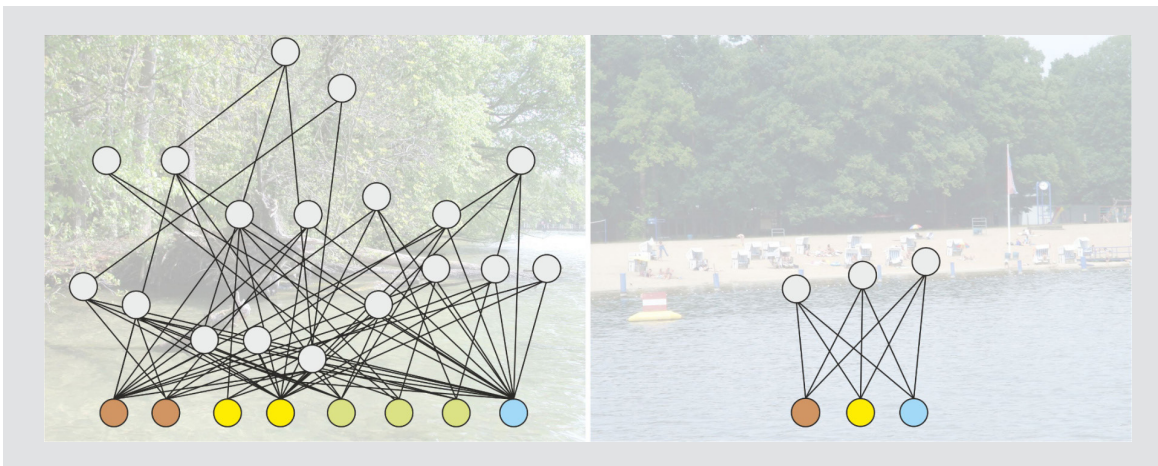


Abb. 2: Erst die umfassende Analyse von Nahrungsnetzen mittels der stabilen Isotopentechnik verrät uns, welchen Einfluss menschliche Aktivität auf ökologische Prozesse im Gewässer hat. Am natürlichen Ufer (linke Grafik) werden wesentlich mehr Nahrungsquellen (farbige Kreise) von einer sehr vielfältigen Konsumentengemeinschaft (graue Kreise) verwertet. An der Badestelle (rechte Grafik) sind die Diversität von Nahrungsquellen und Konsumenten und damit die Funktionalität des Seeufers deutlich verringert. Grafik: UFZ

eine deutlich eingeschränkte Vielfalt an Nahrungsquellen und wirbellosen Konsumenten aufweisen und damit die Komplexität des Nahrungsnetzes an den stark veränderten Ufern bis zu vierfach geringer war als an natürlichen Ufern (Abb. 2). Das so gewonnene Wissen bildet eine wichtige Entscheidungsgrundlage, um geeignete Maßnahmen zum Schutz der Biodiversität, der Funktionalität und damit der Gewässerqualität abzuleiten.

Der Blick in die Vergangenheit: Was uns Merkmalseigenschaften von Arten über Prozesse in Gewässern verraten

Nicht jede Situation erlaubt eine gründliche Analyse von Nahrungsnetzen wie sie oben beschrieben ist. Aber auch anhand von Artenlisten, wie sie etwa in der Gewässerüberwachung erfasst werden, lassen sich Rückschlüsse auf die Funktion der Arten im Gewässer und letztendlich auf deren Wirkung auf die Gewässerqualität ziehen.

Dazu macht man sich die Merkmalseigenschaften von Arten (englisch: „traits“) zu Nutze. Ein ganzer Wissenschaftszweig (Trait-basierte Öko-

logie) hat sich hier etabliert, welcher über die Eigenschaften von Arten Rückschlüsse auf deren Leistungen im Ökosystem zieht.

Wissenschaftler des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) in Magdeburg arbeiten mit diesem Ansatz, um zum Beispiel die Auswirkungen von Nährstoffreduktionen durch die Einführung von phosphat-freien Waschmitteln Anfang der 90er Jahre und den Ausbau der Kläranlagen mit Nährstoffelimination auf Algengemeinschaften zu verstehen. Ein gutes Beispiel ist die Rappbode-Talsperre im Harz, in der die Phosphor-Konzentrationen um nahezu 90 Prozent reduziert werden konnten.

Normalerweise würde dies auch zu verringerten Algenbiomassen führen, da Phosphor als Hauptnahrung für Algen dient. Überraschenderweise war dies hier jedoch nicht der Fall, und die Algenbiomassen blieben weiterhin hoch. Hier kommen die genannten Merkmalseigenschaften von Arten ins Spiel.

Die Forscher konnten zeigen, dass sich die Zusammensetzung der Algenarten nach den Phosphorreduktionen verändert hat und die Algengemeinschaft nun Merkmalseigenschaften

aufwies, die es ihr erlaubten, trotz geringerer Nährstoffe hohe Biomassen beizubehalten. So dominierten plötzlich Arten, die im Stande sind, Bakterien als zusätzliche Nahrungsquelle zu nutzen.

Analog zu der fliegenfressenden Venusfliegenfalle auf unserer Fensterbank erschließen sich diese sogenannten Mixotrophen oder Mischernährer im Gewässer durch die Aufnahme der Bakterien eine neue Phosphorquelle. Sie können so auch unter nährstoffarmen Bedingungen überleben und wachsen. Da die Mixotrophen die Nährstoffe aus den Bakterien auch für andere Arten verfügbar machen, profitieren alle davon und die Gesamt-Algen Biomasse konnte trotz der dramatisch gesunkenen Phosphoreinträge hoch bleiben.

Die Funktion der Algengemeinschaft, wie die Bindung von Nährstoffen und die Bereitstellung von Nahrung für Tiere, blieb so erhalten. Positiver Nebeneffekt: Die Mixotrophen reduzieren durch ihre Aktivität auch noch Bakterien und damit auch die Zahl an potenziell problematischen Keimen.

Das Beispiel zeigt exemplarisch, wie schnell und effizient sich Artengemeinschaften durch die Änderung von Merkmalseigenschaften an veränderte Umweltbedingungen im Gewässer anpassen können und dabei ihre ökologische Funktion aufrechterhalten können. Voraussetzung dafür ist aber, dass es viele unterschiedliche Merkmalseigenschaften in einer Lebensgemeinschaft gibt, d.h. dass die Gemeinschaft divers ist.

Fazit

Gewässerqualität und Biodiversität bilden eine enge und wechselseitige Beziehung. Wir müssen Biodiversität erhalten und fördern, und zwar nicht nur als Selbstzweck. Vielmehr stellen wir damit sicher, dass Organismen jetzt und auch unter dem Einfluss von Klima- und Landnutzungswandel ihre vielfältigen Leistungen zur Selbstreinigung der Gewässer optimal bereitstellen können.

Quellen

- Brauns, M., Brabender, M., Gehre, M., Rinke, K. & Weitere, M. (2019). Organic matter resources fuelling food webs in a human-modified lowland river: importance of habitat and season. *Hydrobiologia*, 841(1), 121-131. doi:10.1007/s10750-019-04011-4
- Rinke, K., Keller, P.S., Kong, X., Borchardt, D. & Weitere, M. (2019). Ecosystem services from inland waters and their aquatic ecosystems. In M. Schröter, A. Bonn, S. Klotz, R. Seppelt & C. Baessler (Hrsg.), *Atlas of ecosystem services: drivers, risks, and societal responses* (S. 191-192). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-96229-0_30
- Wentzky, V. C., Tittel, J., Jäger, C. G. & Rinke, K. (2018). Mechanisms preventing a decrease in phytoplankton biomass after phosphorus reductions in a German drinking water reservoir – results from more than 50 years of observation. *Freshwater Biology*, 63(9), 1063-1076. doi:10.1111/fwb.13116
- Wentzky, V. C., Frassl, M. A., Rinke, K. & Boehrer, B. (2019). Metalimnetic oxygen minimum and the presence of *Planktothrix rubescens* in a low-nutrient drinking water reservoir. *Water Research*, 148, 208-218. doi:10.1016/j.watres.2018.10.047

VOM WERT BIOLOGISCHER VIELFALT

Grenzen des Lebens kennen. Das größte Ökosystem der Erde: die Tiefe Biosphäre

AutorInnen: Dr. Jens Kallmeyer, Jun. Prof. Dr. Susanne Liebner, Prof. Dr. Dirk Wagner
(Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ)

Seit den Anfängen ihrer Erforschung vor fast 100 Jahren hat die Tiefe Biosphäre in den letzten drei Jahrzehnten einen großen Aufschwung erlebt und sich zu einer wichtigen Forschungsrichtung entwickelt. Der tiefe Untergrund wird zunehmend stärker industriell genutzt. Die Entscheidungen über Nutzungskonzepte verlangen nach einem profunden Verständnis der dort ablaufenden Prozesse, das in vielen Fällen noch nicht vorhanden ist.

- Der tiefe Untergrund ist auch eine Biosphäre, die zunehmend industriell genutzt und auch erforscht wird.
- Neben der Erforschung von Prozessen werden am Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) bisher unbekannte Mikroorganismen aus der Tiefen Biosphäre kultiviert und molekularbiologisch untersucht.
- Diese Organismen erlauben es, die Anpassung an die speziellen Umweltbedingungen der Tiefen Biosphäre zu studieren und bisher unbekannte Biomoleküle zu identifizieren.

Was ist die Tiefe Biosphäre? Warum ist es sinnvoll mehr darüber zu erfahren? Für die meisten Menschen bedeutet „Biosphäre“ das Leben auf der Erde. Sie übersehen dabei, dass es auch eine Biosphäre tief in der Erde gibt, die sogenannte „Tiefe Biosphäre“. Die Tiefe Biosphäre stellt das größte zusammenhängende Ökosystem der Erde dar. Die Porenräume in Sedimenten sowie Klüfte und Spalten im Festgestein durchziehen die gesamte Erdkruste mit einem kontinuierlichen zusammenhängenden Netzwerk.

Über den Anteil der Bewohner der Tiefen Biosphäre an der gesamten lebenden Biomasse auf der Erde gibt es verschiedene Schätzungen, die aufgrund der zum Teil spärlichen Datenlage mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Im Allgemeinen wird angenommen, dass bis zu 20 Prozent des in lebenden Organismen gespeicherten Kohlenstoffs in der Tiefen Biosphäre steckt (Kallmeyer et al., 2012).

Die Anzahl der Mikroorganismen in Sedimenten nimmt mit zunehmender Tiefe exponentiell ab. Zum Beispiel sind aufgrund der geringen Sedimentationsraten im Zentralpazifik die Sedimente in 7 Metern Tiefe bereits mehrere Millionen Jahren alt. Das bedeutet, dass die dort vorkommenden Mikroorganismen seit Millionen von Jahren von einer Versorgung mit frischen Nährstoffen der Oberfläche abgeschnitten sind.

Daraus folgerten die bekannten Mikrobiologen Morita und ZoBell bereits in den 1950er Jahren, dass die wenigen Reste organischen Materials, die in dieser Tiefe noch vorhanden sind, ausreichen, um den Organismen das Überleben zu sichern. Eventuell nutzen sie auch alternative Energiequellen wie z.B. Wasserstoff, der durch Zerfall von radioaktiven Elementen, die überall auf der Erde in sehr geringen Konzentrationen vorhanden sind, freigesetzt wird. Trotz großer Fortschritte in der Erforschung der Tiefen Biosphäre sind die damals aufgeworfenen Fragen bis heute nicht vollständig beantwortet.

Langsames Leben in der Tiefen Biosphäre

Nicht nur die räumliche Ausdehnung und damit verbundene Verschiedenartigkeit der Tiefen Biosphäre stellt die Wissenschaft vor ein Problem. Im Vergleich zum Leben an der Oberfläche läuft das Leben in der Tiefe in extrem vermindelter Geschwindigkeit ab. Zum einen haben die im Untergrund lebenden Mikroorganismen einen deutlich langsameren Stoffwechsel. Zum anderen gibt es viel weniger Zellen.

Um das Leben und die Prozesse im tiefen Untergrund untersuchen und Daten für Modelle liefern zu können, ist die Gewinnung von Proben durch Tiefbohrungen unabkömmlich. Wissenschaftlich beschäftigen sich zwei internationale Programme mit der Erforschung des tiefen Untergrunds durch Bohrungen, das landbasierte Internationale Kontinentale Bohrprogramm (International Continental Drilling Program, ICDP), das am Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) koordiniert wird, und das Tiefseebohrprogramm International Ocean Discovery Program (IODP), das schon diverse Vorgänger Programme hatte (DSDP, ODP) und nun seit über 40 Jahren kontinuierlich betrieben wird. Es handelt sich dabei um eines der weltweit ältesten internationalen Forschungsprojekte. Näheres zum Thema Bohren für die Erkundung der Tiefen Biosphäre kann im GFZ-Journal „System Erde“ (systemerde.gfz-potsdam.de) in der Ausgabe „Wissenschaftliches Bohren“ nachgelesen werden.

Wo sind Grenzen des Lebens?

Bislang kennen wir nur für die Temperatur die absolute Grenze des Lebens. Sie liegt bei ungefähr 122 °C. Solche extrem hitzetoleranten Organismen werden auch als Hyperthermophile bezeichnet. Man findet diese Organismen in heißen Quellen an mittelozeanischen Rücken in der Tiefsee, den sogenannten Schwarzen Rauchern.

In welcher Tiefe unter der Erde diese Temperatur erreicht wird, hängt vom Temperaturanstieg mit der Tiefe zusammen. Der sogenannte geothermische Gradient schwankt stark zwischen verschiedenen Standorten. Im Durchschnitt liegt er bei ca. 25–30 °C pro Kilometer. Die Temperaturgrenze des Lebens würde also in etwa vier bis fünf Kilometern Tiefe liegen.

Bisher ist im Meer noch nicht so tief gebohrt worden, jedenfalls nicht im Rahmen von Forschungsbohrungen. Die tiefste bisher durchgeführte marine Forschungsbohrung erreichte eine Maximaltiefe von rund 2,5 km und fand lebende Mikroorganismen über die gesamte erbohrte Tiefe. An Land wurde Leben bis in Tiefen von 3,5 km in extrem tiefen Goldminen in Südafrika gefunden.

Abgesehen von der Temperatur konnte noch für keinen chemischen oder physikalischen Parameter die absolute Grenze des Lebens gefunden werden. Bei Parametern wie Druck oder pH sind wir noch weit davon entfernt, die absoluten Grenzen zu kennen. Im Labor wurden Mikroorganismen bereits Drücken ausgesetzt, die normalerweise in Hunderten von Kilometern Tiefe herrschen. Dabei handelt es sich um Bereiche, in denen die Temperatur auf der Erde auf jeden Fall weit außerhalb des biologischen Bereichs liegt. Zumindest einige Zellen überlebten auch diese Behandlung.

Neben hohen Drücken und Temperaturen zeichnet sich die Tiefe Biosphäre in den meisten Fällen durch extreme Nährstoffarmut aus. Daher ist eine der zentralen Fragen, wie die Organismen unter diesen Bedingungen überleben können und ob es irgendwo auf bzw. in der Erde Bedingungen gibt, wo die Nährstoffversorgung so minimal ist, dass die mikrobielle Population „ausgehungert“ wird. In den nährstoffärmsten Gebieten der Ozeane wird so wenig organisches Material abgelagert, dass nur sehr wenige Mikroorganismen dort überleben können, und das auch nur mit einem stark verlangsamten Stoffwechsel. Die Organismen verbrauchen beim Abbau des organischen Ma-

terials Sauerstoff. Aufgrund der extrem geringen Abbauraten wird auch nur sehr wenig Sauerstoff benötigt, so dass der aus dem Meerwasser ins Sediment diffundierende Sauerstoff teilweise bis in die tiefsten über 100 Millionen Jahre alte Sedimentschichten reicht (D'Hondt et al., 2015). In nährstoffreicheren Sedimenten reicht der Sauerstoff dagegen nur wenige Millimeter ins Sediment.

Warum erforschen wir die Tiefe Biosphäre?

Viele Fragen zur Tiefen Biosphäre bleiben bislang ungelöst oder wurden nur unzureichend beantwortet. Zu den wichtigsten Fragen in der Forschung zur Tiefen Biosphäre gehören:

- Wie verbreitet und divers ist das Leben in der Tiefen Biosphäre und was sind die Grenzen des Lebens?
- Welche stoffwechselbedingte (metabolische) Aktivität und Kapazität hat das Leben in der Tiefen Biosphäre?
- Welche Formen von Kohlenstoff und Energiequellen werden von den Organismen genutzt?
- Welche auf die Entwicklungsgeschichte bezogenen (evolutiven) Anpassungen und Überlebensstrategien haben die Organismen der Tiefen Biosphäre?
- Welche natürlichen Ressourcen entstehen durch biologische Aktivität, bzw. werden durch sie vernichtet?
- Könnten Organismen oder Metaboliten aus der Tiefen Biosphäre in der Biotechnologie verwendet werden?
- Welche Interaktionen gibt es zwischen der Geosphäre und der Tiefen Biosphäre und auf welchen Zeitskalen laufen sie ab? Haben diese Prozesse einen Einfluss auf das Klima?
- Ist die Tiefe Biosphäre ein Modell für die frühe Erde und/oder das Leben auf anderen Planeten?

Am GFZ wird auf dem Gebiet der Tiefen Biosphäre vor allem zu drei Themen geforscht. Diese beinhalten die Tiefe Biosphäre als Modell



Abb. 1: Luftbild der Bohrplattform auf dem „Lake Towuti“. Das Versorgungsschiff wird benötigt um alle 12 Stunden den Wechsel der Mannschaft zu ermöglichen und die erbohrten Kerne an Land zu bringen.

Bild: Jens Kallmeyer / GFZ

der frühen Erde, die Interaktion von Mikroorganismen mit den Ressourcen des Untergrunds und die Bildung und Oxidation klimarelevanter Gase im tiefen Permafrost (insbesondere CO₂ und Methan).

Der „Lake Towuti“: Modell für mikrobielles Leben der frühen Erde

Im Sommer 2015 wurde im Rahmen des internationalen wissenschaftlichen Bohrprogramms ICDP (International Continental Scientific Drilling Program) zum ersten Mal überhaupt ein eigener Kern für geomikrobiologische und geochemische Untersuchungen gebohrt. An dieser Bohrkampagne am Lake Towuti in Indonesien (Abb.1) sind insgesamt fünf geochemisch und geomikrobiologisch arbeitende Gruppen beteiligt, darunter auch das Deutsche GeoForschungszentrum (GFZ), welches das mobile Geomikrobiologie-Labor „BugLab“ (Abb.2) zur Verfügung stellte und die Leitung dieses Forschungsbereichs hatte.

Besonders überraschend an den bisherigen Ergebnissen: Das mikrobielle Ökosystem funktioniert völlig anders als bisher angenommen und widerspricht der gängigen Lehrmeinung über den Abbau von organischem Material unter sauerstofffreien Bedingungen. Aufgrund der besonderen chemischen Zusammensetzung des Wassers und seiner Sedimente, vor allem

wegen der sehr hohen Eisengehalte, gilt der Lake Towuti als das moderne Äquivalent des Ozeans vor ca. zwei bis drei Milliarden Jahren. Die durch die Bohrung gewonnenen Erkenntnisse erlauben daher auch Rückschlüsse auf Prozesse aus der Frühzeit der Erde. In dieser Zeit bildeten sich die größten bekannten Eisenlagerstätten, die sogenannten Banded Iron Formations (BIFs). Die Mechanismen, die zur Bildung dieser Lagerstätten führten, sind immer noch nicht vollständig geklärt. Es wird vermutet, dass die Bildung der BIFs mit einem schrittweisen Anstieg der Sauerstoffkonzentration in der Atmosphäre und in den Ozeanen, verbunden mit einer Veränderung der chemischen Zusammensetzung des Ozeanwassers zusammenhängt. Die Bohrkerne vom Lake Towuti können in dieser Hinsicht wichtige Informationen liefern.

Mikroorganismen und die Beschaffenheit von Endlagern

Seit 2018 arbeitet das GFZ an einem Projekt zur Erforschung potentieller Standorte zur Endlagerung von radioaktivem Abfall im Untergrund. Das Projekt namens iCross (Integrität von Endlagersystemen für radioaktive Abfälle – Skalenübergreifendes Systemverständnis und Systemanalyse) ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt, das die Forschungskompetenzen mehrerer Helmholtz-Zentren verbindet. Dazu zählen die Bereiche Kernenergie, Geowissenschaften, Biowissenschaften oder Umweltsimulationen.

Es sollen auf nano- bis regionalen Skalen essentielle experimentelle Daten und Parameter erhoben und fortschrittliche Modellierungstools entwickelt werden, um potentielle Entwicklungen in Endlagern umfassend zu simulieren. Dort können mikrobielle Prozesse zu Gasbildung und -oxidation und damit zu Druckveränderungen führen. Zudem können sie Korrosion, die Bildung von Biofilmen, eine Auflösung und Mineralisierung des Tongesteins sowie die Migration von Radionukliden durch Anlagerung an die Zellen zur Folge haben. Dies

kann letztlich zur Veränderung und Durchlässigkeit des Puffermaterials führen, das als Dichtungsmaterial für ein mögliches Endlager verwendet wird, um es u.a. vor eindringendem Wasser zu schützen. Beispielsweise wird hier der natürliche Füllstoff Bentonit geprüft. Unter Anwendung molekularer und klassischer Methoden der Mikrobiologie werden daher mikrobielle Gemeinschaften und Prozesse im Wirtsgestein und dem Füllmaterial charakterisiert, um zu verstehen, welchen konkreten Einfluss Mikroorganismen auf die Sicherheit und Durchlässigkeit der einzelnen Barrieren haben.

Die Validierung der Parameter erfolgt in speziellen Experimenten teilweise in großräumigen Untergrund-Forschungslaboren. Der Fokus liegt dabei auf dem Felslabor Mont Terri in der Schweiz, wo kürzlich unter Beteiligung deutscher Partner ein neuer Versuchstunnel ausgeschachtet wurde. Neben anderen Helmholtz-Zentren (UFZ, FZJ, HZDR und KIT) beteiligt sich das GFZ mit fünf Gruppen in der Geophysik, Geomechanik, mit mechanischen Simulationen und geochemischen Modellierungen sowie der Geomikrobiologie.

Mikroorganismen als „Deckel“ für Klimagase aus tiefem Permafrost

Die geomikrobiologischen Arbeiten am GFZ beschäftigen sich auch mit dem Einfluss der Tiefen Biosphäre auf das Klima. Seit dem Anstieg des Meeresspiegels am Ende der letzten Eiszeit liegen ungefähr drei Millionen Quadratkilometer des arktischen Permafrostgebietes heute unter Wasser, vor allem als sogenannter submariner Permafrost auf dem Sibirischen Arktischen Schelf.

In der Tiefe tauender submariner Permafrost gilt als bedeutende Quelle des hochwirksamen Treibhausgases Methan (CH₄) und damit als ein Verstärker der globalen Erwärmung. Zusammen mit WissenschaftlerInnen des Alfred-Wegener-Institutes für Polar- und Meeresforschung (AWI), der Universität Hamburg und des Mel'nikov Permafrostinstituts Jakutsk in Russ-



Abb. 3: Bohrcamp an der Küste der Laptewsee. In Kooperation zwischen dem Alfred-Wegener-Institut (AWI), dem Deutschen GeoForschungsZentrum (GFZ) und russischen Kollegen zum Beispiel aus Novosibirsk und Jakutsk wurden im April 2017 subaquatische Permafrost-sedimente gewonnen, um daran u.a. mikrobiologische Studien durchzuführen. Bild: Jan Axel Kitte / GFZ

land wurden im Rahmen der HGF-Nachwuchsgruppe MicroCene (HGF = Helmholtz-Gemeinschaft Deutscher Forschungszentren) Sedimentkerne vom sibirischen Kontinentalhang in der südlichen Laptewsee mikrobiologisch und biogeochemisch untersucht (Abb. 3). Die Laptewsee liegt am Rande des Nordpolarmeers nördlich von Russland. Dort befinden große Gebiete mit untermeerischen (submarinen) Permafrostböden.

Die Forschungsarbeit konnte zeigen, dass das aus dem tauenden Permafrost freiwerdende Methangas von – an der Taugrenze angesiedelten – Mikroorganismen verzehrt wird, noch bevor es in das darüber liegende Sediment gelangen kann (Overduin et al., 2015; Winkel et al., 2018). Dies verhindert, dass Methan in erheblicher Menge in das Meer oder die Atmosphäre freigesetzt wird. Zukünftige Forschung muss zeigen, wie relevant dieser Prozess in tauendem Permafrost insgesamt ist und die dafür verantwortlichen Mikroorganismen im Detail untersuchen.

Quellen

- Bischoff, J., Mangelsdorf, K., Gattinger, A., Schloter, M., Kurchatova, A. N., Herzsuh, U. & Wagner, D. (2013). Response of methanogenic archaea to Late Pleistocene and Holocene climate changes in the Siberian Arctic. *Global Biogeochemical Cycles*, 27, 305-317. doi:10.1029/2011GB004238
- D'Hondt, S., Inagaki, F., Zarikian, C. A., Abrams, L. J., Dubois, N., Engelhardt, T., ... Ziebis, W. (2015). Presence of oxygen and aerobic communities from sea floor to basement in deep-sea sediments. *Nature Geoscience*, 8, 299-304. doi:10.1038/ngeo2387
- Fry, J. C., Horsfield, B., Sykes, R., Cragg, B. A., Heywood, C., Kim, G. T., Mangelsdorf, K., Mildenhall, D. C., Rinna, J., Vieth, A., Zink, K. G., Sass, H., Weightman, A. J. & Parkes, R. J. (2009). Prokaryotic Populations and Activities in an Interbedded Coal Deposit, Including a Previously Deeply Buried Section (1.6-2.3 km) Above 150 Ma Basement Rock. *Geomicrobiology Journal*, 26(3), 163-178. doi:10.1080/01490450902724832
- Glombitza, C., Stockhecke, M., Schubert, C. J., Vetter, A. & Kallmeyer, J. (2013). Sulfate reduction controlled by organic matter availability in deep sediment cores from the saline, alkaline Lake Van (Eastern Anatolia, Turkey). *Frontiers in Microbiology*, 4. doi:10.3389/fmicb.2013.00209
- Horsfield, B., Schenk, H.-J., Zink, K., Ondrak, R., Dieckmann, V., Kallmeyer, J., Mangelsdorf, K., Di Primio, R., Wilkes, H., Parkes, R. J. & Fry, J. C. (2006). Living microbial ecosystems within the active zone of catagenesis: Implications for feeding the deep biosphere. *Earth and Planetary Science Letters*, 246(1-2), 55-69. doi:10.1016/j.epsl.2006.03.040
- Kallmeyer, J., Pockalny, R., Adhikari, R. R., Smith, D. C. & D'Hondt, S. (2012). Global distribution of microbial abundance and biomass in subseafloor sediment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109(40), 16213-16216. doi:10.1073/pnas.1203849109
- Lippmann, J., Stute, M., Torgersen, T., Moser, D. P., Hall, J. A., Lin, L., Borcsik, M., Bellamy, R. E. S. & Onstott, T. C. (2003). Dating ultra-deep mine waters with noble gases and Cl-36, Witwatersrand Basin, South Africa. *Geochimica Et Cosmochimica Acta*, 67(23), 4597-4619. doi:10.1016/S0016-7037(03)00414-9
- Mangelsdorf, K., Haberer, R. M., Zink, K.-G., Dieckmann, V., Wilkes, H. & Horsfield, B. (2005). Molecular indicators for the occurrence of deep microbial communities at the JAPEX/JNOC/GSC et al. Mallik 5L-38 gas-hydrate production research well. In S. R. Dallimore & T. S. Collett (Hrsg.), *Scientifique Results from Mallik 2002 Gas Hydrate Production Research Well Program, Mackenzie Delta, Northwest Territories, Canada* (Geological Survey of Canada, Bulletin 585, S. 1-11). Ottawa: Natural Resources Canada. doi:10.4095/220702
- Mangelsdorf, K., Zink, K.-G., di Primio, R. & Horsfield, B. (2011). Microbial lipid markers within and adjacent to Challenger Mound in the Belgica carbonate mound province, Porcupine Basin, offshore Ireland (IODP Expedition 307). *Marine Geology*, 282(1-2), 91-101. doi:10.1016/j.margeo.2010.05.007
- Morita, R. Y., ZoBell, C. E. (1955). Occurrence of bacteria in pelagic sediments collected during the Mid-Pacific Expedition. *Deep-Sea Research*, 3(1), 66-73. doi:10.1016/0146-6313(55)90036-8
- Overduin, P. P., Liebner, S., Knoblauch, C., Günther, F., Wetterich, S., Schirrmeister, L., Hubberten, H.-W. & Grigoriev, M. N. (2015). Methane oxidation following submarine permafrost degradation: Measurements from a central Laptev Sea shelf borehole. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 120:2014JG002862. doi:10.1002/2014JG002862
- Wandrey, M., Morozova, D., Zettlitzer, M., Würdemann, H. & CO2SINK Group. (2010). Assessing drilling mud and technical fluid contamination in rock core and brine samples intended for microbiological monitoring at the CO2 storage site in Ketzin using fluorescent dye tracers. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 4(6), 972-980. doi:10.1016/j.ijggc.2010.05.012
- Winkel, M., Mitzscherling, J., Overduin, P. P., Horn, F., Winterfeld, M., Rijkers, R., Grigoriev, M. N., Knoblauch, C., Mangelsdorf, K., Wagner, D. & Liebner, S. (2018). Anaerobic methanotrophic communities thrive in deep submarine permafrost. *Scientific Reports*, 8:1291. doi:10.1038/s41598-018-19505-9

3. Klimawandel bedingt Artenwandel

Einleitung

Einer der größten Einflussfaktoren auf Biodiversität ist der Klimawandel. Arten wiederum müssen sich unter großem Zeitdruck anpassen oder in bisher nicht genutzte Lebensräume ziehen, wenn es wärmer wird. Invasive Arten stellen dabei zum Teil auch Chancen dar, damit zukünftig entscheidende Stoffflüsse weiterhin aufrechterhalten werden können. Auch in der Antarktis kommt es beispielsweise zu gravierenden Veränderungen, wenn Regionen am Meeresboden, die vorher von Schelfeis bedeckt waren, plötzlich Licht erhalten. Einzelne Arten wie der für die Fischerei wichtige Kabeljau können Probleme bekommen, wenn ihre Larven nicht mehr zur richtigen Zeit auf die notwendigen Nahrungsorganismen treffen.

Die Dürrejahre 2018 und 2019 zeigen, wie wichtig es in Zukunft werden kann, trockenresistente Nutzpflanzen zu züchten. Forscherinnen und Forscher greifen dabei auf schon lange bestehende Sorten zurück, die mit veränderten Bedingungen möglicherweise besser klarkommen. Beeindruckende Beispiele für Züchtungserfolge gibt es beim Wein aber auch beim Reis, dem wichtigsten Grundnahrungsmittel für mehr als die Hälfte der Menschen weltweit.

Themen-Überblick

- ▶ Arteninvasion und Klimaerwärmung
- ▶ Invasive Arten als Chance?
- ▶ Welches Leben entsteht unter wegbrechendem Schelfeis?
- ▶ Leben am Limit – Der Klimawandel bedroht den Kabeljau
- ▶ Reis, der Salz und Trockenheit aushält
- ▶ Stressresistente Weinreben: Signale verstehen statt Gift verspritzen

KLIMAWANDEL BEDINGT ARTENWANDEL

Arteninvasion und Klimaerwärmung – Folgen für die Biodiversität der Küsten

Autor: Dr. Christian Buschbaum (Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Große Containerschiffe werden häufig von blinden Passagieren begleitet, die sich an der Außenhaut der Schiffe festsetzen oder mit dem Ballastwasser aufgenommen werden. Diesen neuen Arten gelingt es durch den Klimawandel immer besser, in heimischen Küstengewässern den Sprung in den natürlichen Lebensraum zu schaffen. Doch welchen Einfluss haben die neuen Arten auf die hiesigen Ökosysteme? Stellen Sie ein Risiko für heimische Arten dar oder bieten sich sogar Chancen?

- Durch die Zunahme des internationalen Warenverkehrs und von Aquakulturen im Meer werden zunehmend neue Arten in heimische Küstenregionen eingeschleppt.
- Sie finden hier immer günstigere Lebensbedingungen vor und etablieren sich.
- Eingeschleppte Arten verändern unsere Küsten aber etliche heimische Arten profitieren auch von den „Zuzüglern“.

Mit der Entstehung unseres Planeten vor über 4500 Millionen Jahren ist ein einzigartiger Entwicklungsprozess eingeleitet worden. Das Ergebnis ist die heutige mit Organismen belebte Erde. Der Weg hierher war aber nicht ohne Hürden und wurde mehrfach von Extremereignissen beeinflusst, wie etwa ein Meteoriteneinschlag, der vor ca. 65 Millionen Jahren zum Aussterben der Dinosaurier am Ende der Kreidezeit führte. Somit hat sich die Entwicklung der Erde nie im Stillstand befunden. Vielmehr ist sie ein Resultat vieler verschiedener historischer Geschehnisse, zu denen auch ein steter Wechsel von Warm- und Eiszeiten gehörte.

Hat sich die Erde mitsamt ihren vielseitigen Ökosystemen in der Vergangenheit vergleichsweise langsam verändert, sodass es kaum innerhalb einer menschlichen Generation wahrgenommen worden ist, geschieht dies nun angetrieben durch menschliches Handeln um ein Vielfaches schneller. Besonders augenscheinlich wird dies in Küstenökosystemen. An den Stränden von Nord- und Ostsee sieht es

längst nicht mehr so aus, wie zu den Zeiten unserer Eltern und Großeltern.

Neue Arten wandern kontinuierlich ein

Verantwortlich dafür ist die Globalisierung der Märkte und der damit verbundene transozeanische Warentransport mit Hilfe sehr großer und schneller Schiffe. Diese großen Containerschiffe werden häufig von blinden Passagieren begleitet. So setzen sich Meeresorganismen ferner Küsten an der Außenhaut der Schiffe fest oder werden mit dem Ballastwasser aufgenommen, um schließlich in heimischen Gewässern den Sprung in den natürlichen Lebensraum zu schaffen. Auch die Intensivierung der Aquakultur mit ortsfremden Arten führt zu einem Anstieg von nicht-heimischer Meeresorganismen im hiesigen Lebensraum.

Ein vom Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI) entwickeltes langjähriges Erfassungssystem

zeigt, dass sich derzeit jährlich bis zu zwei neue Arten in der Nordsee erfolgreich ansiedeln. Die Dunkelziffer ist vermutlich deutlich höher. Ermöglicht wird dieser Prozess durch den menschlich verursachten Klimawandel und dem damit verbundenen Anstieg der Wassertemperaturen, der beispielsweise um die Nordseeinsel Helgoland in den letzten 60 Jahren im Mittel fast 2 °C betragen hat.

Zunehmend gute Bedingungen, um sich zu etablieren

Viele der eingeschleppten Arten stammen von wärmeren Küstenregionen. Während früher tiefere Temperaturen die Etablierung dieser Arten verhindert hat, finden sie nun bei uns gute Lebensbedingungen vor, was ihre erfolgreiche Ausbreitung deutlich begünstigt. Ein Beispiel dafür ist die für Aquakulturzwecke in den 1980er-Jahren in das Wattenmeer eingeschleppte Pazifische Auster. Sie ist heute an der ganzen süd-östlichen Nordseeküste bestandsbildend, obwohl man angenommen hatte, dass es dieser Muschel hier für eine Ausbreitung im natürlichen Lebensraum zu kalt ist.

Aber nicht nur Neueinschleppungen profitieren von den immer weiter steigenden Wassertemperaturen. Auch schon vor Jahrzehnten eingebrachte Organismen erwachen aus einem Dornröschenschlaf. Die Amerikanische Pantoffelschnecke ist seit den 1930er-Jahren im nördlichen Wattenmeer beheimatet, hat aber immer wieder starke Einbrüche in ihren Beständen durch eisige Winter hinnehmen müssen. Da diese kalten Winter seit der Jahrtausendwende kaum mehr vorkommen, ist die Population der Pantoffelschnecke explodiert. Die Beispiele zeigen: An der Küste wirken mit dem drastisch gewachsenen Welthandel per Schiff und dem Klimawandel mehrere menschlich bedingte Faktoren zusammen. Sie führen zu revolutionären Veränderungen der marinen Biodiversität, die es vermutlich in diesem Ausmaß und auf diesen kurzen Zeitskalen vorher nicht gegeben hat.



Abb. 1: An der Nordseeküste bestimmen Riffe eingeschleppter Pazifischer Austern großflächig das Wattenbild. Sie sind Nutznießer des Klimawandels.

Bild: Christian Buschbaum



Abb. 2: Amerikanische Pantoffelschnecken (hier als Kette mehrerer Tiere angeheftet an eine Miesmuschel) konnten mit wärmeren Wassertemperaturen ihre Bestände stark erhöhen.

Bild: Christian Buschbaum

Heimische Arten werden nicht komplett verdrängt

Ist dies nun eine Gefahr für die heimischen Küstenlebensräume, ihrer Organismen und Biodiversität? Fakt ist, dass eingeschleppte Arten die heimischen Artengemeinschaften und Dominanzverhältnisse verändern und somit einen prägnanten Einfluss auf die Diversität haben. Auch der Tourist an der Nordseeküste wird sich dessen schnell bewusst. Leere, angespülte Muschelschalen am Strand werden immer mehr durch eingeschleppte Arten dominiert. Dies kann auch schmerzhaft Erfahrungen verursachen. Beispielsweise sind die Schalen der

Pazifischen Auster messerscharf, was regelmäßig zu Schnittverletzungen bei Strandwandern führt.

Interessant ist jedoch, dass bisher an unseren Küsten keine heimischen Organismen komplett verdrängt worden sind. Auch weltweit gibt es keine Hinweise darauf, dass es zu einer solchen Verdrängung gekommen ist. Grund ist, dass Küstenökosysteme sehr groß und räumlich kaum begrenzt sind, sodass ein Ausweichen der Arten möglich ist. Dennoch werden Wechselwirkungen zwischen den Organismen grundlegend verändert und die heimischen Arten stehen vor neuen Herausforderungen. Dies gilt vor allem dann, wenn sie sich mit konkurrenzstarken Einwanderern, neuen räuberischen Arten sowie fremden Parasiten und Krankheitserreger auseinandersetzen müssen.

Diese neu entstehenden Wechselwirkungen bilden einen Forschungsschwerpunkt der AWI-Wattenmeerstation auf Sylt. Im Rahmen der Forschung wurde erkannt, dass heimische Strandschnecken leiden, wenn sie mit eingeschleppten Austern überwachsen werden. Andererseits können nicht-heimische Arten aber auch neue Möglichkeiten bieten. Der aus dem Pazifik stammende Japanische Beerentang ist mit mehreren Metern Länge die nun bei uns größte vorkommende Algenart und bildet dichte Wälder unter Wasser aus. Diese werden intensiv von heimischen Arten als Lebensraum genutzt und sogar gefährdete Fischarten, wie der Seestichling und die Große Schlangennadel, finden hier ein neues Zuhause.

Alle diese Interaktionen führen dazu, dass derzeit unter Wasser umfangreiche Anpassungsprozesse innerhalb der Lebensgemeinschaften stattfinden, die von dem weiteren Zustrom von Arten immer wieder neu beeinflusst werden. Ausgelöst werden dadurch auch langfristige evolutive Prozesse. Die Auswirkungen exotischer Organismen an unseren Küsten ist demnach nicht mit ihrer Etablierung und Eingliederung in die heimischen Artengemeinschaft abgeschlossen, sondern sie leiten Entwicklungsprozesse ein, die es ohne sie vermutlich



Abb.3: Der nicht-heimische Japanische Beerentang bildet unter Wasser großflächige Wälder aus, die von heimischen Arten intensiv als Lebensraum genutzt werden.
Bild: Christian Buschbaum

nicht gegeben hätte. So konnte von Wissenschaftlern am Alfred-Wegener-Institut gezeigt werden, dass sich heimische Muschelarten in relativ kurzer Zeit an eingeschleppte Parasiten anpassen, was an ihre Nachkommen weitervererbt wird.

Bemühungen, das Ausbreiten von Arten einzuschränken

Einen räumlichen Austausch von Arten zwischen Ökosystemen gab es schon zu allen Zeiten. Neu ist: Derzeit werden durch menschliches Handeln zunehmend Ausbreitungsschranken eingerissen. Dies ermöglicht erst den heutigen hohen Zustrom neuer Arten in die heimischen Meere und die damit verbundenen Auswirkungen. Auch wenn an unseren Küsten bisher vorwiegend eine Zunahme der Diversität durch Arteneinschleppungen stattgefunden hat, ist dies eine menschengemachte und damit künstliche Veränderung der Natur. Zwar sind nach jetzigem Forschungsstand schädliche Effekte bisher weitgehend ausgeblieben, aber mit jeder neuen eingeschleppten Art besteht die Gefahr weitreichender ökologischer und ökonomischer Konsequenzen, was einer Art ökologischem Roulette gleicht.

Somit gilt es, Arteneinschleppungen und deren Etablierung nach Möglichkeit zu verhindern. Hier ist Prävention die wirksamste Maßnahme. Dies wurde auch international erkannt und mit

Inkrafttreten des Ballastwasser-Übereinkommens im Jahr 2017 ein erstes Werkzeug etabliert, das die Behandlung von Ballastwasser vorschreibt, um die Einfuhr gebietsfremder Organismen in heimische Küsten zu verhindern. Haben sich die Exoten aber einmal etabliert, sollten sie als natürlicher Bestandteil der Lebensgemeinschaft akzeptiert werden, denn ein

Entfernen ist nahezu unmöglich und wäre mit enormen ökologischen Schäden verbunden. Gleichzeitig müssen die Effekte etablierter, ortsfremder Arten untersucht werden, um nachhaltige Management-Strategien entwickeln zu können. Dies war auch eine Forderung der UNESCO bei der Ernennung des Wattenmeeres zum Weltnaturerbe.

Quellen

- Buschbaum, C. & Lackschewitz, D. (2018). Wie können marine Neobiota erfasst, bewertet und kontrolliert werden. *Natur und Landschaft*, 93(9/10), 428-433.
- Buschbaum, C., Lackschewitz, D. & Reise, K. (2012). Nonnative macrobenthos in the Wadden Sea ecosystem. *Ocean & Coastal Management*, 68, 89-101. doi:10.1016/j.ocecoaman.2011.12.011
- Buschbaum, C. & Reise, K. (2010). Globalisierung unter Wasser – Neues Leben im Naturerbe Wattenmeer. *Biologie in unserer Zeit*, 40(3), 202-210. doi:10.1002/biuz.201010424

KLIMAWANDEL BEDINGT ARTENWANDEL

Invasive Arten als Chance?

Interview mit Prof. Dr. Martin Wahl (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Wir sprachen mit Prof. Dr. Martin Wahl (GEOMAR) über invasive Arten in der Ostsee und im Mittelmeer. Welche Eigenschaften führen dazu, dass es einer gebietsfremden Art gelingt zu überleben? Stellen diese Arten womöglich – auch vor dem Hintergrund der fortschreitenden Erwärmung der Meere – Chancen für einige Regionen dar?

Herr Prof. Dr. Martin Wahl, ist es denn per se ein Problem, wenn eine neue Art zu einem Ökosystem hinzukommt?

Prof. Wahl: Nein, das ist nicht immer ein Problem. Es ist sogar relativ selten ein Problem. Es ist allerdings ebenso schwer abzuschätzen, wann es zu einem Problem werden könnte. Es können viele Jahre oder sogar Jahrzehnte vergehen bis eine Art, die neu zu einem Ökosystem hinzugekommen ist, so abundant oder sogar dominant wird, dass sie möglicherweise ein Problem darstellt. Ich bin generell sehr vorsichtig mit dem Begriff „invasive“ Arten. Diese Definition ist ja immer ein wenig an Schäden gekoppelt, die diese Art verursacht.

Oftmals sind diese Schäden gar nicht so offensichtlich oder auch nur von kurzer Dauer, sodass die Schäden vielleicht nach zehn Jahren schon wieder verschwunden sind, weil sich das System umstrukturiert hat. Wenn wir von „nicht-heimischen“ Arten sprechen, dann habe ich überhaupt kein Problem damit. Davon haben wir viele und die haben sich meistens – gerade in der Ostsee – relativ gut eingefügt, sodass wir zumindest in der Ostsee noch gar nicht von massiven, ökosystemaren Schäden sprechen können.

Was begünstigt den Erfolg einer invasiven Art?

Prof. Wahl: Das haben wir über einige Jahre – auch weltweit – untersucht, indem wir Arten bezüglich ihrer Stressresistenz miteinander

verglichen haben. Wie gut können invasive Arten also mit nicht-optimalen Bedingungen umgehen? Wir haben auch Populationen innerhalb einer Art, d.h. zum Beispiel die heimische Population einer Rotalge in Japan wie auch deren invasive Population in Westeuropa untersucht. Das Ergebnis ist eigentlich immer dasselbe.

Es ist so, dass die invasiven Arten oder invasiven Populationen sehr viel härter im Nehmen sind. Sie können mit Austrocknung zum Beispiel besser umgehen, mit Sauerstoffmangel, Erwärmung oder Salzgehaltsschwankungen. Das sind alles Faktoren, die es während des Transports dieser Arten zu überleben gilt. Deshalb gehen wir davon aus, dass der Transport als solcher schon dazu geführt hat, dass nur die Genotypen, sprich die genetischen Zusammenstellungen, die solche Stresse besser wegpuffern können, letztendlich erfolgreich waren.

Sie untersuchen unter anderem den Japanischen Knötchentang, eine invasive Algenart in der Ostsee. Warum haben Sie sich genau mit dieser Art beschäftigt?

Prof. Wahl: Wir arbeiten seit vielen Jahren über heimische Großalgen und da ist uns vor zehn Jahren aufgefallen, dass sich plötzlich eine nicht-heimische Großalge in der Ostsee fast explosionsartig vermehrt hat. Das war besagte Alge aus Japan bzw. Nordchina. Wir wollten wissen, was diese Art hier anrichtet, ob sie Schäden verursacht oder auch nicht. Letztendlich konnten wir kaum direkte Schäden feststellen.

Wir haben dann sehr viele Eigenschaften dieser Rotalge gefunden, die sie dazu befähigen, erstens den Transport zu überleben und zweitens es ihr dann ermöglichten, sich in einer doch ziemlich anspruchsvollen Umgebung wie der Ostsee einzunischen. Inzwischen ist diese Alge schon wieder in ihrer Häufigkeit zurückgegangen. Sie stellt aber möglicherweise – das ist unsere Hoffnung – ein Adaptationspotential oder -reservoir darstellt, wenn es unseren Algen mal so schlecht gehen sollte, dass die invasive Art eines Tages möglicherweise Funktionen übernehmen könnte, die wir sonst verlieren würden.

Kommt es Ihnen dabei eher auf die funktionale Diversität an?

Prof. Wahl: Ja, mir kommt es vor allem auf die Funktionen an, weil ich daran interessiert bin, dass das System überlebt, dass alle Stoff- und Energieflüsse weiterarbeiten können. Es ist natürlich so, dass man die invasiven Arten nicht allzu sehr befördern darf, weil wir dann global eine Vermischung von Arten und eine sinkende globale Diversität haben. Damit sinkt auch insgesamt die Heterogenität und damit auch die Anpassungsfähigkeit der einzelnen Systeme. Das sind zwei Seiten einer Medaille, es gibt gute und etwas beunruhigende Aspekte.

Ist bekannt wie die invasive Rotalgenart in die Ostsee gelangt ist?

Prof. Wahl: Diese Rotalgenart ist oft assoziiert mit Austerkulturen und wenn diese Kulturen dann von Japan oder China hierher transportiert werden, sind auch immer kleine Stücke von der Alge dabei. Diese Alge hat die Eigenschaft, dass sie aus einem nur ein Zentimeter großen Fragment plötzlich wieder auswachsen kann. Das ist schon sehr beachtlich. Hinzu kommen natürlich alle anderen Transportmechanismen über Ballastwasser oder über Aufwuchs an Schiffsrümpfen. Es gibt viele Wege für die invasiven Arten.

Welche invasive Art, die vielleicht schon vorhanden ist, aber sich noch nicht in größerem Maßstab etablieren konnte, könnte uns in Zukunft Probleme bereiten?

Prof. Dr. Wahl: Das ist ein wenig wie Kristallkugel lesen. Ich würde eher darauf tippen, dass es gar nicht die großen auffälligen Arten sein werden, die möglicherweise Probleme bereiten, sondern die kryptischen, solche, die man nicht so gut sehen kann. Hier denke ich vor allem an die pathogenen Arten oder die Parasiten. Diese begleiten oft eine invasive Art. Letztere gelangt ja nicht alleine hierher, sondern hat so einiges im Gepäck, was eine Art Zeitbombe darstellen könnte. Nach einer gewissen Anpassungsphase könnte ein solcher Parasit dann hier in der Nord- oder Ostsee virulent werden, also auch neue Wirte für sich entdecken und das kann dann natürlich zu einer massiven Erkrankung von lokalen Arten führen.

Was wissen wir über invasive Arten beispielsweise im Mittelmeer?

Prof. Wahl: Wir wissen, dass vor 150 Jahren ein neuer Weg vom Roten Meer ins Mittelmeer eröffnet wurde. Das ist der Suezkanal und obwohl es diesen nun schon seit so langer Zeit gibt, sind anfänglich gar nicht so viele Arten vom Roten Meer ins Mittelmeer eingewandert, das ging recht bedächtig. In den letzten dreißig Jahren allerdings ist diese Dynamik explodiert, sodass jetzt an der israelischen Küste nahezu 90 Prozent der Organismen, die man am Meeresgrund sieht, invasiv sind, also gar nicht dorthin gehören. Sie kommen aus dem Roten Meer, aus dem Indischen Ozean und zum Teil aus dem Persischen Golf und haben jetzt die lokalen Arten weitgehend ersetzt.

Das ist eigentlich ein ganz schönes Beispiel dafür, wie invasive Arten ein System übernehmen können ohne einen gewaltigen Schaden anzurichten, denn im östlichen Mittelmeer sind die meisten nativen, also einheimischen Arten bereits an ihrer thermischen Toleranzgrenze. Bei 32 Grad bekommen sie arge Schwierigkeiten. In jedem Sommer werden diese 32 Grad nun er-

reicht oder inzwischen sogar überschritten, sodass wir Hunderte von Arten haben, die verschwinden und ihrerseits wieder ersetzt werden durch robustere aus wärmeren Gegenden. Das ist also ein Fall, in dem man gar nicht beurteilen kann: sind denn diese invasiven Arten nun schädlich oder nützlich? In der Bilanz würde ich sagen: „Gut, dass es wenigstens die gibt.“

Hat es Versuche gegeben, diese invasiven Arten zurückzudrängen?

Prof. Wahl: Man hat ja aus der Terrestrik ein bisschen was gelernt. So etwas wie biologische Kampfmittel – also Parasiten oder Pathogene von invasiven Arten einzuführen – macht man heute nicht mehr. Da hat man zu schlechte Erfahrungen gemacht. Es gibt in Australien so einige getestete Möglichkeiten. Diese funktionieren aber nur wirklich ganz am Anfang, sprich wenn man z.B. in einem Hafen einen kleinen Fleck einer neuen Art entdeckt. Dann werfen die Australier gerne viele Tonnen Salz drauf und bringen die Art auf eine an sich umweltverträgliche Weise um. Das geht aber wirklich nur in den ersten Wochen.

Im Mittelmeer gibt es ja dieses erschreckende Beispiel der aus Australien stammenden Alge *Caulerpa taxifolia*, die sich im Mittelmeer so ausgebreitet hat, dass sie auch das Seegrass stellenweise verdrängt hat. Soweit ich weiß, geht sie jetzt allmählich zurück, aber sie hat immerhin 20 bis 30 Jahre gewütet. Das ist mal einer von den wenigen Fällen, wo ich wirklich sagen würde: hier ist eine invasive Art auch im Meer richtig schädlich gewesen. Sie hat sich rasant verbreitet wohl auch weil sie keine Fressfeinde hatte. Die heimischen Organismen müssen ja zunächst erst einmal lernen, wie man mit einem neuen Futter umgeht. Und die Alge hat sich wohl auch relativ gut geschützt. Sie wurde also nicht in dem Maße konsumiert, dass sie dadurch kontrolliert werden konnte.

Was sind die großen Forschungsfragen, die Sie hinsichtlich invasiver Arten momentan umtreiben?

Prof. Wahl: Die Invasionsbiologie ist ein sehr langfristiges Forschungsthema. Ich sagte ja bereits, dass die Arten eine gewisse Latenzzeit haben. Bis sie so richtig zum Zuge kommen können einige Jahre bis Jahrzehnte vergehen. Für uns ist interessant, wie sich diese invasiven Arten vor dem Hintergrund des globalen Wandels darstellen, ob sie damit besser umgehen, längerfristiger leben können als die heimischen Arten. So untersuchen wir momentan vor allem die Kombination von verschiedenen Drücken, wenn wir also Versauerung und Erwärmung und Sauerstoffmangel und Nährstoffhöhung haben. Dann kommt es ganz stark darauf an, welcher Druck nun in welcher Jahreszeit wirkt und wie sie hintereinander geschaltet sind, denn ein Organismus muss ja all diese Herausforderungen überleben, um sich dann fortzupflanzen. Bei uns im Augenblick eine der wichtigsten Fragen: Wie schaffen das die heimischen Arten im Vergleich zu den invasiven Arten.

Vielen Dank für das Gespräch.

Das Interview führte Jana Kandarr (ESKP).

KLIMAWANDEL BEDINGT ARTENWANDEL

Welches Leben entsteht unter wegbrechendem Schelfeis in der Antarktis?

Autor: Prof. Dr. Julian Gutt (Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

In die Jahrtausende anhaltenden Finsternis am antarktischen Meeresboden gelangt zum ersten Mal Licht, wenn dort Schelfeistafeln plötzlich kollabieren und verdriften. Dies geschieht auf natürliche Weise, in Zukunft aber auch verstärkt klimabedingt. Welche Ökosysteme können sich dann am Meeresboden entwickeln und welche Auswirkungen hat das auf die Artenvielfalt? Für die Antarktis ergeben sich völlig neue Forschungsfragen.

- Entlang der antarktischen Küste vollziehen sich im Kontext des Klimawandels und durch den Schelfeisabbruch dramatische Veränderungen.
- Neue Lebensräume entstehen – es kommt praktisch zu einer Inventur von Lebensgemeinschaften in den Ozeanen.
- Dies erlaubt im Zusammenhang mit dem Klimawandel Schlussfolgerungen für andere Meeresökosysteme.
- Computermodelle können dazu dienen, ökologische Zusammenhänge aufzuklären und treibende Kräfte zu identifizieren.

Laut dem ersten Globalen Sachstandsbericht des Weltbiodiversitätsrates (IPBES) sind nur noch 3 Prozent der Weltmeere vom Menschen völlig unberührt. So bleiben nur wenige Gebiete, z.B. im Südlichen Ozean, wo heute noch der Einfluss von Umweltveränderungen auf die marine Lebensvielfalt und Ökosystemfunktionen relativ ungestört untersucht werden kann. Ein interessanter Prozess ist dabei entlang der antarktischen Küste zu beobachten, an der die Natur einzigartige und großräumige „Experimente“ durchführt.

Natürlicherweise und durch den Klimawandel bedingt brechen immer wieder große schwimmende Eistafeln vom Inlandeis der Antarktis ab und driften davon. Das hat erhebliche Folgen für das darunterliegende Meeresökosystem, welches bisher von der Ozeanerwärmung noch nicht betroffen war.

Wenn Meeresökosysteme noch mit Schelfeis bedeckt sind, herrscht Finsternis im Wasser, und am Meeresboden große Nahrungsknappheit, ähnlich wie in der Tiefsee. Dadurch konnte sich über Jahrtausende eine Tiefsee-ähnliche Fauna unter dem Schelfeis auf dem flachen Antarktischen Kontinentalsockel entwickeln. Wenn durch den Schelfeisabbruch plötzlich Licht in die bisher stockdunklen Gewässer dringt, werden drastische Veränderungen in Gang gesetzt.

Diese können u.a. durch bildgebende Methoden, also Unterwasserfotografie und -video untersucht werden. Diese Methoden haben den großen Vorteil, dass sie den natürlichen Lebensraum nicht stören. Da die wissenschaftlichen Fragen aber komplexe ökologische Zusammenhänge betreffen, ist während einer Expedition eine gute interdisziplinäre Abstimmung beim Einsatz verschiedener Probennahmegeräte und beim Probennahmedesign nötig.

Was passiert, wenn mit einem Mal Licht in die Gewässer dringt?

Zunächst beginnen Kleinstalgen zu wachsen. Ein Teil davon sinkt zum Meeresboden und steht dort den Bodentieren als Nahrung zur Verfügung. In solchen Gebieten können dann dichte Ansammlungen von mobilen Seegurken beobachtet werden, die durch den Nahrungsüberfluss angelockt werden und sich bei den günstigen Bedingungen sehr erfolgreich fortpflanzen. Ähnlich schnell tauchen die für die Bodenfauna des Südlichen Ozeans außergewöhnlich schnellwüchsigen und am Meeresboden festsitzenden Seescheiden auf. Da die Seegurken wie auch die Seescheiden massenhaft auftreten, ist die Lebensvielfalt in solchen Lebensgemeinschaften sehr niedrig. Genauso schnell wie diese Ansammlungen entstehen, können sie aber auch wieder verschwinden.

Die spannendste Frage, die sich aus diesem „Experiment der Natur“ ergibt, ist, ob sich überhaupt, und wenn ja wann, eine für die Verhältnisse unter dem Schelfeis typische Lebensgemeinschaft in ein normales Antarktisches Bodenleben umwandelt. Langfristige Beobachtungen solcher Prozesse, bei denen ein klimabedingter Wandel im Mittelpunkt steht, tragen zu einer noch lange nicht abgeschlossenen globalen Inventur von Lebensgemeinschaften in den Ozeanen bei, und erlauben Schlussfolgerungen für andere Meeresökosysteme.

Man kann daraus unter anderem lernen, wie viel Zeit ein Ökosystem braucht, um sich an neue Umweltbedingungen anzupassen, welche Faktoren (Fortpflanzungsmechanismen, Mobilität der Organismen, physikalische Faktoren wie z.B. Störungsmuster am Meeresboden etc.) diese Entwicklung grundsätzlich steuern und zu welchem Ergebnis entsprechende ökologische Anpassungen letztendlich führen.



Ist die Besiedlung am Meeresboden ungestört, siedeln sich Glasschwämme an, die z.B. Seegurken und Haarsterne als Lebensraum dienen.

Foto: A. Starmans/AWI



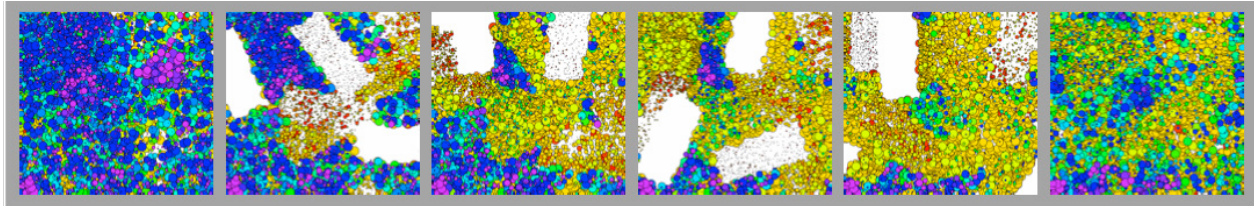
Wenn Eisberge über das Sediment kratzen, vernichten sie das Bodenleben und hinterlassen Areale mit solchen Schleifspuren. In diese wandern zunächst nur bewegliche Tiere ein, wie kleine Fische, Schlangensterne und vielborstige Ringelwürmer.

Foto: J. Gutt und W. Dimmler, AWI/MARUM

Auf Grund laufende Eisberge zerstören Fauna und Flora: Was geschieht dann?

Bei dem Auseinanderbrechen der schwimmenden Eistafeln entstehen Eisberge, die ein weiteres „natürliches Experiment“ ausführen. Wenn sie auf dem antarktischen Kontinentalsockel auf Grund laufen, zerstören sie zunächst fast alles Leben.

Insbesondere wenn man etwas ältere Eisbergkratzer mit bildgebenden Methoden untersucht, stellt man fest, dass zunächst mobile Tiere wie kleine Fische oder Schlangensterne in solche zuvor gestörten Areale einwandern.



Die Abfolge der Wiederbesiedlung des antarktischen Meeresbodens nach Eisbergstörungen (von links nach rechts) im Modell dargestellt. In den im zweiten Bild auftauchenden Kratzspuren sind die Erstbesiedler als rote und orangene Punkte dargestellt. Ein zeitlich mittleres Stadium zeichnet sich durch gelbe und grüne Punkte (= Individuen) aus, während erst am Ende der Wiederbesiedlung die langsamen Arten (blau und violett) zu wachsen beginnen. Modellrealisierung: M. Potthoff, AWI

Dann folgen am Boden festsitzende „Pioniere“ mit explosionsartigem Populationswachstum, die aus den verschiedensten Tiergruppen kommen können, etwa Nesseltiere, Moostierchen oder Seescheiden. Wenn diese Erstbesiedler das Einwandern weiterer Arten zulassen, steigt die anfangs niedrige Lebensvielfalt an.

Die am langsamsten wachsenden Arten, wie große Schwämme, sind eventuell im Verdrängungswettbewerb die robustesten. Wenn sie sich gut entwickeln und später die Lebensgemeinschaft dominieren, sinkt zwar einerseits die Lebensvielfalt wieder, andererseits bilden diese Schwämme aber auch das lebende Substrat für eine reiche Begleitfauna wie z.B. Meeresasseln, Schnecken und Stachelhäuter.

Simulation der Artenabfolge am Computer: Zusammenhänge zwischen Artenvielfalt und physikalischen Störungen

Sind genügend spezifische Merkmale der Arten, z.B. deren Wachstum, Mobilität, Fortpflanzung und Daten zu den Störungseignissen bekannt, so kann eine entsprechende Artenabfolge auch am Computer simuliert werden. Solche Modelle dienen in erster Linie dazu, ökologische Zusammenhänge aufzuklären und treibende Kräfte zu identifizieren.

Erst in einem fortgeschrittenen Entwicklungsstadium lassen sich aus solchen Modellen auch Projektionen in die Zukunft berechnen. So kann die Reaktion des Antarktischen Bodenlebens

auf verschiedene Klimaszenarien prognostiziert werden, z.B. dass bei vermehrter Eisbergstörung zunächst keine deutliche Minderung der Lebensvielfalt zu erwarten ist, dass aber eine Verarmung eintritt, wenn das meiste Schelfeis weggebrochen ist und die Eisbergkratzer ausbleiben.

Solche Zusammenhänge zwischen physikalischen Störungen und der Lebensvielfalt sowie Ökosystemfunktionen gibt es auch in anderen Meeresgebieten, so z.B. durch Wirbelstürme in Korallenriffen und durch Brände in Wäldern. Somit eignen sich die Untersuchungen im Südlichen Ozean auch besonders gut für systemübergreifende Vergleiche.

Forschungssteckbrief

Bei der Analyse der Bilder und Daten ist eine enge Zusammenarbeit zwischen den verschiedenen Fachleuten aus den In- und Ausland nötig. International sind diese Untersuchungen in Projekte, z.B. des Scientific Committee on Antarctic Research (SCAR) oder Southern Ocean Observing System (SOOS) eingebunden, wo regelmäßig ein Austausch von Ergebnissen und Erfahrungen erfolgt. Von Zeit zu Zeit finden auch übergreifende Auswertungen von Daten aus vielen verschiedenen Expeditionen statt.

Quellen

- IPBES. (2019, 6. Mai). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (Advance Unedited Version, hrsg. von S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondizio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis & C. N. Zayas). IPBES secretariat.
- Hempel, G., Hagen, W. & Bischof, K. (Hrsg.). (2006). *Faszination Meeresforschung* (2. Auflage). Berlin, Germany: Springer.
- Lozán, J. L., Breckle, S.-W., Müller, R. & Rachor, E. (Hrsg.). (2016). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität. Wissenschaftliche Auswertungen*. Hamburg, Germany.
- Salomon, M. & Markus, T. (Hrsg.). (2018). *Handbook on Marine Environment Protection. Science, Impacts and Sustainable Management*. Heidelberg, Germany: Springer International Publishing.

KLIMAWANDEL BEDINGT ARTENWANDEL

Leben am Limit – der Klimawandel bedroht den Kabeljau

Autorin: Dr. Ute Daewel (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung HZG)

Der Kabeljau ist einer der fruchtbarsten Fische der Erde. Doch die Larven dieser Fischart müssen zur richtigen Zeit am richtigen Ort das passende Lebensstadium erreicht haben, um überhaupt auf ihre Nahrungsorganismen zu treffen. Diese Stadien hängen stark mit den Umweltbedingungen zusammen.

- Der Bestand des Kabeljaus in der Nordsee ist stark zurückgegangen.
- Starke Befischung und Klimawandel führen zum Rückgang des Bestandes.
- Die Zusammenhänge unter den verschiedenen Faktoren für den Rückgang sind noch nicht vollständig geklärt.
- Wichtig ist aber der Einfluss eines Match-Mismatch-Problems.
- Langzeitsimulationen helfen der Wissenschaft weiter.

Kabeljau (*Gadus morhua*) ist ein bekannter und beliebter Speisefisch. Regelmäßige Kabeljau-fänge trugen wesentlich zum Auskommen der Fischerei an der deutschen Nord- und Ostseeküste bei. Der Kabeljau war sozusagen der „Brotfisch“ der Fischer. Der Bestand in der Nordsee, und damit die Fänge, sind jedoch seit den 1990er Jahren stark zurückgegangen.

Auch in den Nahrungsnetzen der Nordsee und der Ostsee spielt der Kabeljau eine wichtige Rolle, denn der Kabeljau ist ein wichtiger Raubfisch. Während sich die Larven und Jungfische vor allem von Zooplankton, also von kleinen Krebstieren und Kleinfischen ernähren, befindet sich der ausgewachsene Kabeljau beinahe am Ende der Nahrungskette und ernährt sich von kleineren Fischen wie zum Beispiel Hering, Sprotte oder Sandaal.

Auf der anderen Seite wird er aber auch selbst zur Beute z.B. von marinen Säugetieren. Interessant ist besonders die Wechselwirkung mit dem Hering, der – obgleich ein wichtiger Beutefisch des Kabeljaus – seinerseits selbst Jagd auf die Kabeljaularven macht (Hjermann et al., 2013).

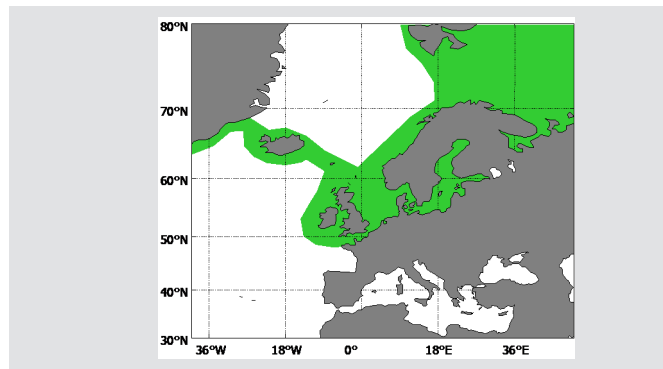


Abb. 1: Verbreitungsgebiete des Kabeljaus im östlichen Teil des Nordatlantiks. Bild: Ute Daewel/HZG

Der Kabeljau mag es eher kühl

Der englische Name des Kabeljaus „Atlantic cod“ weist bereits darauf hin, dass das Verbreitungsgebiet des Kabeljaus sehr viel mehr als nur den Nordsee- und Ostseeraum abdeckt. Er bevorzugt kühlere Wassertemperaturen zwischen 0 und 5 °C. Aber man trifft ihn dennoch in einem relativ weiten Verbreitungsgebiet in Zonen mit Wassertemperaturen bis 20 °C und von sehr unterschiedlichem Salzgehalt. Der Lebensraum des Kabeljaus umfasst weite Teile der nordatlantischen Schelfgebiete, einschließlich

der Ostküste Nordamerikas, die Nordsee, die Ostsee und die Barentssee (Abb. 1).

Die Nordsee ist das südlichste und damit auch das wärmste Laichgebiet im östlichen Nordatlantik. Eine Reihe von Studien zeigen, dass unter deutlich wärmeren Klimabedingungen der Kabeljau-Bestand in der Nordsee verschwinden würde (Drinkwater et al., 2005).

Der Lebenszyklus des Kabeljaus: Alles muss passen

Während der Kabeljau in anderen Regionen ein ausgesprochener Wanderfisch ist, bleiben größere Wanderungen des Nordseekabeljaus weitestgehend aus. Zum Laichen wandert der Nordseekabeljau in den Wintermonaten in die etwas tieferen Regionen der südlichen Nordsee.

Auch wenn der Kabeljau einer der fruchtbarsten Fische der Erde ist, so wird nur ein kleiner Bruchteil der durchschnittlich eine Millionen Eier, die jedes Weibchen legt, schließlich nach drei bis vier Jahren das Erwachsenenalter erreichen. Während der frühen Entwicklungsphasen werden die Eier und Larven durch Fressfeinde, Krankheit und Hunger bedroht. Vor allem aber müssen die Umweltbedingungen stimmen, um den Larven und Jungfischen eine für sie günstige Umgebung zu liefern.

Zum Überleben der Kabeljau-Larven trägt unter anderem die sogenannte „Match-Mismatch“-Dynamik zwischen den kleinen Larven und ihren Nahrungsorganismen, dem Zooplankton, bei (siehe Abbildung 2): Die kleinen Larven müssen zur richtigen Zeit am richtigen Ort das richtige Lebensstadium erreicht haben, um auf ihre Nahrungsorganismen zu treffen („Match“). Erreichen sie zu früh oder zu spät ein Entwicklungsstadium, in dem sie dieses bestimmte Futter benötigen oder werden sie durch ungünstige Strömungen aus den produktiven Meeresregionen herausgetrieben, kommt es zu einer „Mismatch“-Situation und die Larven verhungern.

Für den Kabeljau in der Nordsee ist das besonders kritisch, da seine Hauptlaichperiode im Winter liegt. Die Eier und später die Larven driften dann mit den Meeresströmungen und entwickeln sich in Abhängigkeit von der Temperatur. Je wärmer, desto schneller.

Für das Auftreten des Zooplanktons gilt hingegen, dass es der lichtabhängigen Phytoplanktonproduktion folgt und deshalb erst im Frühjahr und Sommer zur Verfügung steht. Sein Auftreten ist daher weniger temperaturabhängig als das Wachstum der kleinen Kabeljaue (Abb.2).

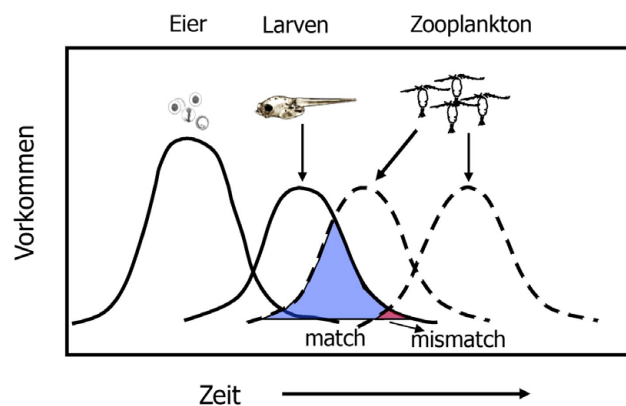


Abb. 2: Die „Match-Mismatch“-Dynamik zwischen Kabeljaularven und ihrer Hauptnahrung, dem Zooplankton. Nur wenn die Larven räumlich und zeitlich mit dem Zooplankton zusammentreffen, haben sie eine Chance zu überleben.

Bild: Ute Daewel/HZG, verändert nach Cushing (1990)

Warum gehen die Kabeljaubestände zurück?

Die intensive Befischung des Kabeljau-Bestandes in der Nordsee bedeutet einen starken Druck auf die Populationen was sich bereits in einem Rückgang bemerkbar macht. Aber auch der Klimawandel hat bereits jetzt einen großen Einfluss auf den Rückgang der Kabeljaupopulation in der Nordsee und dieser Einfluss wird mit den prognostizierten Temperaturerhöhungen des Meerwassers voraussichtlich noch zunehmen.

Welche Ursachen diesen Veränderungen zu Grunde liegen, ist allerdings bisher nicht voll-

ständig geklärt. Besonders schwierig ist, dass viele verschiedene Prozesse zusammenkommen. Dazu gehören Veränderungen im Nahrungsangebot, temperaturbedingte Veränderungen in der Entwicklung und Sterblichkeit der Jungfische, und Veränderungen im Nahrungsnetz. Insbesondere die Wechselwirkungen mit dem Hering, der einerseits vom Kabeljau gefressen wird, und andererseits selbst Jagd auf die Kabeljaularven macht, spielen eine wichtige Rolle.

Der Einfluss des oben beschriebenen Match-Mismatch-Problems kann unter wärmeren Klimabedingungen ebenfalls eine zunehmende Rolle spielen und den Rückgang des Kabeljaus in der Nordsee weiter befördern.

Computer-Simulationsmodelle liefern eine Erklärung für den beobachteten Rückgang

Mit Hilfe mathematischer Modelle lassen sich die vielen verschiedenen Prozesse, die die Population des Kabeljaus bestimmen, beschreiben und analysieren. Das hier eingesetzte Modell ECOSMO-IBM (Daewel et al., 2008) simuliert die Dynamik des Zooplanktons auf der einen Seite und die Entwicklung und Verdriftung von Fischlarven auf der anderen Seite in Abhängigkeit von den Umweltbedingungen, u.a. der Wassertemperatur und Strömungen. Damit kann der potentielle Einfluss von Klimaveränderungen auf das Überleben der Larven untersucht werden.

In einer aktuellen Studie haben wir Simulationen für einen 60-Jahres-Zeitraum (1949–2008) durchgeführt und einen Index zur Überlebenswahrscheinlichkeit der Larven erstellt. Zusätzlich wurden Modellszenarien entwickelt, um den spezifischen Einfluss von einzelnen Parametern und veränderlichen Umweltbedingungen (z.B. Lufttemperatur und Wind) zu untersuchen.

Eine Temperaturerhöhung in der Nordsee, wie in Folge des Klimawandels erwartet, verändert die Gleichgewichtssituation in den Küstengewässern: Die Kabeljaueier und -larven entwi-

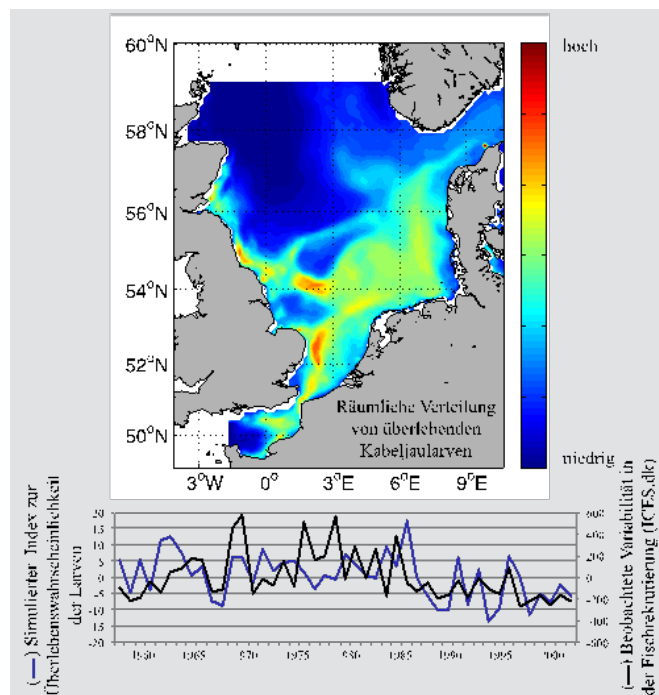


Abb. 3: Ergebnisse aus den Modellsimulationen zum Larvenüberleben

Oben: mittlere räumliche Verteilung der potentiell überlebenden Larven, zu dem Zeitpunkt, an dem sie Zooplankton als Nahrungsquelle benötigen. Man sieht deutlich, dass nur die Larven, die sich in den sehr produktiven Regionen der südlichen Nordsee befinden, überleben können.

Unten: Langzeitvariabilität des simulierten Überlebensindex der Larven und, zum Vergleich, die Variabilität des Rekrutierungserfolges des Kabeljaus (verfügbar vom International Council for the Exploration of the Sea). Bild: Ute Daewel/HZG

ckeln sich schneller. Das führt dazu, dass die Jungfische Nahrung benötigen, bevor die Zooplanktonproduktion in der Nordsee überhaupt begonnen hat.

Zusätzlich sorgen stärkere Westwinde dafür, dass die Tiere aus den sehr produktiven Regionen der südlichen Nordsee heraus in die weniger günstigen Regionen der zentralen und nördlichen Nordsee getrieben werden. Durch die veränderten Umweltbedingungen wird die Überlebenschance der Kabeljaularven also geringer.

Die Langzeitsimulation zeigt (Abb.3), dass es bereits in den 90iger Jahren zu einer signifikan-

ten Abnahme der Überlebensrate während der jüngsten Lebensstadien des Kabeljaus kam. Der direkte Vergleich mit dem Rekrutierungserfolg des Nordseekabeljaus für den gleichen Zeitraum unterstützt die Aussage der Simulationsergebnisse. Der Rekrutierungserfolg ist ein indirektes Maß, wie viele Larven die ersten Lebensstadien überleben. Er wird üblicherweise nicht direkt gemessen, sondern aus Beobachtungen und Populationsmodellen bestimmt.

Der Vergleich zwischen simuliertem Überleben und dem nachträglich abgeschätzten Rekrutierungserfolg zeigt grundsätzlich zwei Dinge. Erstens, die Hypothese, dass das Überleben der jüngsten Lebensstadien eine wesentliche Rolle für den Rekrutierungserfolg spielt, konnte bestätigt werden.

Zweitens zeigte sich aber, dass der Rekrutierungserfolg unter anderen Bedingungen – wie zum Beispiel in den 1980er Jahren – durch das Modell nicht zureichend abgebildet werden konnte. Wenn die Nahrungsverfügbarkeit für die kleinen Larven nicht der entscheidende Prozess fürs Überleben ist, spielen offensichtlich andere Prozesse eine wichtigere Rolle. Das könnte zum Beispiel die Fischerei, durch die die

Laicherbiomasse reduziert wird, oder ein erhöhtes Vorkommen von Fressfeinden (z.B. die Heringe) sein.

Bedeutung für die Biodiversität in Zeiten des Klimawandels

Wie dem Kabeljau, ergeht es auch anderen Fischen, die bereits im Grenzgebiet ihres Toleranzbereiches leben. Zumeist befindet sich das Ökosystem in einem sensiblen Gleichgewicht, in dem „Timing“ eine wichtige Rolle spielt. Lebensformen am Rande ihres Toleranzbereiches haben daher nur wenig Spielraum ihren Lebenszyklus schnellen oder besonders starken Veränderungen der Umweltbedingungen anzupassen und verschwinden daher aus vorher angestammten Lebensräumen.

Um die damit verbundenen Veränderungen in der Biodiversität zu begreifen und/oder vorherzusagen ist es wichtig, die zu Grunde liegenden Prozesse zu verstehen. Simulationsmodelle, wie das hier vorgestellte, können dazu beitragen, solche Prozesse, die sich nicht direkt in der Natur messen lassen, zu identifizieren und ihre Relevanz für Biodiversitätsveränderungen in regionalen Ökosystemen abzuschätzen.

Quellen

- Cushing, D. H. (1990). Plankton Production and Year-class Strength in Fish Populations: an Update of the Match/Mismatch Hypothesis. *Advances in Marine Biology*, 26, 249-293. doi:10.1016/S0065-2881(08)60202-3
- Daewel, U., Peck, M. A., Kühn, W., St. John, M. A., Alekseeva, I. & Schrum, C. (2008). Coupling ecosystem and individual-based models to simulate the influence of environmental variability on potential growth and survival of larval sprat (*Sprattus sprattus* L.) in the North Sea. *Fisheries Oceanography*, 17(5), 333-351. doi:10.1111/j.1365-2419.2008.00482.x
- Daewel, U., Schrum, C. & Gupta, A. K. (2015). The predictive potential of early life stage individual-based models (IBMs): an example for Atlantic cod *Gadus morhua* in the North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 534, 199-219. doi:10.3354/meps11367
- Drinkwater, K. (2005). The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change. *ICES Journal of Marine Science*, 62(7), 1327-1337. doi:10.1016/j.icesjms.2005.05.015
- Hjermann, D., Fisher, J., Rouyer, T., Frank, K. & Stenseth, N. (2013). Spatial analysis of North Sea cod recruitment: concurrent effects of changes in spawning stock biomass, temperature and herring abundance. *Marine Ecology Progress Series*, 480, 263-275. doi:10.3354/meps10315

KLIMAWANDEL BEDINGT ARTENWANDEL

Reis, der Salz und Trockenheit aushält

Autor: Prof. Dr. Peter Nick (Karlsruher Institut für Technologie KIT)

Die Vielfalt der Reisarten stellt eine wichtige Ressource dar. Diese kann genutzt werden, um Reispflanzen zu züchten, die mit den erwarteten Folgen des Klimawandels besser zurechtkommen. So kann die Nahrungsversorgung der wachsenden Menschheit gesichert werden.

- Die Grüne Revolution hat in den letzten fünfzig Jahren den Ertrag pro Fläche verfünffacht.
- Aber dieser Erfolg ist bedroht: Böden verdorren, Wasser wird knapp und Böden werden salzig.
- Weil Reis eine der wichtigsten Nahrungspflanzen darstellt, sollen Sorten gezüchtet werden, die mit trockeneren und salzigeren Böden zurechtkommen.
- Mithilfe von smart breeding ist das möglich – und zwar ohne gentechnische Veränderung.

Was macht Reis so wertvoll? Reis ist nach wie vor die wichtigste Nahrungspflanze auf unserem Planeten. Im Grunde ist der Reisanbau eigentlich eine Erfolgsgeschichte: Das rapide Wachstum der Städte, das Vordringen der Wüsten und das Wachstum der Weltbevölkerung begrenzen die Flächen, die für die Landwirtschaft zur Verfügung stehen. Die Grüne Revolution, mit der die Entwicklung von Hochleistungssorten einherging, hat in den letzten fünfzig Jahren den Ertrag pro Fläche verfünffacht. Damit wurde ein wesentlicher Beitrag zur Ernährungssicherheit geleistet. Doch nach wie vor gibt es Hunger auf dem Planeten. Die Ursachen dafür liegen nicht so sehr in der Landwirtschaft, sondern mangelnder Verteilungsgerechtigkeit, globalen Wirtschaftsstrukturen sowie politischen Konflikten begründet.

Der unbestrittene Erfolg der Grünen Revolution ist zunehmend bedroht: Überstrapazierte Böden verdorren, wertvolles Trinkwasser wird für die intensive Landwirtschaft gebraucht und Böden werden zunehmend salzig. Gleichzeitig sind die überfluteten Reisfelder eine wichtige Quelle für das Treibhausgas Methan, das den Klimawandel beschleunigt. Bei unseren Forschungen am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) geht es darum, die lebenswichtige Ressource Wasser sparsamer einzusetzen. Ziel

ist, neue Sorten zu züchten, die besser mit Trockenheit und salzigen Böden zurechtkommen und dennoch Ertrag bringen. Man fasst das unter dem Schlagwort „yield under stress“ zusammen.

Mithilfe unserer Sammlung von Reismutanten konnten wir am KIT zeigen, dass die Steuerung des zentralen Stressfaktors Jasmonsäure darüber entscheidet, ob eine Pflanze mit Trocken- und Salzstress zurechtkommt oder aber die Waffen streckt. Für eine erfolgreiche Anpassung kommt es aber nicht nur darauf an, dass der Jasmonat-Signalweg zum richtigen Zeitpunkt angeschaltet wird. Er muss zudem auch rechtzeitig wieder ausgeschaltet werden, weil sonst die Pflanze Schaden nimmt.

Im Grunde ist es recht ähnlich wie bei der menschlichen Abwehr: wenn wir Fieber bekommen, ist das eigentlich etwas Gutes. Wenn das Fieber aber nicht mehr sinkt, dann kann das lebensbedrohlich werden. Gemeinsam mit dem International Rice Research Institute (IRRI) in Los Baños auf den Philippinen untersuchten wir Mutanten, bei denen das Stress-Hormon Jasmonsäure – das „Adrenalin der Pflanze“ – nicht gebildet wird, und die überraschenderweise besser mit Dürre zurechtkommen als normale Reispflanzen.

Wir entdeckten Gene, die dazu beitragen, dass Reis in Stress-Situationen „einen kühlen Kopf“ behält und daher Trockenheit und Versalzung besser erträgt. Mit diesem Wissen kann man durch sogenanntes „smart breeding“ schneller vielversprechende Kandidaten für die Züchtung identifizieren. Smart breeding heißt übersetzt Präzisionszucht. Dabei wird im Falle von stressresistentem Reis in alten Landrassen oder sogar wilden Verwandten nach günstigen Versionen dieser Gene gesucht und diese dann in die Hohertragssorten eingekreuzt.

Vorteil dieses Verfahrens: Es entstehen keine gentechnisch veränderten Sorten, in die artfremde Gene eingeführt würden, und die daher in vielen Ländern gar nicht angebaut werden dürfen. Da man beim „smart breeding“ ausschließlich innerhalb der natürlichen Artgrenzen bleibt, können die so erzeugten Pflanzen weltweit ohne Auflagen angebaut werden.

Da man die molekularen Eigenschaften dieser aus alten Sorten stammenden Gene genau kennt, kann man diesen Prozess heute viel effizienter gestalten als früher, weil man schon im

” Beim smart breeding bleibt man in den natürlichen Artgrenzen, die so erzeugten Pflanzen können weltweit ohne Auflagen angebaut werden.

Keimlingsstadium mithilfe einer sogenannten Polymerase-Kettenreaktion feststellen kann, welches Pflänzchen die richtige Kombination von Genvarianten geerbt hat. Die nächste Etappe ist nun, in einer konzertierten Aktion von Forschungsgruppen am KIT, dem International Rice Research Institute auf den Philippinen und Gruppen in Japan und Myanmar die Stress-Resistenz einer für Myanmar wichtigen Reissorte zu verbessern. Reis ist eine der wichtigsten Nahrungspflanzen der Menschheit. Daher ist es besonders wichtig, ihn rechtzeitig auf den Klimawandel vorzubereiten.

Quellen

- Hazman, M., Hause, B., Eiche, B., Riemann, M. & Nick, P. (2016). Different forms of osmotic stress evoke qualitatively different responses in rice. *Journal Plant Physiology*, 202, 45-56. doi:10.1016/j.jplph.2016.05.027
- Peethambaran, P. K., Glenz, R., Höninger, S., Islam, S., Hummel, S., Harter, K., Kolukisaoglu, Ü., Meynard, D., Guiderdoni, E., Nick, P. & Riemann, M. (2018). Salt-inducible expression of OsJAZ8 improves resilience against salt-stress. *BMC Plant Biology*, 18:311. doi:10.1186/s12870-018-1521-0

KLIMAWANDEL BEDINGT ARTENWANDEL

Stressresistente Weinreben: Signale verstehen statt Gift verspritzen

Autor: Prof. Dr. Peter Nick (Karlsruher Institut für Technologie KIT)

Genetische Vielfalt bildet die Grundlage für eine nachhaltige Landwirtschaft der Zukunft. Mithilfe modernster Chiptechnologie lassen sich Methoden entwickeln, um Weinreben fit für den Klimawandel zu machen und gegen Pilzbefall zu schützen, ohne Fungizide einzusetzen. Biodiversität erweist sich dabei als wichtige Ressource.

- Die Evolution ist ein beständiger Such- und Optimierungsprozess der Natur, durch den sich Organismen und Ökosysteme an veränderte Umweltbedingungen anpassen können.
- Aber industrialisierte Landwirtschaft, extreme Monokultur, Bodenverbrauch, Klimawandel und Überbevölkerung höhlen die genetische Diversität unserer Kulturpflanzen aus.
- Unter den Bedingungen des Klimawandels (mehr Stress) führt das zu Anfälligkeiten der Kulturpflanzen auch im Weinbau.
- Biodiversität erweist sich dabei als eine wichtige Ressource, um mittels neuer Methoden eine Schutzimpfung für Rebstöcke zu entwickeln.

Biodiversität schützen – Biodiversität nutzen

Die Evolution führt zu einer unglaublichen Vielfalt des Lebens. Sie ist ein beständiger Such- und Optimierungsprozess der Natur, durch den sich Organismen und Ökosysteme an veränderte Umweltbedingungen anpassen können. Die Menschen haben seit Beginn ihrer Geschichte von der Vielfalt des Lebens profitiert. Sie sind selbst Teil dieser evolutionären Vielfalt und haben sie mit ihren zahllosen Kulturformen sogar noch bereichert.

Inzwischen jedoch ist diese Vielfalt bedroht: Industrialisierte Landwirtschaft, extreme Monokultur, Bodenverbrauch, Klimawandel und Überbevölkerung haben die genetische Diversität unserer Kulturpflanzen stark ausgehöhlt. Viele wilde Verwandte unserer Kulturpflanzen, aber auch alte Landrassen, sind bereits verschwunden. Dem dürfen wir nicht achselzuckend zusehen; denn diese genetische Vielfalt bildet die Grundlage für die nachhaltige Landwirtschaft der Zukunft. Das Botanische Institut

des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) arbeitet daran, diese evolutionär entstandene Vielfalt zu schützen und zu nutzen. Dabei kommen auch in interdisziplinärer Zusammenarbeit mit den Ingenieurwissenschaften entstandene Techniken zum Einsatz. Im Zentrum der Forschung stehen die Nutzpflanzen Weinrebe und Reis.

Signale statt Gift: neue Konzepte für nachhaltigen Pflanzenschutz

Wie funktioniert industrielle Landwirtschaft heute? Genetisch homogene Pflanzen werden in Monokultur angezogen – außerhalb jeglichen ökologischen Zusammenhangs und darum evolutionär nicht stabil. Um die agrarische Produktivität zu sichern, wirtschaften viele Landwirte im Rahmen einer hoch standardisierten Umwelt: Sättigender Nährstoffeintrag (Mineraldünger), Unterdrückung von Konkurrenten durch Herbizide und die Reduktion von Parasiten durch Fungizide oder Insektizide, mit entsprechenden Folgen. Dies belastet sowohl den Geldbeutel als auch die Umwelt. Zusam-

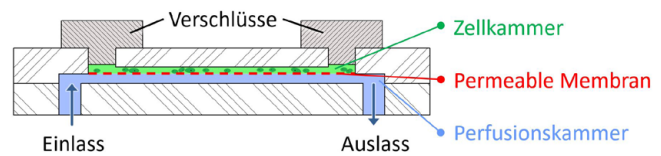
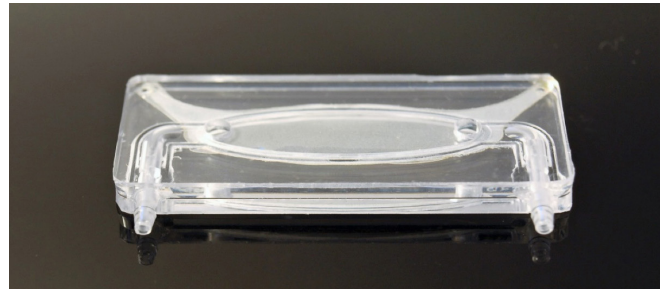
menfassend lässt sich sagen: Die industrielle Landwirtschaft ignoriert die Evolution – und dies führt zunehmend zu Problemen.

So ruft die industrielle Landwirtschaft neue Krankheitsbilder auf den Plan. Im Weinbau etwa richtet das sogenannte Esca-Syndrom, das in den letzten Jahren immer mehr um sich gegriffen hat, gewaltige Schäden an. In Frankreich sind schon 15 Prozent, in Italien sogar fast 30 Prozent der Rebflächen betroffen. Auslöser sind holzbesiedelnde Pilze, wie sie im Innern eines jeden Rebstocks als harmlose „Mitesser“ zu finden sind.

Gerät die „Wirtspflanze“ unter Stress, was im Sommer 2018 infolge der extremen Trockenheit häufig auftrat, machen diese Pilze eine Verhaltensänderung durch. Die normalerweise harmlosen „Mitesser“ werden zu gefährlichen Killern. Sie beginnen, hochpotente Toxine zu bilden, sodass der Rebstock binnen weniger Tage abstirbt. Und das gerade dann, wenn er für den Weinbauern am produktivsten wäre. Dann bleiben nur noch Rodung und Neube-pflanzung, was einen Ernteausfall von über zehn Jahren nach sich zieht.

Aber die Natur hält durchaus Mittel bereit, die dazu beitragen können, Schäden zu vermeiden, die aus der Standardisierung der Umwelt erwachsen. Denn das Leben basiert auf der Kommunikation mittels Signalen. Dabei kann jedes Molekül ein Signal sein, wenn es Information überträgt. Wie von Karl Bühler in seiner Organontheorie (1934) bereits dargelegt, hängt Information vor allem von einem gemeinsamen Kontext zwischen Sender und Empfänger ab.

Auf die Biologie übertragen bedeutet „Kontext“ folglich, dass es eine gemeinsame evolutionäre Geschichte gegeben hat. Wenn man diese Signale kennt, kann man versuchen, diesen Kontext so zu verändern, dass beide Seiten friedlich koexistieren, so wie es die Esca-Pilze und der Weinstock unter normalen Umständen auch tun.



Oben: Ein mikrofluidisches Chipsystem dient als Forschungsinstrument, um die Kommunikation zwischen Pflanze und Pilz zu analysieren.

Unten: Schematische Zeichnung zur Funktion eines Mikrochips. Foto: Tim Finkbeiner, IMT/KIT

Weinreben fit für den Klimawandel machen

Am KIT versuchen wir daher, diese Signale zu identifizieren. Gemeinsam mit dem Institut für Mikrostrukturtechnologie (AG Guber, KIT Campus Nord) wurde ein Chip entwickelt, auf dem man Pflanzenzellen kultivieren kann. In diese Zellen wurde ein Genschalter eingebaut, der immer dann aktiv wird, wenn das Immunsystem der Zelle angeschaltet wird. Der Schalter beginnt dann, ein fluoreszierendes Protein zu produzieren, das sich nachweisen lässt. Diesen Chip bauen wir zu einem kleinen „Ökosystem“ um, wobei wir die Pflanzenzellen gemeinsam mit den Zellen verschiedener Esca-Pilze kommunizieren lassen.

Wenn nun ein Pilz allein oder in Kombination mit anderen Pilzen die Immunität der Pflanze aktiviert, dann lassen sich die chemischen Signale, mit denen dieser Pilz versucht, die pflanzliche Zelle zu manipulieren, auffangen und identifizieren. Ziel ist es, auf der Grundlage solcher Signale gleichsam eine Art „Schutzimpfung für den Weinberg“ zu entwickeln und so

die Weinrebe gegen den Klimawandel zu wappnen, ohne auf den Einsatz von Fungiziden angewiesen zu sein.

Für das Projekt stehen 30.000 Pilzstämme zur Verfügung, die Gene für sehr viele Sekundärkomponenten enthalten, womit Pilze ihre Wechselwirkung mit anderen Organismen (zum Beispiel mit Konkurrenten) steuern. Diese Biodiversität ist Produkt eines evolutionären Evolutionsprozesses und daher über lange Zeit unter verschiedenen Bedingungen optimiert und erprobt. Mithilfe des Chips wird es nun möglich, diesen natürlich entstandenen „Werkzeugkasten“ für die nachhaltige Landwirtschaft nutzbar zu machen.

Der Chip hilft also dabei, die Biodiversität der Pilze nutzbar zu machen: auf der Grundlage der so neu entdeckten chemische Signale kann man dann versuchen, die gestörte Kommunikation zwischen Pilz und Pflanze wieder ins Lot zu bringen, also „kommunizieren statt vergiften“. Dies wurde ab Juli 2019 im Rahmen des im von Interreg Oberrhein geförderten internationalen und interdisziplinären Netzwerks Dialog-ProTec verfolgt. Ziel ist es, bis 2022 mit ersten Feldversuchen beginnen zu können.

Quellen

- Maisch, J., Kreppenhofer, K., Büchler, S., Merle, C., Sobich, S., Görling, B., Luy, B., Ahrens, R., Guber, A. E. & Nick, P. (2016). Time-resolved NMR metabolomics of plant cells based on a microfluidic chip. *Journal of plant physiology*, 200, 28-34. doi:10.1016/j.jplph.2016.06.004
- Rajabi, T., Ahrens, R., Huck, V., März, M., Schneider, S. W., Schrotten, H. & Guber, A. (2015). Untersuchung des endothelialen Wachstums innerhalb eines mikrofluidischen Systems zur Nachbildung physiologischer Barrieren mit integrierter Sensorik. In VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik, Mikrosystem- und Feinwerktechnik (GMM) (Hrsg.), *MikroSystemTechnik. Kongress 2015. MEMS, Mikroelektronik, Systeme. 26.-28. Oktober 2015 in Karlsruhe* (S. 58-61). Berlin-Charlottenburg, Germany: VDE-Verlag.

4. Nährstoffüberschüsse für Organismen höchst problematisch

Einleitung

Der Einfluss des Menschen auf Biodiversität zeigt sich insbesondere beim Thema Nährstoffeintrag und Landwirtschaft. Die Überdüngung und der anhaltend hohe Nitrat- und Phosphoreintrag haben zum Teil gravierende Folgen in den Gewässern und an Land. Nährstoffe gelangen diffus über das Grundwasser, über Flüsse und die Atmosphäre auch in die Küstengewässer. Viele Organismen sind an diese Nährstofffülle nicht hinreichend angepasst. Im Meer kommt es zu Algenblüten und sauerstofffreien Zonen. Seegrass erweist sich bei der Feststellung der Gewässergüte dabei als eine erstaunlich wichtige Pflanze.

Wir fragen daher auch, ob eine ökologisch ausgerichtete Landwirtschaft eine echte Alternative sein kann und wie die besonders artenreiche Kulturlandschaft, das Grünland, besser geschützt werden könnte.

Themen-Überblick

- ▶ Überdüngung von Gewässern macht Mikroorganismen zu schaffen
- ▶ Ein Zuviel an Nährstoffen in der Ostsee
- ▶ Nitrat in der Nordsee – auf die richtige Balance kommt es an
- ▶ „Mehr ist besser“ – Seegrass als Indikator für den Zustand von Küstengewässern
- ▶ Tagfalter als Indikatoren für den Biodiversitätsverlust im Grünland
- ▶ Nutrient Network – ökologische Forschung für Grasländer neu denken

NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSE FÜR ORGANISMEN HÖCHST PROBLEMATISCH

Überdüngung von Gewässern macht Mikroorganismen zu schaffen

Autorin: Dr. Tina Sanders (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung HZG)

Von den intensiv bewirtschafteten Äckern und Feldern gelangt Stickstoff in rauen Mengen in Gewässer und in die Mündungsgebiete von Flüssen, den sogenannten Ästuaren. Verlierer dieser Überdüngung sind Mikroorganismen, die mit der bisherigen Nährstoffarmut gut zurechtkamen. Die Überdüngung ändert die mikrobielle Diversität in den Mündungsgebieten und Küstengewässern.

- Mikroorganismen schließen mit ihrem Stoffwechsel alle Kreisläufe in der Umwelt.
- Den Stickstoffkreislauf hat der Mensch durch die Erfindung des Mineraldüngers stark verändert, plötzlich liegt Stickstoff im Überschuss vor.
- Die Diversität der Mikroorganismen geht zurück, denn auf das unnatürliche Stickstoff-Überangebot sind viele dieser Organismen nicht eingestellt.

Alle Stoffkreisläufe der Erde basieren auf Mikroorganismen. Dazu zählen Bakterien, Archaeen und einzelligen Eukaryoten. Mikroorganismen sind, so könnte man behaupten, die wahren HerrscherInnen der Welt. Häufig werden sie verkürzend dem Reich der sogenannten Zersetzer eingeordnet, in der Fachsprache Destruenten genannt. Sie scheinen lediglich die Aufgabe wahrzunehmen, den Abfall der höheren Organismen abzubauen und wieder frische Nährstoffe als Grundlage für andere Stoffwechselprozesse zur Verfügung zu stellen.

Mikroorganismen schließen aber mit ihrem Stoffwechsel alle Kreisläufe in der Umwelt. Sie können Kohlendioxid (CO₂) nutzen und auch bilden; sie bauen Biomasse auf und wieder ab. Der gesamte Stickstoffkreislauf kann ausschließlich von Einzellern bewältigt werden. Mit anderen Worten, wir brauchen die Mikroorganismen, aber die Mikroorganismen brauchen weder höheren Pflanzen, Tieren noch uns Menschen.

Gravierende Eingriffe des Menschen in den Stickstoffkreislauf

Gerade im Stickstoffkreislauf hat der Mensch durch die Erfindung des Mineraldüngers die Verhältnisse stark verändert. Mit dem sogenannten Haber-Bosch-Verfahren, bei dem industriell mit viel Energie und hohem Druck, Luftstickstoff zu Ammonium umgewandelt wird, wird dieser Dünger hergestellt. Der Eingriff in die natürlichen Verhältnisse ist hier sogar noch höher als beim Ausstoß von Klimagasen und dem Klimawandel einzuschätzen, die schiere Masse an Kunstdünger übersteigt die natürlichen Vorkommen deutlich.

Die natürliche Fixierung des Luftstickstoffes im Boden erfolgt hauptsächlich durch speziell angepasste Mikroorganismen, die meist in Symbiose mit Pflanzen wie Klee als sogenannte Knöllchenbakterien vorkommen. Durch den Menschen wird jedes Jahr die gleiche Menge, die biologisch fixiert wird, noch mal zusätzlich als Kunstdünger auf die Felder gebracht.

Der natürliche Kreislauf kommt dadurch durcheinander und Stickstoff liegt plötzlich im Überschuss vor, anstatt ein limitierender Faktor für das Wachstum zum Beispiel von Pflanzen zu sein, an den sich im Laufe der Evolution viele Organismen angepasst haben. Die natürlichen Stickstofffixierer, die viel Energie zur Fixierung aufbringen müssen, haben keinen Nutzen mehr; ihr evolutionärer Vorteil geht folglich verloren, ihre optimale physiologische Anpassung bringt unter diesen nährstoffreichen Bedingungen keinen Wettbewerbsvorteil mehr mit sich. Damit geht auch die Diversität der Mikroorganismen zurück.

Nützliche Mikroorganismen

Wichtige Quellen des Stickstoffes sind für uns Menschen Proteine. Mikroorganismen nehmen Ammonium oder Nitrat – beides sind Formen des Stickstoffs – auf und bilden daraus ihre eigenen Proteine. Um Ammonium in Nitrat umzuwandeln, gibt es eine ganz spezielle Gruppe von Mikroorganismen, die Nitrifikanten. Sie wurden schon am Ende des vorletzten Jahrhunderts entdeckt und beschrieben. Sergei Nikolajewitsch Winogradsky war einer der ersten Mikrobiologen, dem dies gelang.

Die von ihm entdeckten, nützlichen Mikroorganismen sind überall zu finden – im Boden, im Wasser, an heißen Quellen, in der Arktis, im Meer, auf der Haut usw. Nitrifikanten werden in Klärwerken und Biofiltern aktiv genutzt, um Abwasser zu reinigen. Diese Mikroorganismen kommen in kalten und warmen, in sauren, salzigen und süßen Milieus zurecht. Manche bevorzugen hohe Konzentrationen solcher Umgebungsparameter, manche niedrige. Wenn es jedoch durch die Einbringung von Kunstdünger oder anderen natürlichen Düngern wie Gülle einen dauerhaften Überfluss an Nahrung gibt, verschwinden solche Mikroorganismen, die an nahrungsarme Umgebungen angepasst sind.

Für Böden ist dieses Phänomen schon lange bekannt: Je länger und häufiger Böden gedüngt werden, also intensive Landwirtschaft betrieben wird, umso mehr wird die globale

Biodiversität beeinträchtigt. Bei intensiver Düngung und Einsatz von Pestiziden nimmt die Vielfalt und Anzahl von Bodenbakterien ab. Bei eher biologischen Abbauverfahren ändert sich die Vielfalt von Bodenbakterien und auch der Nitrifikanten wieder.

„ Bei intensiver Düngung und Einsatz von Pestiziden nimmt die Vielfalt und Anzahl von Bodenbakterien ab.

Wie gelangt Stickstoff ins Meer?

Ein nicht unerheblicher Teil des gedüngten Stickstoffes wird ins Grundwasser oder in kleine Gräben am Feldrand ausgewaschen und gelangt damit früher oder später über die Flüsse in die Küstengewässer. Dort stellt dieser zusätzliche Stickstoff wiederum ein Überangebot da. Algen und andere Pflanzen zögern nicht lange, sondern nehmen auch diesen Nährstoff auf und vermehren sich dann unnatürlich stark. Es kommt zu Algenblüten und in Folge dessen zur Sauerstoffverknappung im Wasser. In diesen Sauerstoffminimumzonen kann es zu Fischsterben und starken Emissionen von Treibhausgasen wie Methan und Lachgas kommen. In den Medien lesen wir dann davon, dass der Elbe oder Ostsee die Luft ausgeht.

Aber auch in den Küstengewässern finden wir Nitrifikanten, denn auch hier besetzen sie unterschiedliche Nischen. Einige vertragen zum Beispiel die wechselnde Salzkonzentration in einem Mündungsgebiet von Nord- oder Ostsee, wie zum Beispiel, *Nitrosomonas estuarii*, andere sind entweder an Süß- oder Salzwasser angepasst. Nur wenige können mit hohen Nährstoffangeboten umgehen, einige sind damit gänzlich überfordert. Wenn aber ein dauerhaftes Überangebot vorliegt, haben diejenigen Nitrifikanten, die an niedrige Nährstoffkonzentrationen angepasst sind, keine Chance, dazu gehören zum Beispiel die Ammoniak-oxidieren-

den Archaeen, wie der *Nitrosopumilus maritimus* die evolutionsbiologisch deutlich älter sind und vor allem in den Ozeanen vorkommt.

Um zu verstehen, wie sich die Diversität der Mikroorganismen in den Küstengewässern oder anderen Lebensräume verändert, muss zunächst der Ist-Zustand untersucht werden. Dafür muss letztlich die ganze Welt in Bezug auf ihre Mikroorganismenvielfalt untersucht wer-

den. Eine bislang fast vollständig übersehene Region ist die Arktis – eine Region, die sowohl von der Erderwärmung als auch vom erhöhten Nährstoffeintrag bedroht wird. Aber auch vor der Haustür, in der Elbmündung, wissen wir nicht genau, welche Mikroorganismen vorhanden sind und was sie tun. Ändert sich auch ihre Vielfalt mit steigendem Nährstoffangebot? Hier besteht noch erheblicher Forschungsbedarf.

Quellen

- Alawi, M., Lipski, A., Sanders, T., Pfeiffer, E. M. & Spieck, E. (2007). Cultivation of a novel cold-adapted nitrite oxidizing betaproteobacterium from the Siberian Arctic. *The ISME Journal*, 1, 256-264. doi:10.1038/ismej.2007.34
- Hartmann, M., Frey, B., Mayer, J., Mäder, P. & Widmer, F. (2014). Distinct soil microbial diversity under long-term organic and conventional farming. *The ISME Journal*, 9, 1177-1194. doi:10.1038/ismej.2014.210
- Malard, L. A. & Pearce, D. A. (2018). Microbial diversity and biogeography in Arctic soils. *Environmental Microbiology Reports*, 10(6), 611-625. doi:10.1111/1758-2229.12680
- Prosser, J. I. (2011). Soil Nitrifiers and Nitrification. In B. B. Ward, J. A. Daniel & M. G. Klotz (Hrsg.), *Nitrification* (S. 347-384). Washington, DC, USA: ASM Press. doi:10.1128/9781555817145.ch14
- Sanders, T. & Laanbroek, H. J. (2018). The distribution of sediment and water column nitrification potential in the hyper-turbid Ems estuary. *Aquatic Sciences*, 80(4):33, 1-13. doi:10.1007/s00027-018-0584-1
- Shun, H., Luyang, Z., Xuesong, L., Xiang, X., Shilin, W., Boren, W., Wenli, C. & Qiaoyun, H. (2018). Shifts in Nitrobacter- and Nitrospira-like nitrite-oxidizing bacterial communities under long-term fertilization practices. *Soil Biology and Biochemistry*, 124, 118-125. doi:10.1016/j.soilbio.2018.05.033
- Steffen, W., Persson, Å., Deutsch, L., Zalasiewicz, J., Williams, M., Richardson, K., Crumley, C., Crutzen, P., Folke, C., Gordon, L., Molina, M., Ramanathan, V., Rockström, J., Scheffer, M., Schellnhuber, H. J. & Svedin, U. (2011). The Anthropocene: From Global Change to Planetary Stewardship. *AMBIO*, 40(7), 739-761. doi:10.1007/s13280-011-0185-x
- Winogradsky, S. (1890). Recherches sur les Organismes de la Nitrification. *Ann Inst Pasteur*, 4, 213-231, 257-275, 760-771.

NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSE FÜR ORGANISMEN HÖCHST PROBLEMATISCH

Ein Zuviel an Nährstoffen in der Ostsee

Interview mit Prof. Dr. Martin Wahl (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Über die Atmosphäre, unsere Flüsse und Bäche, aber auch diffus über das Grundwasser gelangen Nährstoffe in die Ostsee. Der Dünger aus der intensiven Landwirtschaft düngt also auch indirekt die Ostsee. Vor allem kleine filamentöse Algen, die schnell wachsen, profitieren vom Nährstoffeintrag. Sauerstoffmangel und das Absterben von wichtigen Strukturbildnern wie Seegräsern und Makroalgen ist eine Folge. Im Interview erläutert Prof. Dr. Martin Wahl, welche Konsequenzen die Überdüngung hat und was man dagegen tun könnte.

Welches sind die aus Ihrer Sicht drängendsten Probleme für marine Ökosysteme?

Prof. Wahl: Erwärmung ist überall ein ganz wichtiger Faktor. Die Anreicherung von Kohlendioxid und anderen klimawirksamen Gasen führt einerseits zur Erwärmung der Atmosphäre und natürlich auch mit einer gewissen Verzögerung zu einer Erwärmung des Meerwassers. Andererseits führt Kohlendioxid im Wasser zu einer Versauerung. Wenn Sie sich jedoch die Ostsee anschauen, dann ist die Überdüngung eigentlich genauso bedeutend wie die Erwärmung. Wenn Sie ins östliche Mittelmeer gehen, sind es die invasiven Arten, die nun die Gemeinschaften umstrukturieren. Wenn Sie sich die Korallenriffe anschauen, dann dominiert natürlich die Erwärmung als drängendstes Problem, weil dort alle Organismen bereits an ihrer thermischen Obergrenze sind.

Was bewirkt Überdüngung?

Prof. Wahl: Überdüngung ist eine Anreicherung an Nährstoffen, die vor allem von Algen benutzt werden - sowohl Planktonalgen wie auch benthischen Algen (*Anm. d. Red.: benthisch: am Meeresboden wachsend*). Bei den benthischen Algen gibt es die kleinen, schnellwüchsigen Algen, die ganz besonders vom Nährstoffüberschuss profitieren. Sie sind im Gegensatz zu den Seegräsern und Makroalgen darauf angewiesen, jeden Tag eine gewisse Konzentration Nährstoffe über das Wasser zu erhalten. Diese kleinen filamentösen Algen bilden dann eine

moos- bzw. flechtenartige Schicht auf den langlebigen Primärproduzenten wie Seegras oder Makroalgen. Wir nennen das Aufwuchs. Größere, langsam wachsende Algen leiden also indirekt, weil sie überwachsen werden. Sie „ersticken“ sozusagen an Lichtmangel und kommen ironischerweise nicht mehr an die Nährstoffe, weil diese schon vorher von den kleinen, feingliedrigen Algen aufgenommen wurden.

Ein erhöhter Eintrag von Nährstoffen führt häufig zu Sauerstoffmangel im Wasser. Wie kommt dieser Sauerstoffmangel zustande?

Prof. Wahl: Sauerstoffmangel ist eine kombinierte Folge von Überdüngung und Erwärmung. Die Erwärmung führt dazu, dass zumindest in den Sommermonaten das Wasser geschichtet ist und sich die Algenblüten, die sich an der Oberfläche bilden, nach Aufzehrung der Nährstoffe absterben und unter die thermische Grenzschicht sinken und am Meeresboden remineralisiert, das heißt von Bakterien zersetzt werden. Die Bakterien verbrauchen bei dieser Aktivität Sauerstoff. Der Sauerstoff wird von der Wasseroberfläche jedoch nicht mehr nachgeliefert, weil das Wasser geschichtet ist. Das ist ein Wechselspiel zwischen zwei Stressoren.

Das führt dazu, dass zumindest in den Sommermonaten auch im flachen Wasser – also in 10 bis 15 Metern Tiefe – der Sauerstoff abnimmt. Wenn wir dann ein Auftriebsereignis haben, wenn also die Winde das oberflächliche Wasser von der Küste wegschieben und so das

Tiefenwasser hochgezogen wird, dann kann innerhalb von Stunden selbst im flachsten Wasser, sprich in einem Meter Tiefe, der Sauerstoff weg sein. Das ist natürlich absolut katastrophal für die Organismen, die da leben.

Welche Organismen reagieren bei Sauerstoffmangel besonders empfindlich?

Prof. Wahl: Fische sind auf jeden Fall empfindlich. Im September 2017 hatten wir ein Ereignis, das nur 2–3 Tage dauerte, aber die ganzen Strände waren voller toter Fische. Krebse sind auch sehr empfindlich, sogar Algen sind es, obwohl sie ja ironischerweise den Sauerstoff produzieren sollten. In der Nacht jedoch verbrauchen sie Sauerstoff. Wenn dieser nicht da ist, dann leiden auch Algen darunter. Es gibt also kaum Arten, die mit Sauerstoffmangel über einen längeren Zeitraum zurechtkommen können.

Warum hat man nach all den Jahrzehnten der Untersuchung und des Monitorings in der Ostsee, den Eintrag von Nährstoffen noch nicht in den Griff bekommen?

Prof. Wahl: Ich muss gestehen, dass ich da ein bisschen frustriert bin, denn wir haben seit wirklich vielen Jahrzehnten hinreichend Kenntnisse über die Auswirkungen der Nährstofffracht, die ins Meer geleitet werden und wir wissen auch, dass diese Nährstofffracht schlimme Auswirkungen hat. Es führt zu unkontrollierten Planktonblüten oder auch zur Ausbreitung von Pathogenen. Es führt zur Überwucherung von Großalgen im Meer. Und letztendlich – die vielleicht heftigste Störung – ist der Sauerstoffmangel, der sich in der Ostsee massiv ausbreitet und ohne Sauerstoff ist Leben sehr schwierig.

Wie gelangt Phosphor oder das Nitrat in die Ostsee?

Prof. Wahl: Hier gibt es mehrere Wege. Einerseits gelangen die Nährstoffe über die Atmosphäre ins Wasser und auch sehr stark über Flüsse und Bäche. Und mindestens genauso stark, aber völlig unkontrolliert und oft auch

nicht untersucht über diffuses Grundwasser, welches an der ganzen Küste mit lokalen Schwerpunkten in die Ostsee strömt und mit Nitraten angereichert ist, zum Teil eben sehr hoch angereichert. Wir machen uns sogar auf EU-Ebene strafbar, weil wir nichts gegen diese Nitratanreicherung im Grundwasser tun.

Kommt es auf das Management an? Müssen wir unsere Flussufer besser managen?

Prof. Wahl: Man kann durch das Management von Flussufern wenig dagegen tun. Es ist einfach so, dass unsere Landwirtschaft eine Hochleistungslandwirtschaft geworden ist. Es kommt nur noch darauf an, wie viel Gewinn man pro Hektar machen kann. Da ist es natürlich eine große Verlockung, diesen Erträgen mit Düngung nachzuhelfen. Außerdem haben viele Landwirte, die Viehwirtschaft betreiben, das Problem, dass sie nicht wissen wohin mit der Gülle. Da liegt es nahe, die Gülle auf die Felder zu werfen, weil das ja auch einen düngenden Effekt hat. Jedoch wird nur ein gewisser Prozentsatz von den Pflanzen aufgenommen, der Rest geht ins Grundwasser oder in oberflächennahe Gewässer wie Bäche oder Flüsse.

Wären Sie Küstenmanager, was wären für Sie die ersten Maßnahmen zur Verringerung der Einträge von Nährstoffen?

Prof. Wahl: Es gibt ja eine Grüne Landwirtschaft, die mit deutlich weniger Dünger auskommt. Wenn man diese fördern könnte, sie eventuell subventionieren könnte, es also attraktiver macht für die Landwirte von traditionell zu grün zu wechseln, dann wäre das schon sehr hilfreich. Wenn die Nährstoffe einmal im Boden oder im Wasser sind, ist es wahnsinnig schwierig oder aufwendig, sie wieder herauszuholen.

Eine Möglichkeit, die wir mal durchgerechnet haben, sind großflächige Algenkulturen – in der Ostsee zum Beispiel. Hier wurden einige hundert Hektar Wasseroberfläche mit Großalgen beimpft, die dann heranwachsen und dann natürlich die Nährstoffe binden. Diese kann man

dann herausnehmen und zum Beispiel in eine Biogasanlage tun. Dann sind die Nährstoffe wieder an Land. Das scheint attraktiv zu sein, es gibt schon Firmen, die sich dafür interessiert haben; unsere Politik allerdings noch gar nicht. Es scheint auch wirtschaftlich zu sein, zumindest gibt es diese Chance, aber es wird leider nicht probiert. Nicht bei uns jedenfalls, in Schweden schon.

Vielen Dank für das Gespräch.

Das Interview führte Jana Kandarr (ESKP).

Eutrophierung: Die Rolle von Nährstoffen an der Küste

Pflanzennährstoffe wie Stickstoff und Phosphor sind wichtige Bestandteile aller Lebewesen. Ein Zuviel davon kann zu übermäßigem Algenwachstum und damit zu ernstesten Umweltproblemen wie Artenschwund oder Sauerstoffmangel führen. Im Wattenmeer stiegen die Nährstoffkonzentrationen seit Mitte des 20. Jahrhunderts stark an. Das führte zu einem vermehrten Algenwachstum im Wasser, massiven Grünalgenmatten auf den Wattflächen, einer Abnahme von Seegras und zu Sauerstoffproblemen in der Deutschen Bucht. Politische Maßnahmen führten zu einer Halbierung der Nährstofffrachten seit 1985 und zu einer deutlichen Erholung des Wattenmeeres. Damit gehört die Nährstoffproblematik aber noch nicht der Vergangenheit an: Im Grundwasser vieler Gebiete mit intensiver landwirtschaftlicher Nutzung überschreiten die Nitratkonzentrationen europäische Grenzwerte. Erhöhte Nährstoffkonzentrationen in Flüssen und Seen stimulieren üppiges Wachstum von manchmal sogar giftigen Algen. Infolge der Algenblüten kann – wie im Hamburger Hafengebiet – Sauerstoffmangel entstehen.

Die „Schlaglichter“ des Helmholtz-Zentrum Geesthacht erklären verständlich wichtige Themen der Forschung am Institut für Küstenforschung, wie zum Beispiel Schiffsemissionen, langlebige Schadstoffe oder auch Eutrophierung. Ein wichtiger Aspekt der Arbeit der Wissenschaftler*innen ist die Forschung an den Stoffkreisläufen im Küstenmeer. Aus den Schlaglichtern ist ein direkter Zugang auf die Daten und Visualisierungen der coastMap-Arbeiten möglich.

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-

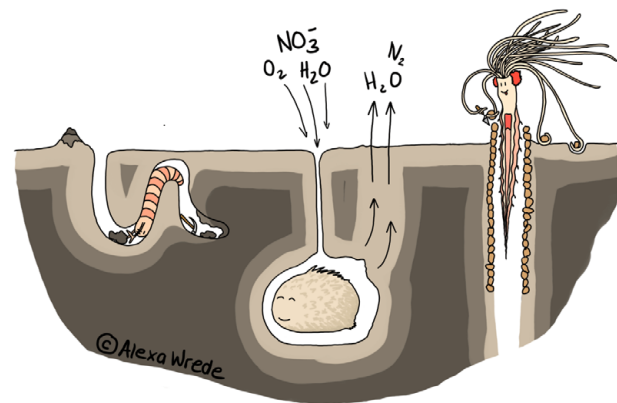


Abb. 1: Die verschiedenen Arten im Sediment bewohnen verschiedene „Stockwerke“ und tragen in verschiedener Weise zum Recycling oder Abbau des reaktiven Stickstoffs bei. In den beige dargestellten Bereichen ist Sauerstoff vorhanden und reaktiver Stickstoff wird zu Nitrat oxidiert und dann recycelt. Die 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 (N₂) 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 CO₂-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 CO₂-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.

NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSE FÜR ORGANISMEN HÖCHST PROBLEMATISCH

„Mehr ist besser“ – Seegras als Indikator für den Zustand von Küstengewässern

Autor: Dr. Tobias Dolch (Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Seegraswiesen sind grüne Oasen am Meeresboden. Anhand der Verbreitung von Seegras lässt sich erkennen, wie es um ein aquatisches Ökosystem steht.

- Seegräser reagieren empfindlich auf die Verschlechterung der Umwelt.
- Daher zeigt ihr Zustand an, wie gut es um ein Meeresökosystem bestellt ist.
- Im nördlichen Wattenmeer hat sich das Seegras gut entwickelt.
- Das ist auf die Reduzierung des Nährstoffeintrags seit den 1980er Jahren zurückzuführen.

Seegräser sind keine Algen, sondern blütentragende Meerespflanzen (Abb. 1). Sie bilden auf dem Meeresboden ganze Wiesen aus (Abb. 2). Diese Seegraswiesen findet man sowohl im küstennahen Flachwasserbereich als auch auf den trockenfallenden Wattflächen. Abgesehen von der Antarktis kommen sie in allen Küstenzonen der Erde vor und sind damit weltweit die dominierende Vegetation flacher, sandiger Küsten.

Lebensraum Seegraswiese

Seegraswiesen sind nicht nur aufgrund ihrer großen räumlichen Verbreitung bedeutsam. Sie gelten auch als eine der produktivsten Vegetationstypen an der Küste. Seegräser erfüllen eine Vielzahl wichtiger ökologischer Funktionen. Verglichen mit dem unbewachsenen Meeresboden stellen Seegraswiesen regelrecht grüne Inseln oder Oasen dar, wo sich viele Tiere zwischen den einzelnen Seegrasblättern verstecken können. Sie bieten somit Lebensraum sowie Schutz vor Fressfeinden und erhöhen dadurch ganz entscheidend die Biodiversität an den Küsten.

Zudem dienen Seegraswiesen als Laichgebiete und Kinderstube für Jungfische, darunter auch kommerziell bedeutsame Arten wie Hering und Scholle. Darüber hinaus sind sie eine wichtige Nahrungsquelle: in den Tropen für Meeres-

schildkröten und Seekühe, im Wattenmeer für Zugvögel. Hinsichtlich des Klimawandels sind Seegraswiesen ebenfalls sehr bedeutsam. Sie zeichnen sich durch eine effiziente Kohlenstoffspeicherung aus, die um ein Vielfaches höher liegt als bei Wäldern.

Nutzung von Seegras

Seegras war vor allem in der Vergangenheit auch von wirtschaftlichem Interesse. Es wurde in erster Linie als Stopfwohle für Kissen und Matratzen bzw. als Dünger in der Landwirtschaft verwendet. Während früher die lebenden Seegraspflanzen geerntet wurden, zieht man heute die Verwendungsmöglichkeiten von angespülten Seegras am Strandufer in Betracht: als Material für Erosionsschutzmatten zur Sand- und Deichstabilisierung, als Baustoff und Dämmmaterial, als medizinisch-kosmetische Rohstoffbasis, als Grundlage für Biokunststoffe, als Nahrungs(ergänzungs)mittel, als Tierstreu oder als Streu für Komposttoiletten.

Gefahren fürs Seegras

Seegräser sind jedoch sehr empfindlich gegenüber einer Reihe von Umweltparametern. Sie reagieren besonders stark auf zu hohe Nährstoffeinträge. Zu viele Nährstoffe, die in erster Linie über Flüsse ins Meer eingetragen werden,

bedeuten eine Überdüngung des Wassers und bringen eine Fülle von negativen Konsequenzen für das gesamte Ökosystem mit sich. Auf Seegras wirken die vielen Nährstoffe direkt giftig.

Zudem erhöhen sie das Algenwachstum, so dass sich das Wasser grün färbt, was für Seegras ein reduziertes Lichtangebot bedeutet. Darüber hinaus werden Seegräser durch starke Strömungen und Wellen deutlich beeinträchtigt sowie durch die damit oft einhergehende ständige Umverlagerung von Sedimenten. Das ist problematisch, da Seegras nur in geschützten und strömungsberuhigten Gebieten wächst.

Es ist zu befürchten, dass dies die große Gefahr der Zukunft für Seegras sein wird: Mit dem Klimawandel gehen ein steigender Meeresspiegel, stärkere Strömungen sowie ein verändertes Sturmklimate einher. Dies bedeutet einen Verlust an geschützten Lebensräumen, auf die Seegras angewiesen ist. Zudem vertragen Seegräser keine starken Veränderungen der Temperatur und des Salzgehaltes. Primär durch diese Faktoren werden die räumliche Verbreitung, Größe und Bewuchsdichte einer Seegraswiese bestimmt.

Seegras als Indikator

Seegräser reagieren sehr schnell auf veränderte Umweltbedingungen. Die Wiesen können rasch an Fläche verlieren und der Bestand kann ausdünnen, aber genauso können sie in kurzer Zeit größer und dichter werden. Wegen ihrer raschen Reaktion, ihrer Empfindlichkeit und ihrer hohen ökologischen Bedeutung sind Seegraswiesen als ein wichtiger Indikator für den ökologischen Zustand von Küstengewässern anerkannt. Sie werden daher vielerorts als Güteparameter kartiert, z.B. für die EU-Wasserrahmenrichtlinie.

Wenn Seegraswiesen groß und dicht gewachsen sind, wird davon ausgegangen, dass die ökologischen Bedingungen im Küstengewässer gut sind: nicht nur für Seegras sondern für das gesamte Ökosystem. Werden die Wiesen klei-

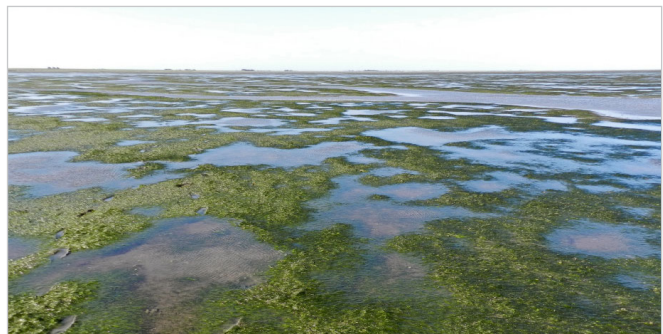


Abb. 1: Die Blätter der Seegraspflanzen bieten für viele Tiere hervorragende Versteckmöglichkeiten. Im Bild sieht man eine Strandschnecke, die den Algenaufwuchs von den Blättern abweidet.

Abb. 2: Seegräser treten in Gemeinschaft auf und können große Wiesen ausbilden, so wie hier im Nordfriesischen Wattenmeer bei der Insel Föhr.

Foto: Tobias Dolch

ner und dünner, dann muss nach der Ursache für diese Warnsignale geforscht werden.

In vielen Regionen der Erde ist aktuell ein deutlicher Rückgang der Seegrasbestände zu beobachten, der vor allem seit dem 20. Jahrhundert akut geworden ist. Die Zerstörung von Lebensräumen durch Sandgewinnung, oder die Eindeichung und Verbauung von Küsten sowie Wasserverschmutzung, vor allem durch zu viele Nährstoffe, sind hierbei die Hauptgründe.

Auch im Wattenmeer an der süd-östlichen Nordsee sind die Seegrasvorkommen in den 1970er/1980er Jahren stark zurückgegangen, in erster Linie wegen zu hoher Nährstoffkonzentrationen. Die Nährstofffrachten gelangten hauptsächlich über Rhein, Weser, Ems und Elbe ins Wattenmeer.

Der Eintrag von Düngemittel wurde in Folge deutlich reduziert und Klärwerke modernisiert. Seit Mitte der 1980er Jahren wird eine deutliche Abnahme der Nährstoffzufuhr ins Wattenmeer gemessen, wodurch sich die Wasserqualität verbessert hat. In den späten 1990er Jahren begannen die Seegrasbestände im nördlichen Wattenmeer positiv hierauf zu reagieren und haben an Fläche zugenommen. Mittlerweile haben sie ihre Fläche verfünffacht und heute kommt im nördlichen Wattenmeer mehr Seegras vor als in den 1930er Jahren.

Leider beschränkt sich diese Erholung der Seegrasbestände auf das nördliche Wattenmeer, da dieses Gebiet von den großen Flussmündungen weit genug entfernt liegt. An der Küste Niedersachsens und der Niederlande, wo die Auswirkungen der großen Flussmündungen auf die nahegelegenen Wattflächen unmittelbar sind, ist leider keine Zunahme der Seegrasbestände zu verzeichnen. Hierfür sind die Nährstofffrachten aus den Flüssen nach wie vor zu hoch.

” Wer beim nächsten Strandbesuch also Seegras am Ufer findet, sollte sich freuen, dass es in der Region wächst.

Dennoch bleibt für das nördliche Wattenmeer festzuhalten, dass es sich um eine Erfolgsgeschichte handelt, wo sich Umweltschutzmaßnahmen deutlich sichtbar und nachhaltig positiv auf ein Ökosystem auswirkten. Hierbei muss man jedoch beachten, dass sich so ein Erfolg selten von heute auf morgen einstellt. Meistens braucht es Geduld, bis sich ein Ökosystem wieder erholt. Aber in den meisten Fällen haben Ökosysteme nach Belastungen ihre Regenerationsfähigkeit nicht verloren und erholen sich von alleine, wenn die Quelle der Belastung abgestellt wird.

Wer beim nächsten Strandbesuch also Seegras am Ufer findet, sollte sich freuen, dass es in der Region wächst.

Quellen

- Dolch, T., Folmer, E. O., Frederiksen, M. S., Herlyn, M., van Katwijk, M. M., Kolbe, K., Krause-Jensen, D., Schmedes, P. & Westerbeek, E. P. (2017). Seagrass. In S. Kloepper et al. (Hrsg.), *Wadden Sea Quality Status Report 2017* [qsr.waddensea-worldheritage.org]. Wilhelmshaven: Common Wadden Sea Secretariat.
- Larkum, W. D., Orth, R. J. & Duarte, C. M. (2006). *Seagrasses, biology, ecology and conservation*. Cham, Germany: Springer.
- Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H. & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO₂. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(10), 552-560. doi:10.1890/110004
- Short, F. T. B., Polidoro, B., Livingstone, S. R., Carpenter, K. E., Bandeira, S., Bujang, J. S., Calumpong, H. P., Carruthers, T. J. B., Coles, R. G., Dennison, W. C., Erftemeijer, P. L. A., Fortes, M. D., Freeman, A. S., Jagtap, T. G., Kamal, A. M., Kendrick, G. A., Kenworthy, W. J., La Nafie, Y. A., Nasution, I. M., Orth, R. J., Prathep, A., Sanciangco, J. C., van Tussenbroek, B., Vergara, S. G., Waycott, M. & Zieman, J. C. (2011). Extinction risk assessment of the world's seagrass species. *Biological Conservation*, 144(7), 1961-1971. doi:10.1016/j.biocon.2011.04.010

NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSE FÜR ORGANISMEN HÖCHST PROBLEMATISCH

Nutrient Network – ökologische Forschung für Grasländer neu gedacht und neu gemacht

Autor: Prof. Dr. Stan Harpole (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Grasländer überziehen als einer der größten Ökosystemtypen die Erde. Als natürliches Weideland genutzt, sind sie für uns Menschen außerordentlich wichtig. Wie jedoch reagieren natürliche Grasländer auf Nährstoffüberschüsse, welche Regelmäßigkeiten lassen sich global feststellen? Wie hängen Beweidung und Pflanzenvielfalt zusammen?

- Das Nutrient Netzwerk untersucht den Biodiversitätsverlust im globalen Maßstab.
- Pflanzenvielfalt ist wichtig für die Produktion von Biomasse.
- Je mehr Nährstoffe dem jeweiligen Ökosystem hinzugefügt werden, desto größer dessen Verlust an Biodiversität.
- Die zunehmende Besiedlung von Ökosystemen mit invasiven Tierarten führt zu einer Nivellierung der Pflanzenvielfalt.

Das Anwachsen der Weltbevölkerung auf nun über 7,6 Milliarden Menschen bedeutet, dass wir einen von Menschen dominierten und sozial vernetzten Planeten bewohnen, auf welchem unsere Handlungen selbst die entferntesten Ökosysteme signifikant beeinflussen. Durch die landwirtschaftliche Düngung, aber auch die Verbrennung fossilen Kohlenstoffs haben sich beispielsweise die globalen Pools an Stickstoff und an Phosphor gegenüber vorindustriellen Niveaus verdoppelt. Über die Atmosphäre wird das Zuviel an Nährstoffen in Form von Stäuben und Gasen auch in entlegene Gebiete eingetragen. Diese atmosphärische Nährstoffbelastung ist auch eine der Hauptursachen für Artenverlust.

Die Überlagerung globaler Probleme wie Nährstoffüberschüsse, Klimawandel, Arteninvasionen und Verlust der biologischen Vielfalt erfordert Lösungen, welche disziplinäre und geografische Grenzen überschreiten. Als eine Antwort auf diese globalen Herausforderungen wurde 2005 das Nutrient Network („Nährstoff-Netzwerk“) als ein weltweit aktives Forschungsnetzwerk gegründet. Zielstellung ist es, auf ex-

perimenteller Basis zu verstehen, wie globaler Wandel Biodiversitätsverlust verursacht.

Aufgrund ihrer hohen Bedeutung für die Menschheit liegt der Fokus auf Grasland-Ökosystemen: Sie stellen einen großen Teil der Landoberfläche der Erde dar und fallen oft mit der Nutzung landwirtschaftlicher Produktion zusammen. Grasland-Ökosysteme reagieren besonders empfindlich auf globale Veränderungen, da sie häufig an Nährstoffarmut angepasst sind. Mit einem teamwissenschaftlichen Ansatz werden seit nunmehr 14 Jahren standardisierte Experimente in diesem Ökosystem weltweit durchgeführt.

Wie kann ein globales Beobachtungsnetzwerk langfristig funktionieren? Der „Grasroot“-Ansatz.

Das Nutrient Network ist – im Gegensatz zu hierarchischen oder Top-Down Ansätzen – mehr oder weniger spontan aus sich selbst heraus entstanden. Das Nutrient Network ist eine vielfältige Gemeinschaft von Umweltwissenschaftlern aus aller Welt, die durch fundamentale

Fragestellungen und den Wunsch nach Kooperation nach fairen Prinzipien motiviert ist. Die wissenschaftlichen Mitglieder übernehmen die Verantwortung für ein Untersuchungsareal, richten sich nach standardisierten Forschungsmethoden und teilen ihre erhobenen Daten, indem sie sie in eine zentralisierte Datenbank eingeben. Diese Standardisierung und langfristige Konsistenz sind ein erheblicher Vorteil gegenüber herkömmlichen, kleiner gehaltenen Experimenten oder großformatigen Meta-Analysemethoden.

Wie sehen die Experimente aus?

Da das Netzwerk seine Experimente in möglichst vielen Graslandschaften dieser Erde replizieren möchte, basieren sie auf einem einfachen Design im Hinblick auf Einrichtung, Messbarkeit und Wartung. So werden mindestens drei funktionale Pflanzenparameter erhoben, unter anderem der prozentuale Deckungsgrad jeder vorkommenden Art sowie die Lichtverfügbarkeit an einem Standort. Hinzu kommt – zu Beginn der Experimente und nach drei Jahren – eine Analyse der Nährstoffgehalte des Bodens. Es gibt zudem eingezäunte Parzellen, auf denen Pflanzenfresser wie Zebras, Rehwild, Kaninchen oder Kängurus ausgeschlossen sind.

Auf diese Weise werden die Effekte von Beweidung bzw. deren Ausbleiben durch Wildtiere auf die Pflanzenvielfalt untersucht und die entsprechenden Erkenntnisse aus diesen Experimenten sind dann perspektivisch auch auf Nutztiere übertragbar. Studien zeigten beispielsweise bereits, dass die Beweidung in einigen Fällen sogar den durch Nährstoffüberschuss verursachten Diversitätsverlust ausgleichen kann. Dabei fällt die Anpassung der Pflanzen auf den Beweidungsdruck unterschiedlich aus: Einige Arten wachsen langsamer, um dem Totalverlust zu entgehen; andere wachsen stärker, um die verlorene Biomasse zu kompensieren.

Durch das Hinzufügen von verschiedenen Nährstoffdüngerkombinationen in den Experimenten lässt sich darüber hinaus untersuchen, wie der Verlust von Pflanzenvielfalt aufgrund von Stickstoffüberschüssen (sowie Phosphor, Kalium oder anderen Nährstoffen) beeinflusst wird.

Durch seinen einfach nachvollziehbaren und kostengünstigen Versuchsaufbau (jährliche Kosten belaufen sich auf nur ca. 100 US-Dollar, einmalige Kosten auf ca. 2.000 US-Dollar + Labor) konnte sich das Nutrient Network als ein langfristiges ökologisches Beobachtungsnetzwerk etablieren. Die Experimente sind zudem ideal für die Einbeziehung von Studenten geeignet. Das Nutrient Network umfasst einen Großteil der Weltklimazonen (Abb. 1). Es besteht aus 130 Projekt-Verantwortlichen mit Versuchsstationen in 27 Ländern auf sechs Kontinenten. 28 Versuchsstationen liegen in Europa und fünf innerhalb Deutschlands (Abb. 2).

Beraten wird das Netzwerk von einem Team aus neun internationalen Wissenschaftlern. Die Koordination übernimmt die Universität Minnesota. Es wird nun, nach 14 Jahren Erfahrung, eine zweite Generation des Nutrient Networks mit neuen experimentellen Verfahren und Messungen geben, welche sowohl die Infrastruktur als auch Technologien des Helmholtz-Zentrums für Umweltforschung (UFZ) nutzen.

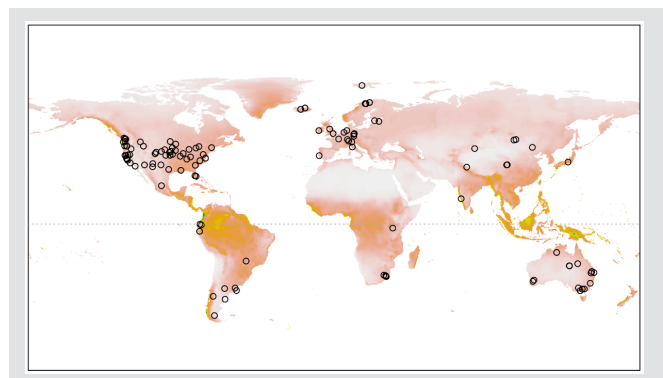


Abb. 1: Geografische Verteilung der Nutrient Network sites (Kreise). Die jährlichen Niederschläge sind im Hintergrund dargestellt (hellblau = leicht bis dunkelblau = stark).

Abb.: UFZ

Was sind die Fragestellungen?

Die Experimente des Netzwerks befassen sich mit Auswirkungen des globalen Wandels auf natürliche Ökosysteme. Hierin eingeschlossen sind die Belastungen durch atmosphärische Nährstoffeinträge sowie die Veränderungen von Pflanzenfressergemeinschaften und andere Störungen. Zwar wissen wir bereits aus der Agrarwissenschaft, dass Pflanzen mehr Nährstoffe als nur Stickstoff oder Phosphor benötigen, jedoch haben wir nur unzureichende Informationen darüber, welche Bedeutung diese Nährstoffe überhaupt in natürlichen Ökosystemen haben. Fragestellungen befassen sich mit Themen wie der Biomasseproduktion aus Grünlandpflanzen und ihr Verhältnis zu Diversität, Stabilität des Ökosystems und seine Erholung nach Störungen. Des Weiteren sind invasive Arten und deren Merkmalseigenschaften ein wichtiges Thema.

Erste Ergebnisse: Bedeutung von Pflanzenvielfalt für Biomasseproduktion

Biodiversität und Pflanzenproduktion sind auf komplexere Weise miteinander verknüpft als bisher angenommen. Anstelle der bisherigen Annahme, dass größere Biomasse eine größere Biodiversität ermöglicht (Adler et al., 2011), zeigen u.a. die Nutrient Network Ergebnisse, dass Diversität und Pflanzenproduktion von einer Vielzahl von Faktoren abhängen, welche Klima, Boden und Störungen miteinschließen. Mit neuartigen statistischen Methoden fand sich auch die entgegengesetzte Beziehung in den Beobachtungsarealen: Je mehr Pflanzenarten vorhanden waren, umso mehr Biomasse wurde produziert. Dieses Ergebnis steht in Einklang mit Experimenten zur Funktion von Biodiversität in Ökosystemen (Grace et al., 2016).

Erste Ergebnisse: Was ist wichtig für die Vorhersage von Pflanzenproduktion?

Pflanzen sind auf multiple Nährstoffe angewiesen, darunter Stickstoff und Phosphor, aber

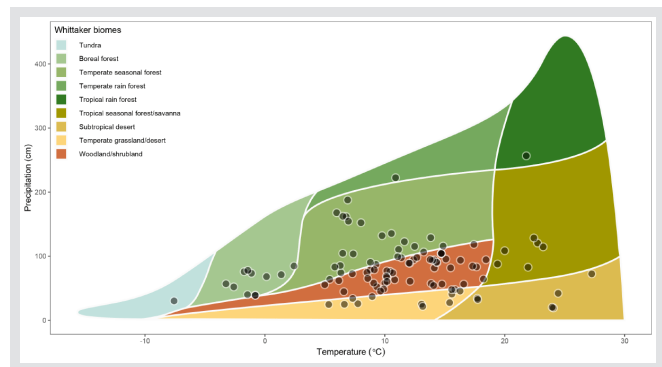


Abb. 2: Die Nutrient Network sites (Kreise) decken bzgl. Mittlerer Jahrestemperatur und Niederschlag den Großteil der Klimazonen der Erde ab (farbiges Dreieck), wie auch viele der Haupt-Biome (gemäß Beschreibung durch Whittaker; s. Legende mit den korrespondierenden Farben). Die Klassifizierung der Biome beruht auf den natürlichen Haupt-Vegetationstypen, kann aber auch einen Mix verschiedener Ökosysteme enthalten, z.B. Grasland oder vom Menschen modifizierte Ökosysteme. Abb.: UFZ

auch einige Kombinationen von Kalium, Kalzium, Schwefel und anderen Nährstoffen (Fay et al., 2015). In der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion ist das Wissen um den Bedarf an Mehrfachnährstoffen gut etabliert, für die generelle Bedeutung von Mehrfachnährstoffen in natürlichen Graslandschaften hingegen liefern Ergebnisse des Nutrient Network den ersten experimentellen Beweis.

Durch Landwirtschaft und Verbrennung fossiler Brennstoffe, entstehen Stäube und Gase, welche wiederum aus der Atmosphäre niedergehen und zur Nährstoffverschmutzung führen. Durch unsere Ergebnisse konnten wir zeigen, dass durch menschliche Aktivitäten verursachte Stickstoffdepositionen genauso wichtig für die Vorhersage der Pflanzenproduktivität sind, wie diverse Klimavariablen, zu denen unter anderem Niederschläge und Temperatur zählen (Stevens et al., 2015). Diese atmosphärische Nährstoffbelastung ist auch eine der Hauptursachen für Artenverlust. Je mehr Nährstoffe dem jeweiligen Ökosystem hinzugefügt werden, desto größer dessen Verlust an Biodiversität. Hierbei war der Diversitätsverlust in den artenreichsten Graslandschaften am größten (Harpole et al., 2016).

Erste Ergebnisse: Wie hängt die Häufigkeit einer Art in Heimat- und Fremdgebiet zusammen?

Mit der Nährstoffbelastung nehmen auch invasive Arten in ihrer Anzahl und Bandbreite zu (Seabloom et al., 2015). Eine Vorhersage darüber zu treffen, welche Arten zu Problemverursachern werden, erwies sich jedoch als schwierig. Wir konnten jedoch die Erkenntnis gewinnen, dass sich von der Häufigkeit be-

stimmter invasiver Pflanzen innerhalb ihrer Heimatregion auch auf die Anzahl der Individuen dieser Arten bei der Ausbreitung in Fremdgebieten schließen lässt (Firn et al., 2011). Es ist besorgniserregend, dass die zunehmende Besiedlung von Ökosystemen mit invasiven Tierarten auch zu einer Nivellierung der Pflanzenvielfalt führt. Ökosysteme gleichen sich also in ihrer Vielfalt immer mehr aneinander an.

Quellen

- Adler, P. B., Seabloom, E. W., Borer, E. T., Hillebrand, H., Hautier, Y., Hector, A., ... Yang, L. H. (2011). Productivity is a Poor Predictor of Plant Species Richness. *Science*, 333(6050), 1750-1753. doi:10.1126/science.1204498
- Harpole, W. S., Adler, P. B., Lind, E. M., Orrock, J. L., Seabloom, E. W. & Smith, M. D. (2014). Finding generality in ecology: a model for globally distributed experiments. *Methods in Ecology and Evolution*, 5, 65-73. doi:10.1111/2041-210X.12125
- Borer, E. T., Grace, J. B., Harpole, W. S., MacDougall, A. S. & Seabloom, E. W. (2017). A decade of insights into grassland ecosystem responses to global environmental change. *Nature Ecology & Evolution*, 1 (5):0118, 65-73. doi:10.1038/s41559-017-0118
- Fay, P. A., Prober, S. M., Harpole, W. S., Knops, J. M. H., Bakker, J. D., Borer, E. T., ... Yang, L. H. (2015). Grassland productivity limited by multiple nutrients. *Nature Plants*, 1:15080, 1-5. doi:10.1038/nplants.2015.80
- Firn, J., Moore, J. L., MacDougall, A. S., Borer, E. T., Seabloom, E. W., HilleRisLambers, J., Harpole, W. S., ... Buckley, Y. M. (2011). Abundance of introduced species at home predicts abundance away in herbaceous communities. *Ecology Letters*, 14, 274-281. doi:10.1111/j.1461-0248.2010.01584.x
- Grace, J. B., Anderson, T. M., Seabloom, E. W., Borer, E. T., Adler, P. B., Harpole, W. S., ... Smith, M. D. (2016). Integrative modelling reveals mechanisms linking productivity and plant species richness. *Nature*, 529, 390-393. doi:10.1038/nature16524
- Harpole, W. S., Sullivan, L. L., Lind, E. M., Firn, J., Adler, P. B., Borer, E. T., Chase, J., Fay, P. A., ... Wragg, P. D. (2016). Addition of multiple limiting resources reduces grassland diversity. *Nature*, 537, 93-96. doi:10.1038/nature19324
- Hillebrand, H., Blasius, B., Borer, E. T., Chase, J. M., Downing, J. A., Eriksson, B. K., ... Ryabov, A. B. (2018). Biodiversity change is uncoupled from species richness trends: consequences for conservation and monitoring. *Journal of Applied Ecology*, 55, 169-184. doi:10.1111/1365-2664.12959
- Seabloom, E. W., Borer, E. T., Buckley, Y. M., Cleland, E. E., Davies, K. F., Firn, J., Harpole, W. S., ... Yang, L. (2015). Plant species' origin predicts dominance and response to nutrient enrichment and herbivores in global grasslands. *Nature Communications*, 6:7710, 1-8. doi:10.1038/ncomms8710
- Lind, E. M., Hautier, Y., Harpole, W. S., Borer, E. T., Hobbie, S., ... Wragg, P. D. (2015). Anthropogenic nitrogen deposition predicts local grassland primary production worldwide. *Ecology*, 96, 1459-1465. doi:10.1890/14-1902.1

NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSE FÜR ORGANISMEN HÖCHST PROBLEMATISCH

Tagfalter als Indikatoren für den Biodiversitätsverlust im Grünland

Autorin: Elisabeth Kühn (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Ein Fünftel der Landesfläche in Deutschland sind Grünländer. Gering bewirtschaftetes Grünland ist sehr artenreich. Durch die Intensivierung der Landwirtschaft und Nährstoffeinträge aus angrenzenden Feldern, aber auch aus der Luft, geht die Artenvielfalt der Grünländer dramatisch zurück. Mit Hilfe von Tagfaltern können Wissenschaftler*innen den Zustand dieser komplexen Artengemeinschaften europaweit beurteilen.

- Grünländer können Lebensraum für überdurchschnittlich viele Insektengruppen sein.
- Werden artenreiche Trocken- und Halbtrockenrasen (Grünländer) geringfügig beweidet und 1–2 Mal pro Jahr gemäht, erhält sich deren Vielfalt optimal.
- Das seit 2005 auch in Deutschland durchgeführte Tagfalter-Monitoring liefert qualitativ hochwertige Daten zum Zustand von Grünländern.

Wiesen und Weiden, das sogenannte „Grünland“, zählen zu den artenreichsten Lebensräumen Mitteleuropas. Zumeist handelt es sich um einen von Menschen geprägten Lebensraum. Natürliche „Wiesen“ findet man nur im Gebirge oberhalb der Waldgrenze, im mitteldeutschen Trockengebiet und im Gezeitenbereich bei Salzwiesen und -marschen.

Entstanden sind diese Kulturlächen, indem der Mensch zunächst den Wald gerodet und dann durch regelmäßige Beweidung (Weide) oder durch regelmäßige Mahd (Wiesen) ein Wiederaufkommen der Gehölze verhindert hat. In Deutschland nehmen Grünländer aktuell mehr als 20 Prozent der Gesamtfläche ein und bilden die Grundlage für die Vieh- und Milchwirtschaft (Frey & Lösch, 1998).

Je nach Höhenlage, Art und Intensität der Bewirtschaftung ist die Zusammensetzung der Pflanzen in den verschiedenen Grünländern sehr unterschiedlich. Die Spanne reicht von sehr artenreichen, extensiv bewirtschafteten Trocken- und Halbtrockenrasen bis hin zu extrem artenarmem eingesättem Intensivgrünland. Typisch für extensiv bewirtschaftete

Grünländer ist die hohe Artenvielfalt (Biodiversität), insbesondere an Pflanzen, Schmetterlingen und anderen Insektengruppen. Für den Naturschutz haben diese Lebensräume entsprechend eine besondere Bedeutung.

Darüber hinaus haben Grünländer noch eine Reihe weiterer wichtiger Funktionen wie zum Beispiel Trinkwasserschutz, Schutz vor Boden-erosion oder Klimaschutz. Sie werden von den Menschen als Plätze mit hohem ästhetischem Wert, zur Erholung und als wichtiger Faktor für den Tourismus geschätzt.

Artenreiche Grünländer stark zurückgegangen

In den letzten Jahrzehnten sind insbesondere durch die Intensivierung der Landwirtschaft, aber auch durch erhöhten Nährstoffeintrag aus angrenzenden Feldern und der Luft artenreiche Grünländer stark zurückgegangen. Die für den Erhalt der typischen Lebensräume notwendigen Pflegemaßnahmen (extensive Beweidung, ein- bis zweimalige Mahd im Jahr) sind für die Landwirtschaft nicht wirtschaftlich und vielerorts nur noch durch Vertragsnaturschutz zu

realisieren. Vertragsnaturschutz bedeutet, dass Naturschutzbehörden mit Grundstücksinhabern auf Basis der Freiwilligkeit zusammenarbeiten, um bestimmte Lebensräume für Tiere und Pflanzen zu erhalten. Europaweit ist der Rückgang dieser Lebensräume und im Zuge dessen der Rückgang typischer Tier- und Pflanzenarten festzustellen.

Den Rückgang exakt aufzuzeigen und wissenschaftlich fundiert darzustellen, ist jedoch schwierig, da die Zusammenhänge sehr komplex sind und nur wenige länderübergreifende Daten vorliegen. Deshalb greifen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler auf bestimmte, für Grünländer typische Indikatorarten zurück, deren Entwicklung stellvertretend für den Zustand der Grünländer steht. Bewährt haben sich hier ausgewählte Tagfalterarten, deren Trends seit 2005 europaweit berechnet und zu einem „Grünlandschmetterlingsindikator“ zusammengefasst werden.

Warum sind gerade die Tagfalter so gut als Indikatoren geeignet?

Für viele europäische Tagfalter sind Grünländer der Hauptlebensraum. Von den insgesamt 436 Tagfalterarten Europas, für die Angaben zu ihren Lebensräumen vorliegen, kommen 383 (88 Prozent) in mindestens einem europäischen Land im Grünland vor. Für mehr als die Hälfte der Arten (280 Arten, 57 Prozent) sind Grünländer der Hauptlebensraum. Die artenreichsten Grünlandtypen sind Kalktrockenrasen und Steppenrasen (274 Tagfalterarten), alpine und subalpine Grünländer (261 Arten), Grünländer der gemäßigten Breiten, die unter mittleren Bedingungen (mesophil) wachsen (223 Arten), und Trockenrasen (220 Arten) (Van Swaay et al., 2016).

Grünländer sind also für den Naturschutz von besonderer Bedeutung, da sie den wichtigsten Lebensraum für viele Tagfalterarten darstellen. Darüber hinaus sind Tagfalter aber auch gute Indikatoren für die allgemeine Artenvielfalt von Grünländern. Wissenschaftliche Studien konnten zeigen, dass in Grünland, dessen Pflege op-

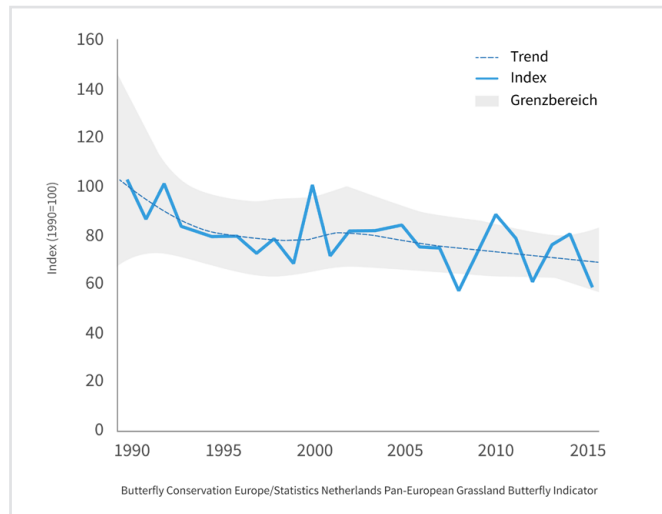


Abb. 1: Entwicklung des Grünlandschmetterlingsindikators von 1990 bis 2015

Diagramm nach van Swaay et al. 2016

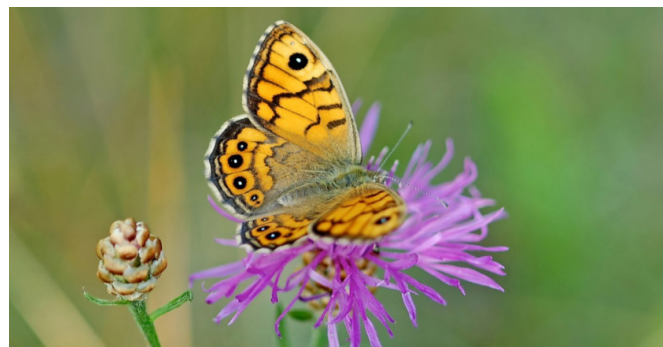


Abb. 2: Der Mauerfuchs (*Lasiommata megera*) ist eine der Tagfalterarten des Grünlandes, die in den letzten Jahrzehnten stark zurückgegangen ist.

Foto: Erk Dallmeyer

timal auf die Lebensbedingungen einer speziellen Tagfalterart (hier dem Thymian-Ameisenbläuling) angepasst wird, gleichzeitig auch mehr und seltenere Pflanzenarten sowie andere Insektengruppen vorkommen (Thomas, 2005).

Qualitativ hochwertige Daten durch ehrenamtliche Helfer

Ein weiterer Grund, warum Tagfalter als Indikatoren für den Zustand von Grünländern verwendet werden, ist ein ganz pragmatischer. Für diese Artengruppe liegen besonders viele und qualitativ hochwertige Daten vor. Dies liegt vor allem an dem europaweiten Tagfalter-

Monitoring, welches bereits 1976 in Großbritannien begründet wurde, seit den 1990er Jahren in den Niederlanden etabliert ist und seit 2005 auch in Deutschland bundesweit durchgeführt wird.

Mittlerweile werden Tagfalter in elf EU-Staaten regelmäßig erfasst. Das kürzlich gestartete EU-Projekt ABLE (Assessing Butterflies in Europe) hat sich zum Ziel gesetzt, dieses Netzwerk weiter auszubauen (mehr dazu hier: Europaweites Insektenmonitoring – Schmetterlinge als Vorbild). Das besondere an diesen Monitoring-Aktivitäten ist, dass sie in den meisten Ländern von ehrenamtlichen Falterzähler*innen durchgeführt werden. Nur mit Hilfe der zahlreichen ehrenamtlichen Zähler*innen können über einen so langen Zeitraum so viele Daten erhoben werden. Diese Daten werden auch weiterhin erfasst. Auf diese Weise entsteht ein einzigartiger Datensatz, der für die verschiedensten wissenschaftlichen Auswertungen und eben auch für die Berechnung des Grünlandschmetterlingsindikators genutzt werden kann.

Rückgang der Tagfalter auf Grünländern in Europa dramatisch

Der Grünlandschmetterlingsindikator erschien erstmalig im Jahr 2005 und wird regelmäßig fortgeschrieben. Die letzte Aktualisierung ist aus dem Jahr 2016 mit Daten von 1990 bis 2015. Das Ergebnis ist erschreckend, denn die Analyse zeigt einen Rückgang der Häufigkeit von Tagfaltern auf Grünländern um 30 Prozent.

Grundlage für die Berechnung des Indikators sind Daten aus 22 europäischen Ländern und für siebzehn charakteristische Tagfalterarten des Grünlandes. Der dramatische Rückgang hat sich in den letzten fünf bis zehn Jahren zwar etwas verlangsamt, aber dies könnte u.a. auch auf die Klimaerwärmung zurückzuführen sein,

von der einige Tagfalterarten profitieren. Allerdings sind speziell in Westeuropa die Falterzahlen in den intensiv bewirtschafteten Grünländern so stark zurückgegangen, dass sie kaum noch weiter sinken können.

Wie können Grünländer besser geschützt werden?

In Nordwest- und Mitteleuropa ist die Intensivierung der Landwirtschaft das größte Problem für artenreiche Grünländer. Der Schutz dieser Lebensräume und eine den entsprechenden Grünlandtypen angepasste Pflege ist notwendig, um den Rückgang zu stoppen.

In vielen anderen Bereichen Europas ist die Nutzungsaufgabe das Hauptproblem. Nur wenn sich für die Landwirte eine Fortsetzung der traditionellen (extensiven) Landnutzung lohnt, wird diese auch fortgesetzt. Hier sind also spezielle Fördermaßnahmen für die jeweiligen landwirtschaftlichen Betriebe wichtige Grundvoraussetzung für den Erhalt der Lebensräume.

Darüber hinaus ist eine Erweiterung der Naturschutzflächen z. B. im Rahmen einer Ausweitung des europäischen Schutzgebietsnetzwerks „Natura 2000“ wichtig. Nur durch den speziellen Schutz größerer Flächen und durch eine funktionelle Verbindung dieser Flächen untereinander kann der Verlust der Biodiversität in Grünländern aufgehalten werden.

Schmetterlingsarten im Grasland

Weit verbreitete Wiesenschmetterlingsarten:

- **Rostfarbiger Dickkopffalter** (*Ochlodes sylvanus*)
- **Aurorafalter** (*Anthocharis cardamines*)
- **Kleiner Feuerfalter** (*Lycaena phlaeas*)
- **Hauhechel-Bläuling** (*Polyommatus icarus*)
- **Mauerfuchs** (*Lasiommata megera*)
- **Kleines Wiesenvögelchen** (*Coenonympha pamphilus*)
- **Großes Ochsenauge** (*Maniola jurtina*)



Aurorafalter (*Anthocharis cardamines*) Foto: Rosenzweig, Wikimedia, CC BY-SA 3.0

Quellen

- Frey, W. & Lösch, R. (1998). *Lehrbuch der Geobotanik. Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit*. Stuttgart, Germany: Verlag Gustav Fischer.
- Thomas, J. A. (2005). Monitoring change in the abundance and distribution of insects using butterflies and other indicator groups. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 360(1454), 339–357. doi:10.1098/rstb.2004.1585
- Van Swaay, C. A. M., Van Strien, A. J., Aghababayan, K., Åström, S., Botham, M., Brereton, T., ... Warren, M. S. (2016). *The European Butterfly Indicator for Grassland species 1990-2015* (Report VS2016.019) [<http://nrl.northumbria.ac.uk/28215/>]. De Vlinderstichting, Netherlands.

NÄHRSTOFFÜBERSCHÜSSE FÜR ORGANISMEN HÖCHST PROBLEMATISCH

Ökologische oder konventionelle Landwirtschaft – was ist besser für die Artenvielfalt?

AutorInnen: Dr. Karin Stein-Bachinger, Almut Haub & Frank Gottwald
(Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung ZALF)

Die intensive Landbewirtschaftung gilt als eine wichtige Ursache für den Rückgang von Arten in der Kulturlandschaft. Doch stimmt das wirklich? Und wäre ökologische Landwirtschaft eine Alternative? Eine umfangreiche Auswertung der Studien der vergangenen Jahre zeigt, dass bei einer ökologischen Bewirtschaftung wildlebende Tier- und Pflanzenarten mehr Lebensraum und Nahrung finden. Doch auch hier gibt es weitere Verbesserungsmöglichkeiten, da auch im Öko-Landbau bestimmte Arten noch nicht hinreichend geschützt und gefördert werden.

Warum ist Biodiversität wichtig und welche Rolle spielt die Landwirtschaft?

Durch die Landbewirtschaftung werden eine Reihe gesellschaftlicher Leistungen erbracht, die für uns Menschen essentiell sind. Am nächsten sind die Bereitstellung von Lebensmitteln, Trinkwasser und medizinischen Wirkstoffen. Gleichzeitig ist die Landnutzung auch wichtig für die Fruchtbarkeit unserer Böden, die Klimaregulierung, den Schutz vor Lawinen, Hochwasser und Erosion. Vielfältige Landschaften, in denen wir uns wohlfühlen, dienen der Erholung. Eine hohe Artenvielfalt trägt zur Stabilität der Ökosysteme bei.

Die biologische Vielfalt in der Agrarlandschaft wird wesentlich von der Art der Landnutzung bestimmt. Viele Arten sind zum Teil oder sogar vollständig auf die Landbewirtschaftung angewiesen. So würden Ackerwildkräuter ohne regelmäßig stattfindende Bodenbearbeitung verschwinden. Der Schutz der Artenvielfalt ist seit Jahrzehnten ein erklärtes Ziel aller Länder, jedoch ist weiterhin ein alarmierender Verlust zu verzeichnen. Bundesweit gelten ca. ein Drittel der etwa 350 in Deutschland auf Äckern vorkommenden Wildpflanzen als gefährdet (Hofmeister & Grave, 2006) und viele ehemals charakteristische Arten haben seit den 1950er/60er

Jahren um 95-99 Prozent abgenommen (Meyer et al., 2014). Die europäischen Bestandszählungen von Agrarvögeln zeigen einen Rückgang der Gesamtbestände um 52 Prozent von 1980 bis 2000 (Dröschmeister et al., 2012). Bei den Insekten ist ein Rückgang der Biomasse um ca. 76 Prozent in Untersuchungen über fast drei Jahrzehnte in deutschen Schutzgebieten belegt (Hallmann et al., 2017).

Die intensive Landbewirtschaftung gilt als eine der Hauptverursacher für den alarmierenden Artenrückgang in der Kulturlandschaft. Nährstoffüberschüsse, hoher Einsatz an Pestiziden und der Anbau nur noch weniger Fruchtarten sind wesentliche Faktoren, die dies befördern (Benton et al., 2003; Leuschner et al., 2014). Eine Alternative bietet die ökologische Landwirtschaft. Allerdings wurden 2018 nur 9 Prozent der Flächen in Deutschland ökologisch bewirtschaftet (BÖLW, 2019).

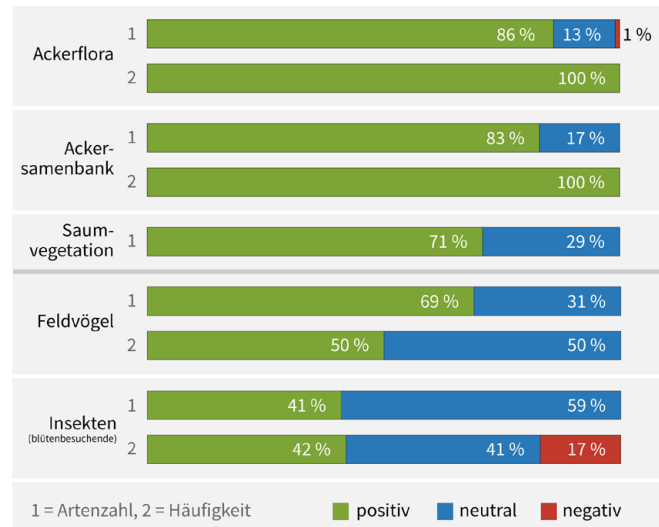
Eine kritische Sicht auf die gegenwärtigen landwirtschaftlichen Produktionssysteme ist weit verbreitet (Seufert & Ramankutty, 2017). Der steigende ökonomische Druck trägt generell zur Intensivierung bei – mit potenziell negativen Effekten auf die Artenvielfalt. Auffallend ist, dass der Anspruch der Gesellschaft, öffentliche Mittel für die Landwirtschaft verstärkt für gesellschaftliche Leistungen zu verwenden,

steigt. Dabei stellt sich die Frage, welchen Beitrag leistet die ökologische Landwirtschaft für die Artenvielfalt und welche Verbesserungsmöglichkeiten bestehen?

Wo steht der Ökolandbau beim Artenschutz?

Die Auswertung relevanter Studien der letzten 30 Jahre, in denen die ökologische mit der konventionellen Bewirtschaftung verglichen wurde, zeigt, dass der Ökolandbau eindeutig besser abschneidet (Stein-Bachinger et al., 2019). Einbezogen wurden Vergleichsuntersuchungen von 1990 bis 2017 in temperierten, das heißt gemäßigten Klimazonen. Diese liegen zwischen dem 40- und 60-sten Breitengrad. Insgesamt wurden 75 Studien mit 312 Vergleichspaaren zu verschiedenen Pflanzen- und Tiergruppen (Ackerwildkräuter, Ackersamenbank und Saumvegetation sowie Feldvögel und blütenbesuchende Insekten) quantitativ ausgewertet.

Für alle untersuchten Artengruppen sind positive Effekte des ökologischen Landbaus auf die Biodiversität eindeutig belegt und das sowohl für die Anzahl verschiedener Arten (Artenzahl) als auch deren Häufigkeit (Abundanz). Die positiven Effekte waren bei den Pflanzen am stärksten ausgeprägt. Insgesamt wiesen 86 Prozent (Pflanzen) bzw. 49 Prozent (Tiere) der Vergleichspaare deutliche Vorteile gegenüber der konventionellen Bewirtschaftung auf. Die mittleren Artenzahlen der Ackerflora lagen auf ökologischen Flächen im Durchschnitt um 95 Prozent höher als im konventionellen Anbau. Bei den Feldvögeln lag die Artenzahl um 35 Prozent über der von konventionell bewirtschafteten Flächen. Auch die Anzahl der Vögel und Insekten war um ein Viertel größer. Da die wildlebenden Tiere stärker von der Landschaftsstruktur bzw. dem Vorhandensein von Begleitbiotopen, die sie zur Reproduktion und Überwinterung benötigen, abhängen, sind die bewirtschaftungsbedingten Auswirkungen nicht so deutlich ausgeprägt wie bei den Pflanzen. Nur in 2 von 75 ausgewerteten Studien traten negative Effekte bei ökologischer Bewirtschaftung auf.



Effekte der ökologischen Landwirtschaft (öL) auf mittlere Artenzahl und Häufigkeit verschiedener Organismengruppen im Vergleich zur konventionellen Landwirtschaft (grün = Höhere Leistungen durch öL, blau = Vergleichbare Leistungen durch öL, rot = Niedrigere Leistungen durch öL). Grafik: Wissensplattform Erde und Umwelt | eskp.de, verändert aus Thünen-Report, Ausgabe 65 (2019).

Einordnung der Ergebnisse und Konsequenzen

Durch die Studie ist eindeutig belegt, dass der ökologischen Landwirtschaft eine hohe Bedeutung für den Erhalt der Artenvielfalt zukommt. Diese Ergebnisse bestätigen bzw. übertreffen zum Teil sogar die Aussagen bisheriger Literaturstudien hinsichtlich der positiven Wirkungen des ökologischen Landbaus für die Artenvielfalt (u. a. Hole et al., 2005; Tuck et al., 2014).

Gründe dafür sind unter anderem der Verzicht auf chemisch-synthetische Pflanzenschutzmittel. Außerdem dürfen mineralische Stickstoffdünger in der ökologischen Landwirtschaft nicht angewendet werden. Daher kommt dem Anbau von Leguminosen – Hülsenfrüchten wie Klee, Luzerne, Lupine, Erbse – eine sehr hohe Bedeutung zu. Sie binden den wichtigen Pflanzennährstoff Stickstoff aus der Luft und liefern damit eine kostenfreie Düngerquelle. Die flächenabhängige Tierhaltung und die Begrenzung im Futtermittelzukauf sorgen für ein niedrigeres Nährstoffniveau im Vergleich zum konventionellen Landbau. Daraus ergeben sich

u.a. geringere Kulturdichten, in denen wildlebende Tier- und Pflanzenarten mehr Lebensraum und Nahrung finden. Vielfältige Fruchtfolgen sind auch als vorbeugende Maßnahme zur Gesunderhaltung der Pflanzenbestände wichtig.

Die Ergebnisse der Studie (Sanders & Heß, 2019) verdeutlichen außerdem, dass die ökologische Landbewirtschaftung positive Wirkungen für weitere Bereiche des Umwelt- und Ressourcenschutzes wie Wasser-, Klima- und Erosionsschutz erbringt. Durch die Ausweitung und gezielte Förderung des Ökolandbaus könnten somit viele positive Ökosystemleistungen gleichzeitig erbracht werden. Dies wäre insgesamt eine kostengünstige Alternative und würde außerdem den Verwaltungs- inkl. Kontrollaufwand deutlich reduzieren, da jeder Ökobetrieb per se jährlich kontrolliert wird.

Leistung sollte zählen

Über die Leistungen hinaus, die die ökologische Landwirtschaft per se erbringt, gibt es weitere Verbesserungsmöglichkeiten, da bestimmte Arten nicht durch die gängige landwirtschaftliche Praxis geschützt und gefördert werden können. Mit dem Projekt „Landwirtschaft für Artenvielfalt“ wurde ein neuer Weg zur Förderung der Biodiversität auf Ökobetrieben in Kooperation mit der Naturschutzorganisation WWF und dem Lebensmittel-einzelhandel beschritten (Gottwald & Stein-Bachinger, 2016, 2018). Durch das Projekt kann der Verbraucher mit seiner Kaufentscheidung aktiv zum Artenschutz beitragen, so das Ziel.

Ein Katalog von über 100 Naturschutzmaßnahmen für Ackerland, Grünland, Landschaftselemente und Hofstelle bietet dabei den Landwirten viele individuelle Auswahlmöglichkeiten. Darin enthalten sind auch Maßnahmen, die in vielen Betrieben u. a. im Rahmen von Agrarumweltprogrammen bereits umgesetzt werden. Dazu zählen beispielsweise das Vorhandensein von Hecken oder besondere Artvorkommen. Die Teilnahme der landwirtschaftlichen Betriebe erfolgt auf freiwilliger Basis.

Ein Punktesystem ermöglicht eine Bewertung der Naturschutzleistungen im gesamten Betrieb. Zur Erreichung des Naturschutzzertifikates sind 120 Punkte pro 100 Hektar erforderlich. Diejenigen Landwirte, die dieses Kriterium erfüllen, erhalten für bestimmte Produkte höhere Preise beim kooperierenden Lebensmittelhändler. Insgesamt stellt das Naturschutz-Zertifikat eine zusätzliche Qualifikation für Naturschutzleistungen auf Gesamtbetriebsebene dar. Aktuell sind über 65 Betriebe in Nordostdeutschland und weitere Betriebe in Süddeutschland beteiligt. Bewirtschaftet werden rund 40.000 Hektar. Evaluationsergebnisse zeigen, dass 58 Prozent der Betriebe im Grünland kleine Teilflächen bei der ersten Nutzung stehen ließen. Davon profitierten insbesondere Insekten und das stark gefährdete Braunkehlchen. Dessen Nest-Erfolg konnte durch die Maßnahme um fast das Doppelte erhöht werden (Gottwald et al., 2017).

Quellen

- BOELW. (2019). *Daten – Zahlen – Fakten. Die Bio-Branche 2018*. Berlin: Bund Ökologischer Lebensmittelwirtschaft.
- Benton, T. G., Vickery, J. A., Wilson, J. D. (2003). Farmland biodiversity: is habitat heterogeneity the key? *Trends in Ecology & Evolution*, 18(4), 182-188. doi:10.1016/S0169-5347(03)00011-9
- Dröschmeister, R., Sudfeldt, C., Trautmann, S. (2012). Zahl der Vögel halbiert: Landwirtschaftspolitik der EU muss umweltfreundlicher werden. *Der Falke*, 59, 316-317.
- Gottwald, F., Stein-Bachinger, K. (2016). *Landwirtschaft für Artenvielfalt – Ein Naturschutzmodul für ökologisch wirtschaftende Betriebe* (2., überarbeitete Auflage). WWF Deutschland.
- Gottwald, F. & Stein-Bachinger, K. (2018). Farming for Biodiversity – a new model for integrating nature conservation achievements on organic farms in north-eastern Germany. *Organic Agriculture*, 8(1), 79-86. doi:10.1007/s13165-017-0198-2
- Gottwald, F., Matthews, A., Matthews, A., Stein-Bachinger, K. (2017). Enhancing the breeding success of whinchats - first results with small-scale measures on organic farms in north-eastern Germany. *WhinCHAT*, 1, 42-52.
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, T., Goulson, D., de Kroon, H. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*, 12(10):e0185809. doi:10.1371/journal.pone.0185809
- Hofmeister, H., Garve, E. (2006). *Lebensraum Acker: Mit 32 Tabellen* (Reprint der 2., neubearb. Aufl.). Remagen: Kessel.
- Hole, D. G., Perkins, A. J., Wilson, J. D., Alexander, I. H., Grice, P. V., Evans, A. D. (2005). Does organic farming benefit biodiversity? *Biological Conservation*, 122(1), 113-130. doi:10.1016/j.biocon.2004.07.018
- Leuschner, C., Krause, B., Meyer, S., Bartels, M. (2014). Strukturwandel im Agrar- und Grünland Niedersachsens und Schleswig-Holsteins seit 1950. *Natur und Landschaft*, 89(9/10), 386-391. doi:10.17433/9.2014.50153292.386-391
- Meyer, S., Wesche, K., Krause, B., Brütting, C., Hensen, I., Leuschner, C. (2014). Diversitätsverluste und floristischer Wandel im Ackerland seit 1950. *Natur und Landschaft*, 89(9/10), 392-398. doi:10.17433/9.2014.50153293.392-398
- Stein-Bachinger, K., Haub, A., Gottwald, F. (2019). Biodiversität. In J. Sanders & J. Heß (Hrsg.), *Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft* (Thünen Report, 65, S. 129-163). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut. doi:10.3220/REP1547040572000
- Sanders, J., & Hess, J. (2019). *Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft* (Thünen Report, 65). Braunschweig: Johann Heinrich von Thünen-Institut. doi:10.3220/REP1547040572000
- Seufert, V. & Ramankutty, N. (2017). Many shades of gray – The context-dependent performance of organic agriculture. *Science Advances*, 3(3):e1602638. doi:10.1126/sciadv.1602638
- Tuck, S. L., Winqvist, C., Mota, F., Ahnström, J., Turnbull, L. A. & Bengtsson, J. (2014). Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *The Journal of Applied Ecology*, 51(3), 746-755. doi: 10.1111/1365-2664.12219

5. Biodiversitätswandel und Schwund natürlicher Flächen durch Verstädterung

Einleitung

Vor dem Hintergrund des starken Wachstums der Städte stellt sich auch die Frage, welche Auswirkungen die Urbanisierung auf Biodiversität hat. Viele Arten haben sich zum Teil hervorragend an die rauen Bedingungen in Großstädten angepasst und neue Verhaltensweisen herausgebildet. Die Forschung untersucht daher, ob sich in Städten vielleicht sogar schon neue Arten herausbilden.

Die zunehmende Verstädterung zeigt sich auch beim vielleicht weniger bekannten Thema Lichtverschmutzung. Etliche Tierarten haben Probleme, wenn sich der Tag-Nacht-Rhythmus verändert. Wir wollen auch auf die Suche nach möglichen Strategien gehen, um den zunehmenden Flächenverbrauch einzudämmen. Denn nach wie vor gehen pro Tag in Deutschland im Schnitt 70 Hektar für Verkehrs- und Siedlungsflächen verloren.

Themen-Überblick

- ▶ Wie steht es um die Biodiversität der Städte?
- ▶ Unsere Städte – neue Spielfelder der Evolution?
- ▶ Lichtverschmutzung: Wie reagieren Tiere und Pflanzen auf erhellte Nächte?
- ▶ Wie ernst ist es uns mit der Eindämmung des Flächenverbrauchs?

BIODIVERSITÄTSWANDEL UND SCHWUND NATÜRLICHER FLÄCHEN DURCH VERSTÄDTERUNG

Wie steht es um die Biodiversität der Städte?

Autorin: Dr. Sonja Knapp (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Sind Städte biologische Wüsten oder Hotspots der Biodiversität? Der Blick auf die Vielfalt der Organismen in unseren Städten hat sich gewandelt. Galten sie noch in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts als ökologisch uninteressant, ist heute klar, dass neben uns Menschen auch viele Pflanzen und Tiere ihren Lebensraum innerhalb städtischer Grenzen finden. Doch wie ist diese biologische Vielfalt einzuordnen? Beherbergen Städte nur Allerweltsarten oder können sie auch einen Beitrag zum Schutz seltener und gefährdeter Arten leisten?

- Städte werden durch zahlreiche Schadstoffe aus Industrie und Verkehr belastet.
- Städte können aber auch ein vielfältiger Lebensraum sein, d. h. Orte, an denen eine globalisierte Tier- und Pflanzenwelt zuhause ist.
- Darüber hinaus können Städte einen Beitrag zum Schutz seltener und gefährdeter Arten leisten.
- Dieses Potential muss aber erhalten und gepflegt werden.

Städte sind meist wärmer als ihr Umland, sie sind nährstoffreich und von versiegelten Flächen geprägt, ihre Luftfeuchtigkeit ist oft gering, Schadstoffe aus Industrie und Verkehr belasten sie (Sukopp & Wittig, 1993). Stadlandschaften sind aber zugleich vielfältiger als so manche intensiv genutzte Agrarlandschaft. Prägen dort wenige Feldfrüchte Hektar um Hektar, liegen in Städten schattige Parks, verkehrsumtostes Abstandsgrün und kleinteilige Gartenanlagen oft dicht beieinander – um nur wenige Beispiele zu nennen.

Auf Pflanzen und Tiere wirken Städte deshalb wie Filter (Crocì et al., 2008; Williams et al., 2015): Wer passende Eigenschaften mitbringt, wird hier gedeihen, alle anderen werden sich schwertun. Pflanzen mit behaarten Blättern, die Licht reflektieren und sich so vor Hitze schützen, wachsen beispielsweise problemlos entlang trockener, schattenfreier Straßen. Pflanzen, die bereits wenige Wochen nach dem Auskeimen Samen produzieren, schaffen es oft, sich fortzupflanzen, bevor ein Fuß sie platt tritt. Allesfresser, wie die Füchse, finden Nahrung an Komposthaufen oder an Mülltonnen. Vögel, die

noch vor dem morgendlichen Berufsverkehr singen, hören einander.

Betrachten wir eine Stadt im Vergleich mit der sie umgebenden Landschaft, so werden wir in ihr wahrscheinlich mehr Pflanzen- und z. T. auch Tierarten finden, als in ihrem Umland (Balmford et al., 2001; Kühn et al., 2004). Die Vielfalt der Lebensräume in Städten bietet ihnen viele verschiedene Nischen. Mit unseren Handels- und Verkehrsströmen sorgen wir zudem dafür, dass zahlreiche Arten aus anderen Weltregionen in unsere Städte gelangen. Deswegen werden wir große Überlappungen finden, wenn wir die Tier- und Pflanzenwelt nord- und süddeutscher oder tschechischer und amerikanischer Städte vergleichen. Regional betrachtet ist die Biodiversität der Städte also hoch, doch auf globaler Ebene wird sichtbar, dass sie tatsächlich viele Allerweltsarten beherbergen.

Dennoch können Städte einen wichtigen Beitrag zum Schutz seltener und gefährdeter Arten leisten. Das Tempelhofer Feld in Berlin – früher Flughafen, heute beliebter Sport-, Grill- und



Das Tempelhofer Feld in Berlin ist von ausgedehnten Wiesenflächen geprägt, die extensiv gepflegt werden. Hier ist die Feldlerche zu Hause.

Foto: Sonja Knapp



Wohnumfeld muss nicht aus monotonen Rasen- und Kiesflächen bestehen. Hier wächst das Taubenkropf-Leimkraut auf einer vor kurzem im Rahmen des Projektes „Treffpunkt Vielfalt“ naturnah gestalteten Fläche. Foto: Sonja Knapp

Tummelplatz – beherbergt auf seinen ausgedehnten Wiesen über 200 Brutpaare der Feldlerche (berlin.de, 2019). Ihre Nester baut diese Vogelart auf dem Boden, versteckt zwischen hohem Gras. Ihre Bestände in Deutschland nehmen immer stärker ab, da Wiesen in Äcker verwandelt oder zu häufig gemäht werden. Die Feldlerche ist daher gefährdet (Witt & Steiof, 2013). Auf dem Tempelhofer Feld inmitten Deutschlands größter Stadt bedroht dagegen kein Mähdrescher ihre Nester.

Selbst entlang von Straßen können wertvolle Biotope gedeihen: Seit die Stadt Bamberg Magerwiesen und Sandmagerrasen entlang ihrer Straßenbankette angelegt hat, wachsen gefährdete Pflanzen, wie Alpen-Leinblatt und Violette Königskerze unweit des fließenden Verkehrs (Stadt Bamberg, 2014).

Städte haben also das Potential, eine hohe Biodiversität zu unterstützen. Um dieses Potential voll zu entfalten, muss die Vielfalt der Lebensräume in Städten erhalten werden – so wie die gestaltete Natur der Parks und Gärten, die wilde Natur entlang der Bahnlinien, die Reste ursprünglicher Natur in Auenwäldern und die Zeugen der Kulturlandschaft auf Streuobstwiesen. Alle Arten der Stadtnatur gemeinsam

schaffen die Vielfalt an Lebensräumen, die wir brauchen, um die Vielfalt der Arten zu erhalten (Kowarik, 1992).

Dazu kommt das richtige Maß an Pflege. Die Wiesen auf dem Tempelhofer Feld müssen gemäht werden, damit sie Wiesen bleiben. Werden sie aber zu früh im Jahr gemäht, werden die Nester der Feldlerchen zerstört. Werden Bäume gefällt, verliert ein Heer an Insekten sein Zuhause. Füllen wir unsere Vorgärten mit Kies anstelle vielfältiger Blumenbeete, werden sich weder Schmetterlinge noch Hummeln einstellen.

Stadtnatur steht unter Druck. Der wachsende Bedarf nach Wohnungen in Deutschlands Städten lässt Grünflächen verschwinden. Der Schutz der Biodiversität muss stärker als bisher in Städtebauförderung, Stadtplanung und Baurecht verankert werden. Das Bewusstsein für den Wert der Biodiversität und das Wissen über Tiere und Pflanzen in unseren Städten sollte gefördert werden – bei Bau- und Gartenbauunternehmen, Anwohnern, Verwaltungen und nicht zuletzt bei Kindern. Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern können hier Wissen weitertragen und vermitteln.

Quellen

- Balmford, A., Moore, J.L., Brooks, T., Burgess, N., Hansen, L.A., Williams, P. & Rahbek, C. (2001). Conservation Conflicts Across Africa. *Science*, 291(5513), 2616-2619. doi:10.1126/science.291.5513.2616
- Feldlerchen-Rekord auf Tempelhofer Feld: Sperrungen ab April. (2019, 27. März). [berlin.de]. Abgerufen am 30. Juli 2019.
- Croci, S., Butet, A. & Clergeau, P. (2008). Does Urbanization Filter Birds on the Basis of Their Biological Traits? *The Condor*, 110(2), 223-240. doi:10.1525/cond.2008.8409
- Kowarik, I. (1992). Das Besondere der städtischen Vegetation. *Schriftenreihe des Deutschen Rates für Landespflege*, 61, 33-47.
- Kühn, I., Brandl, R. & Klotz, S. (2004). The flora of German cities is naturally species rich. *Evolutionary Ecology Research*, 6, 749-764.
- Stadt Bamberg, Referat 5 Amt für Umwelt, Brand- und Katastrophenschutz. (2014). *natur. vielfalt. bamberg. Biodiversitätsstrategie. Bamberger Strategie für Biologische Vielfalt*. Bamberg, Germany: Druckerei & Verlag K. Urlaub.
- Stiftung Mensch & Umwelt. (2019). *Treffpunkt Vielfalt – Naturnahe Gestaltung und Pflege von Freiflächen in Wohnquartieren* [www.stiftung-mensch-umwelt.de].
- Sukopp, H. & Wittig, R. (1993). *Stadtökologie*. Stuttgart, Germany: Gustav Fischer Verlag.
- Williams, N.S.G, Hahs, A.K. & Vesk, P.A. (2015). Urbanisation, plant traits and the composition of urban floras. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics*, 17, 78–86. doi:10.1016/j.ppees.2014.10.002
- Witt, K. & Steiof, K. (2013, 15. November). Rote Liste und Liste der Brutvögel von Berlin (3. Fassung). *Berliner ornithologische Berichte*, 23, 1-23.

BIODIVERSITÄTSWANDEL UND SCHWUND NATÜRLICHER FLÄCHEN DURCH VERSTÄDTERUNG

Unsere Städte – neue Spielfelder der Evolution?

Autorin: Dr. Sonja Knapp (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Etlliche Tier- und Pflanzenarten entwickeln in Städten neue und oftmals überraschende Verhaltensweisen. Werden diese Verhaltensänderungen an die Nachkommen weitergegeben? Und entwickeln sich Städte zu modernen Hotspots der Evolution mit neuen Arten, die sich effizient und schnell an extreme Umweltbedingungen anpassen? Kann man wirklich schon von Evolution sprechen, wenn Arten ihr Verhalten ändern?

- Tiere und Pflanzen verändern in Städten ihre Kommunikations- und Ausbreitungsmuster.
- Es wird auch schon beobachtet, dass sich bei einzelnen Arten Unterschiede über mehrere Generationen hinweg manifestieren können.
- Grundlegende Forschungsfragen, wie die Folgen für die biologische Vielfalt, sind noch offen.

Städte sind nicht nur Treiber des Verlustes von Biodiversität, sie scheinen zugleich die Evolution anzutreiben. Beobachtungen und Versuche der letzten Jahre haben gezeigt, dass sich Pflanzen und Tiere in Städten anders verhalten als auf dem Land – selbst, wenn es sich bei ihnen um Angehörige derselben Art handelt. Tiere verändern ihre Kommunikationsmuster, Pflanzen setzen auf angepasste Ausbreitungsmechanismen. Sie reagieren auf die extremen städtischen Umweltbedingungen – auf versiegelte Flächen, Lärm und Schadstoffe. Können wir inmitten eines von Menschen dominierten Lebensraums die Entstehung neuer Arten mitverfolgen?

Die Evolution galt lange als ein Prozess, der Jahrtausende benötigt, um neue Arten hervorzubringen. Zunehmend beobachten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler allerdings sehr viel schnellere Veränderungen (Alberti et al., 2015; Cheptou et al., 2008; Reisch et al., 2009; Schilthuizen et al., 2018; Wieneke et al., 2004). Sowohl die Landwirtschaft als auch Städte können die Umwelt so stark wandeln, dass Tiere und Pflanzen sich in ihrem Verhalten oder ihrem Körperbau daran anpassen.

In Städten ist der Verkehrslärm oft so groß, dass verschiedenste Tierarten sich neue Kommuni-

kationsstrategien zulegen. Männliche Grashüpfer haben die Frequenz ihrer Gesänge so verändert, dass die Weibchen sie auch entlang von Straßen hören können. Dagegen bleiben Männchen, die ihre alte Frequenz beibehalten, ungehört, denn diese ähnelt der von Autos (Lampe et al., 2014). So sinkt die Chance auf Nachwuchs. Vögel singen in Städten oft früher als ihre Artverwandten auf dem Land – nicht, weil der frühe Vogel den Wurm fängt, sondern weil die Verständigung zwischen den Tieren besser funktioniert, bevor die morgendliche Rush hour einsetzt (Nemeth et al., 2013; Nordt et al., 2013).

Auch das kulinarische Angebot unserer Städte kann das Verhalten von Tieren beeinflussen. Füchse, die auf dem Land meist alleine große Reviere durchstreifen, um genügend Futter zu ergattern, finden sich in Städten zu Verbänden zusammen. Komposthaufen, Mülltonnen und achtlos an den Wegrand geworfenes Fast Food erweitern den Speiseplan und ermöglichen so kleinere Reviere und geselliges Zusammenleben (Gloor et al., 2006).

Nicht zuletzt der inselhafte Charakter städtischer Grünflächen fordert Tiere und Pflanzen heraus. Pflanzen können nicht herumlaufen, um sich fortzupflanzen. Sie sind darauf angewiesen,



Amseln singen in Städten bis zu fünf Stunden früher als ihre Artgenossen auf dem Land. So vermeiden sie es, vom morgendlichen Verkehrslärm übertönt zu werden und reagieren auf künstliches Licht, das ihren natürlichen Tag-Nacht-Rhythmus stört.
Foto: André Künzelmann, UFZ



Verkehrslärm beeinträchtigt die Kommunikation von Tieren. Um einander dennoch zu verstehen, passen verschiedene Tiere die Zeit oder Art zu singen an, beispielsweise Vögel, Grashüpfer und Frösche.
Foto: André Künzelmann, UFZ

dass Wind, Wasser, Menschen oder Tiere ihre Samen an andere Orte transportieren. Der Hasen-Pippau, ein gelbblühendes Asterngewächs, verfolgt zwei unterschiedliche Strategien, um seine Samen zu verbreiten – entweder direkt neben die Mutterpflanze fallen oder mit einem Schirmchen ausgestattet vom Wind davontragen lassen. Dumm nur, wenn der Wind den fliegenden Samen auf undurchdringlichem Asphalt absetzt. In Städten lässt der Hasen-Pippau seine Samen meistens fallen, denn wo schon eine Pflanze wächst, ist das Risiko, auf einer versiegelten Fläche zu landen, gering (Cheptou et al., 2008).

Viele unbeantwortete Forschungsfragen

Dies sind nur wenige der Anpassungen, die bisher bei Pflanzen und Tieren als Reaktion auf Stadtumwelten beobachtet werden konnten. Kann man sie als Evolution bezeichnen? Wenn Grashüpfer sich an Straßen anders verhalten als in ruhigen Parks, sind sie vielleicht einfach flexibel – so, wie auch Menschen ihre Stimm- lage und Sprechlautstärke variieren können. Experimente haben jedoch gezeigt, dass die Nachfahren von Grashüpfern, wenn sie im Labor aufgezogen werden, sich entsprechend der Herkunft ihrer Eltern verhalten (Lampe et al., 2014): Die Kinder der „Straßen-Grashüpfer“

singen mit veränderter Frequenz, die Kinder der „Park-Grashüpfer“ dagegen nicht – obwohl beide im Labor denselben Bedingungen ausgesetzt sind.

Was bedeutet das alles für die biologische Vielfalt? Hat es Konsequenzen für den Artenschutz? Wie wird sich diese von Menschen unbeabsichtigt angetriebene Evolution auf das Zusammenleben unterschiedlicher Tiere und Pflanzen auswirken? Welche Effekte werden neue Arten auf das Funktionieren von Ökosystemen – beispielsweise auf Stoffkreisläufe – haben? Entstehen für uns Menschen problematische Arten oder, im Gegenteil, solche mit für uns positiven Eigenschaften?

Derzeit stehen in der Forschung zu Städten als Treibern der Evolution noch grundlegendere Fragen im Fokus: Welche Veränderungen können wir überhaupt beobachten und was verursacht sie? Mögliche Konsequenzen zu beleuchten, ist eine Aufgabe für zukünftige Studien.

Wenn sich solche Unterschiede über mehrere Generationen hinweg manifestieren, können die unterschiedlichen Gruppen die Fähigkeit, miteinander zu kommunizieren und damit gegenseitiges Interesse zu bekunden, verlieren. Was wir in Städten beobachten, könnte also in der Tat die Entwicklung neuer Arten sein.

Quellen

- Alberti, M. (2015). Eco-evolutionary dynamics in an urbanizing planet. *Trends in Ecology and Evolution*, 30(2), 114-126. doi:10.1016/j.tree.2014.11.007
- Cheptou, P. O., Carrue, O., Rouifed, S. & Cantarel, A. (2008). Rapid evolution of seed dispersal in an urban environment in the weed *Crepis sancta*. *PNAS*, 105(10), 3796-3799. doi:10.1073/pnas.0708446105
- Gloor, S., Bontadina, F. & Hegglin, D. (2006). *Stadtfüchse. Ein Wildtier erobert den Siedlungsraum*. Bern, Stuttgart, Wien: Haupt Verlag.
- Lampe, U., Reinhold, K. & Schmoll, T. (2014). How grasshoppers respond to road noise: developmental plasticity and population differentiation in acoustic signalling. *Functional Ecology*, 28(3), 660-668. doi:10.1111/1365-2435.12215
- Nemeth, E., Pieretti, N., Zollinger, S. A., Geberzahn, N., Partecke, J., Miranda, A. C. & Brumm, H. (2013). Bird song and anthropogenic noise: vocal constraints may explain why birds sing higher-frequency songs in cities. *Proceeding of the Royal Society B-Biological Sciences*, 280(1754), 1-7. doi:10.1098/rspb.2012.2798
- Nordt, A. & Klenke, R. (2013). Sleepless in Town – Drivers of the Temporal Shift in Dawn Song in Urban European Blackbirds. *PLoS ONE*, 8(8):e71476, 1-10. doi:10.1371/journal.pone.0071476
- Parris, K. M., Velik-Lord, M. & North, J. M. A. (2009). Frogs call at a higher pitch in traffic noise. *Ecology and Society*, 14(1):25. ecologyandsociety.org/vol14/iss1/art25/
- Reisch, C. & Poschlod, P. (2009). Land use affects flowering time: seasonal and genetic differentiation in the grassland plant *Scabiosa columbaria*. *Evolutionary Ecology*, 23(5), 753-764. doi:10.1007/s10682-008-9270-4
- Schilthuizen, M. (2018). *Darwin comes to town. How the Urban Jungle Drives Evolution*. New York, USA: Picador.
- Wieneke, S., Prati, D., Brandl, R., Stocklin, J. & Auge, H. (2004). Genetic variation in *Sanguisorba minor* after 6 years in situ selection under elevated CO₂. *Global Change Biology*, 10(8), 1389-1401. doi:10.1111/j.1365-2486.2004.00813.x

BIODIVERSITÄTSWANDEL UND SCHWUND NATÜRLICHER FLÄCHEN DURCH VERSTÄDTERUNG

Wie ernst ist es uns mit der Eindämmung des Flächenverbrauchs?

Autorinnen: Dr. Jana Bovet, Dr. Elisabeth Marquard (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Zwischen 60 und 70 Hektar, eine Fläche so groß wie 90 Fußballfelder, gehen in Deutschland für Verkehrs- und Siedlungsflächen verloren – und zwar Tag für Tag. Dabei sind längst nicht nur die großen Städte das Problem. Der Flächenverbrauch findet mit starker Dynamik auch in kleineren und ländlichen Kommunen statt. Das Forschungsprojekt SURFACE sucht nach den Gründen, warum es trotz ehrgeiziger Ziele innerhalb der Europäischen Union kaum Fortschritte bei einem nachhaltigen Umgang mit Naturflächen gibt. Welche Strategien wären erfolgversprechend?

- Schon seit den 1950er-Jahren wird der hohe Flächenverbrauch in Deutschland als ein gravierendes Problem identifiziert.
- Die Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen hat sich in letzter Zeit innerhalb der EU sogar wieder beschleunigt.
- Das Forschungsprojekt SURFACE untersucht Instrumente und Wege, um den Flächenverbrauch einzudämmen.

Flächenfraß in Europa

In Europa dehnen sich Siedlungs- und Verkehrsflächen kontinuierlich weiter aus, innerhalb der Europäischen Union jährlich um etwa eine Fläche, die der Größe Berlins entspricht. Fast 1000 km² Ackerfläche, natürliche bzw. naturnahe Flächen gehen dadurch jährlich verloren. Dies geht mit zahlreichen negativen ökologischen, wirtschaftlichen und sozialen Folgen einher und trägt zum weiteren Verlust der biologischen Vielfalt bei, weil Böden versiegelt und Landschaften zerschnitten werden.

Schon in den 1970er-Jahren wurde der Flächenverbrauch durch den Rat der Sachverständigen für Umweltfragen als ein gravierendes Problem identifiziert und Lösungen angemahnt. Heute – fast fünfzig Jahre später – stellt sich umso mehr die Frage, warum der Flächenverbrauch weiterhin auf hohem Niveau verharrt, welche Strategien und Instrumente in der EU und den EU-Mitgliedsstaaten zur Reduzierung des Flächenverbrauchs angewendet werden und ob diese den erhofften Erfolg bringen.

Strategien zur Reduzierung des Flächenverbrauchs

Diese Fragen stehen im Mittelpunkt des vom Umweltbundesamt (UBA) geförderten Vorhabens SURFACE („Internationale Maßstäbe und Strategien für die Reduzierung des Flächenverbrauchs – Ableitung von Zielen, Indikatoren und Monitoringkonzepten“). Unter Flächenverbrauch versteht man dabei die Neuinanspruchnahme freier Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke, das heißt für Gebäude und Verkehrsflächen, Betriebsflächen, Freiflächen (z.B. Brachen), Erholungsflächen wie Parks und Gärten sowie Friedhöfe.

Flächeninanspruchnahme ist demnach nicht identisch mit Flächenversiegelung. So ist in Deutschland etwa die Hälfte der in Anspruch genommenen Fläche versiegelt.

Die Debatte um Flächenverbrauch

Um zu analysieren, wie das Problem des Flächenverbrauchs in verschiedenen europäischen Ländern wahrgenommen und diskutiert und mit welchen Maßnahmen ihm begegnet wird, wurden im Jahr 2018 im Rahmen des SURFACE-Projekts Befragungen unter mehr als 20 Expertinnen und Experten aus 16 verschiedenen europäischen Ländern und zusätzlich Literaturstudien durchgeführt.

Die bisher vorliegenden Ergebnisse aus dieser Untersuchung zeichnen folgendes Bild: In allen betrachteten Ländern wird Flächenverbrauch zumindest von bestimmten Expertenkreisen als gravierendes Problem eingeschätzt, das Problembewusstsein in Politik und Öffentlichkeit ist aber sehr unterschiedlich ausgeprägt. Und selbst dort, wo es eindeutige politische Absichtserklärungen zur Eindämmung des Flächenverbrauchs gibt, setzen sich in der Praxis vielfach andere Interessen durch.

In ökonomisch schwächeren und entweder von der Finanzkrise im Jahr 2008 oder von den post-kommunistischen gesellschaftlichen und ökonomischen Umbrüchen stark betroffenen Ländern scheint Flächensparsamkeit ganz besonders als Widerspruch zu dem gewünschten wirtschaftlichen Aufschwung wahrgenommen zu werden.

Eine neue Hoffnung: Die EU

Einige Hoffnung ruht auf der von der EU und ihren Mitgliedsstaaten eingegangenen Verpflichtung, die Nachhaltigen Entwicklungsziele der Vereinten Nationen (englisch Sustainable Development Goals, SDGs) umzusetzen. Die SDGs enthalten unter anderem die Ziele, Städte nachhaltig zu entwickeln (SDG 11.3) und die Land-Degradation zu bekämpfen (Ziel 15.3). Aktuell sind jedoch auf europäischer Ebene noch keine deutlichen Fortschritte erkennbar. Die Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen hat sich in letzter Zeit innerhalb der EU sogar wieder beschleunigt (eurostat, 2018).



Abb. 1: Beispiel für eine Neubausiedlung im Außenbereich.

Abb. 2: Beispiel für eine Gewerbeansiedlung.

Fotos: Ansgar Wernst

Die Lage in Deutschland

Und wie sieht es in Deutschland aus? In den vergangenen 15 Jahren hat sich die Ausdehnung der Siedlungs- und Verkehrsflächen zwar insgesamt verlangsamt. Dennoch liegt die tägliche Flächeninanspruchnahme mit 60 bis 70 Hektar noch weit entfernt von dem von der Bundesregierung im Jahr 2002 beschlossenen 30-Hektar-Ziel für das Jahr 2020.

In der Neuauflage der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie aus dem Jahr 2016 hat die Bundesregierung auf die absehbare Verfehlung des 30-Hektar-Ziels kurzerhand mit einer Kurskorrektur reagiert und das Ziel auf einen Wert von „unter 30 Hektar pro Tag“ bis zum Jahr 2030 modifiziert (Die Bundesregierung, 2016, S. 159).

Ein Großteil des Flächenverbrauchs in Deutschland findet in eher kleineren und ländlichen Kommunen statt. Während in Städten inzwischen ein Trend zu einer flächensparenden Verdichtung zu erkennen ist, steigt der Flächenverbrauch pro Kopf in ländlichen Kommunen weiter an, obwohl ihre Bevölkerungsdichte

stagniert oder sogar sinkt (Siedentop, 2018). Dies erklärt sich maßgeblich daraus, dass Kommunen höhere Steuereinnahmen erhoffen, wenn Einwohner oder Unternehmen zuziehen. Diese Rechnung geht jedoch oftmals nicht auf, da mit der Ausweisung von neuen Wohn- und Gewerbegebieten auch dauerhaft Infrastrukturkosten für eine Kommune entstehen.

Rechtliche Veränderungen

Gefördert wurde das Flächensparen in den vergangenen Jahren durch einige rechtliche Veränderungen: Insbesondere die Neugewichtung des Bodenschutzbelangs im Recht der Bauleitplanung, die Einführung des besonderen Planungstyps „Bebauungspläne der Innenentwicklung“ (2006) und das 2013 in Kraft getretene

Gesetz zur Stärkung der Innenentwicklung sind hier zu nennen.

Letzteres sieht u.a. eine besondere Begründungspflicht bei Umwandlung landwirtschaftlich oder als Wald genutzter Flächen vor (§ 1a Abs. 2 S. 4 BauGB). Zusätzlich gibt es die Ergänzung des Schutzgutkataloges der Strategischen Umweltprüfung mit dem Schutzgut „Fläche“ (§ 2 Abs. 1 Nr. 3 UVPG). Durch den 2017 eingeführten § 13b BauGB hat der Bundesgesetzgeber zwischenzeitlich jedenfalls temporär – die Geltung der Regelung ist noch bis zum 31.12.2019 befristet – das Signal wieder in die andere Richtung gestellt.

Ob in Deutschland angesichts des nicht eindeutigen und konsequenten Kurses zumindest das

ESKP-Infobox: Flächennutzung

Deutschland hat eine Fläche von 357.582 Quadratkilometern (km²) (Stand 2017). Zur dieser Fläche gehören etwa Waldflächen, landwirtschaftlich genutzte Flächen, Gewässer (Seen, Flüsse, Kanäle, nahe Küstengewässer) sowie Siedlungs- und Verkehrsflächen.

Die Nutzungsweise von Flächen lässt sich durch die Auswertung von Grundstückskatastern ermitteln. Inzwischen werden aber auch zunehmend Fernbeobachtungsmittel wie Luftbilder und Satellitendaten zur Ermittlung der Flächennutzung herangezogen.

- Nach Angaben des Umweltbundesamtes, die auf Basis des amtlichen Liegenschaftskatasterinformationssystems der Bundesländer erstellt wurden, wurden im Jahr 2016 50,9 % der Gesamtfläche landwirtschaftlich genutzt.
- 30,8 % der Gesamtfläche waren bedeckt von Wäldern und Gehölzen (davon Wälder 29,7 %).
- Die Siedlungs- und Verkehrsfläche (SuV-Fläche) umfasste 13,8 % und war damit 2016 die drittgrößte Nutzungsart.
- Gewässer im Sinne der obigen Definition nahmen 2,3 % der Fläche Deutschlands ein.
- Die restlichen Anteile der Gesamtfläche (11.300 km²) werden als „sonstige Flächen“ geführt. Dazu zählen zum Beispiel „Abbauland“ wie Kies- oder Braunkohlegruben sowie „Unland“ wie Felsen, ehemalige Militärgelände oder ehemalige Abraumhalden. Seit 2016 werden zum sogenannten „Unland“ auch ungenutzte Vegetationsflächen (z.B. Heideland, Moore, Sümpfe) gerechnet.



Abb. 3: Beispiel für eine Neubausiedlung.
Bild: Ansgar Wernst

Quelle: Umweltbundesamt. (2019, 5. Juni). Struktur der Flächennutzung. Abgerufen 31. Juli 2019.

auf 2030 hinausgeschobene Ziel erreicht werden kann, bleibt fraglich, denn um dieses zu erreichen, müssten Ländern und Kommunen wissen, welchen Beitrag sie zu leisten haben.

Ein in Bayern durchgeführtes, breit unterstütztes Volksbegehren zur Einführung einer Flächenverbrauchsobergrenze von fünf Hektar pro Tag ist im Jahr 2018 aus formalen Gründen vom Bayerischen Verfassungsgerichtshof gestoppt worden (Süddeutsche Zeitung, 17.07.2018). Gleichwohl wurde im Freistaat eine Diskussion zum Flächenverbrauch angestoßen. Und in den Koalitionsvertrag 2018–2023 von CSU und Freien Wählern wurde immerhin eine – allerdings

unverbindliche – Richtgröße von fünf Hektar pro Tag Flächenneuanspruchnahme aufgenommen.

Es ist wichtig, dass diese Ziele ernstgenommen und mit Strategien und Instrumenten gestützt werden, denn es bleibt nicht viel Zeit bis 2030. Angesichts der Tatsache, dass die Ressource „Fläche“ endlich ist und eine Inanspruchnahme häufig den quasi irreversiblen Verlust von vielen Ökosystemleistungen zur Folge hat, ist ein konsequentes Flächensparen in Deutschland und allen anderen europäischen Ländern dringend erforderlich.

Quellen

- BMZ – Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung. (2017). *Der Zukunftsvertrag für die Welt. Die Agenda 2030 für nachhaltige Entwicklung*. Bonn/Berlin: BMZ.
- Der Rat der Sachverständigen für Umweltfragen. (1974). *Umweltgutachten 1974*. Stuttgart/Mainz: Kohlhammer.
- Die Bundesregierung. (2016). *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie. Neuauflage 2016*. Berlin, Germany: Presse- und Informationsamt der Bundesregierung.
- eurostat. (2018). *Sustainable development in the European Union. Monitoring Report on Progress Towards the SDGs in an EU Context (2018 edition)*. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Siedentop, S. (2018). Ursachen der Flächeninanspruchnahme in Deutschland – eine Zwischenbilanz. In M. Behnisch, O. Kretschmer & G. Meinel (Hrsg.), *Flächeninanspruchnahme in Deutschland. Auf dem Wege zu einem besseren Verständnis der Siedlungs- und Verkehrsflächenentwicklung* (S. 45-55). Berlin, Heidelberg, Germany: Springer Spektrum.
- Verfassungsrichter stoppen Volksbegehren zum Flächenverbrauch. (2018, 17. Juli). *Süddeutsche Zeitung* [sueddeutsche.de]. Abgerufen am 29.07.2019.

BIODIVERSITÄTSWANDEL UND SCHWUND NATÜRLICHER FLÄCHEN DURCH VERSTÄDTERUNG

Lichtverschmutzung. Wie wirken erhellte Nächte auf Tiere und Pflanzen?

Interview mit Dr. Christopher Kyba (Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ) und Prof. Dr. Martin Wahl (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Deutschland wird jedes Jahr mindestens 2 Prozent heller. Die beleuchtete Fläche vergrößert sich im gleichen Maße. Das künstliche Licht verändert Lebensräume. Insbesondere Licht an Gewässern ist problematisch, denn Larven orientieren sich unter Umständen falsch und auch Plankton bewegt sich lichtabhängig. Darüber hinaus sollten wir Stadtgrenzen besondere Beachtung schenken. Mit der Webanwendung Radiance Light Trends lässt sich die Entwicklung der Helligkeit seit 2012 analysieren.

Dr. Christopher Kyba vom Deutschen GeoForschungsZentrum sagt im Interview, dass Licht den größten Effekt an Orten hat, an denen es wenig Licht gibt. Wenn wir eine neue Beleuchtung mitten in einer Stadt schaffen, dann ist die Wirkung gering, da es bereits eine hohe Grundhelligkeit gibt. Wenn jedoch Licht in der Nähe eines Ortes installiert wird, der vorher unbeleuchtet war wie z.B. an einem Gewässer oder Wald, dann hat das eine viel größere Wirkung als ein neues Licht in der Stadt. Daher sollten wir uns vor allem um die Grenze, das heißt den Übergang zwischen Stadt und Natur sorgen, also dort, wo zum Beispiel Gewässer sind oder wenn die Stadt auf einen Wald trifft.

Blaulicht eher problematisch

Es gibt mehrere Gründe, warum Blaulicht eher problematisch ist. So erzeugt Blaulicht mehr Himmelshelligkeit. Auch ist das menschliche Auge empfindlicher gegenüber Blaulicht. Viele Tiere reagieren empfindlicher auf Blaulicht als auf Licht, das in anderen Wellenlängenbereichen liegt. Es gibt also mehrere Gründe, warum es hilfreich wäre, den Blaulichtanteil zu minimieren. Aber es ist keine perfekte Antwort, die immer stimmt und überall zutrifft. Es wird immer Tiere geben, die eine höhere Empfindlichkeit gegenüber Licht haben, das im grünen oder roten Wellenlängenbereich liegt.

Wirkung von Licht an Gewässern

Prof. Dr. Martin Wahl vom GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel äußert, dass es zum einen den Tag-Nachtrhythmus gibt, der natürlich durch das Licht gesteuert ist. Andererseits ist es aber auch so, dass Licht zur Orientierung genutzt wird – sowohl beim Plankton wie auch bei vielen mobilen Arten in der Wassersäule. Ganz wichtig ist das Licht bei der Entscheidungsfindung von Larven, z.B. Larven von benthischen Tieren, die sich durch die Wassersäule bewegen. Sie suchen sich einen geeigneten Standort aus – das heißt einen Standort in einer geeigneten Tiefe und in einer geeigneten Orientierung für die Tiere. So erkennen sie Überhänge, Ebenen oder bestimmte Tiefen anhand der Lichtverhältnisse. Wenn es künstliche Lichtquellen gibt, dann ist das Orientierungsvermögen der Larven stark beeinträchtigt. Als Folge sitzt der neue Organismus, der sich aus der Larve entwickelt hat, möglicherweise am falschen Ort und kann nicht überleben. Zusammenfassend lässt sich festhalten:

- Künstliches Licht verändert Lebensräume
- Larven orientieren sich möglicherweise falsch.
- Plankton bewegt sich lichtabhängig.
- Licht an Gewässern ist problematisch.

Wirkung auf Pflanzen und Tiere

Im Anschluss weist Dr. Christopher Kyba darauf hin, dass es viele Beispiele dafür gibt, wie Licht auf Tiere und Pflanzen wirkt. Manche Baumarten verlieren ihre Blätter viel später im Herbst oder bekommen sie eher im Frühling. Für Großbritannien wurde zum Beispiel gezeigt, dass Bäume bis zu eine Woche früher ihre Blätter bekommen, wenn sie angestrahlt werden. Es gibt auch große Wirkungen auf Insekten. Häufig fliegen sie rund um Lampen anstatt Nahrung zu suchen oder sich zu paaren. Es ist auch eine große Gefahr für Zugvögel, insbesondere dann, wenn schlechtes Wetter ist. Dann fliegen die Vögel tief und kommen in beleuchtete Orte. Viele Vögel sterben jedes Jahr dadurch, dass sie in beleuchtete Gebäude fliegen. Deswegen gibt es den Vorschlag, die Fassadenbeleuchtung in der Zugvogelzeit auszumachen.

Beleuchtung pro Kopf in Deutschland und Europa

Deutschland sei laut Kyba sehr konservativ mit der Beleuchtung. In Deutschland wird zum Beispiel pro Kopf viel weniger Licht genutzt als in den meisten anderen wohlhabenden Ländern. Wir haben deswegen einen besseren Sternblick als etwa in den USA oder Belgien. Die Niederlande und Belgien sind hell beleuchtet – teilweise, weil sie so dicht besiedelt sind und teilweise auch, weil in Belgien so viele Straßen angestrahlt werden. In anderen Ländern ist die Beleuchtung pro Kopf sogar noch größer: Spanien und Italien sind viel stärker beleuchtet als Deutschland.

Der Wechsel zu LED-Beleuchtung

Zudem gäbe es momentan einen großen Wechsel hin zur LED-Beleuchtung. Mittels Satelliten wurde gemessen, wie sich die beleuchtete Fläche zwischen 2012 und 2016 verändert hat. Dadurch konnten die Forscher sehen, dass die Menge an Licht, die nach oben geht, mit ungefähr zwei Prozent pro Jahr wächst. Auch die beleuchtete Fläche vergrößert sich um zwei Prozent pro Jahr. „Wir wissen nicht genau, welche

Veränderungen für dieses neue Licht verantwortlich sind – ob es sich um öffentliche Beleuchtung, Werbebeleuchtung oder Privatbeleuchtung handelt“, so Kyba. Das Problem ist auch, dass wir das Ausmaß eigentlich unterschätzen, denn die Satelliten messen nicht in dem gleichen Spektralgebiet wie das menschliche Auge. Deshalb lässt sich sagen: Es sind mindestens zwei Prozent pro Jahr, für das menschliche Auge hingegen mehr. Das aller schlechteste Licht stellen Straßenlaternen dar, die ein bisschen Licht nach oben, aber vor allem seitwärts strahlen. Das Licht strahlt direkt in Richtung der Straßen. Wenn es dort keine Gebäude gibt, die das Licht blockieren, ist das besonders problematisch.

Radiance Light Trends zeigt wie sich die Helligkeit eines Ortes über die Zeit verändert

Dr. Christopher Kyba hat die Webanwendung „Radiance Light Trends“ entwickelt. In der Webanwendung kann jeder Nutzer eine Fläche in Form von Polygonen auswählen. Radiance Light Trends zeigt dann, wie sich das Licht auf dieser Fläche von 2012 bis heute entwickelt hat. Man kann dann zum Beispiel sehen, wie viel Licht von einem Gewächshaus ausgeht im Vergleich zu einer Stadt oder wie sich die Helligkeit unserer Stadt über die Zeit verändert.

- Geschätzt ein Drittel unseres Lichtes nützt niemandem.
- Eine gleichmäßige Ausleuchtung würde Licht sparen. Menschen nehmen sie als heller wahr.
- Das Projekt „Verlust der Nacht“ hilft bei der Erforschung der Lichtemissionen. Jeder kann mitmachen.
- „Radiance Light Trends“ zeigt Stadtplanern die Veränderung der Helligkeit des Himmels weltweit.

Die Interviews führte Jana Kandarr (ESKP-Wissensplattform Erde und Umwelt).

6. Wie gelingt Renaturierung?

Einleitung

Der Wert naturnaher Flächen für die Artenvielfalt ist unbestritten. Während hier in Deutschland intensiv daran gearbeitet und geforscht wird, Flussauenlandschaften wieder zu reaktivieren, gehen an vielen Orten weltweit große Gebiete, die sich durch eine extrem hohe Biodiversität auszeichnen, durch gigantische Staudammprojekte verloren.

Vor dem Hintergrund des Klimawandels wird intensiv diskutiert, ob großflächige Aufforstungsprogramme und die verstärkte Nutzung von Bioenergiepflanzen eine gute Alternative sind, um CO₂ aus der Atmosphäre zu holen und in Biomasse festzulegen. Im Hinblick auf Biodiversität sind die Auswirkungen von Monokulturen zur Gewinnung von Bioenergie aber durchaus auch kritisch zu bewerten. Die Forschung zeigt zudem, dass eine hohe Artenvielfalt an Land helfen kann, um dem Nitratreintrag ins Grundwasser und der Gefahr der Überdüngung etwas entgegenzusetzen. Erstaunliche Ressourcen für Biodiversität bilden in Deutschland auch ehemalige Truppenübungsplätze.

Themen-Überblick

- ▶ Leitbilder für die Renaturierung von Flussauen schaffen
- ▶ Staudämme: Auen in der Amazonasregion erhalten
- ▶ Aufforstung und Bioenergie sind ambivalent
- ▶ Pflanzenvielfalt verbessert den Rückhalt von Nährstoffen
- ▶ Was wächst, wenn es nicht mehr kracht?

WIE GELINGT RENATURIERUNG?

Leitbilder für die Renaturierung von Flussauen schaffen

Autor: Dr. Christian Damm (Karlsruher Institut für Technologie KIT)

Nur ein Bruchteil der Flussauen in Deutschland ist noch annähernd naturnah erhalten. Inzwischen gibt es in Mitteleuropa kaum noch Auensysteme, die uns zeigen könnten, welchen ökologischen Zustand wir überhaupt anstreben wollen. Ohne Zugeständnisse, insbesondere was die Flächenverfügbarkeit anbetrifft, wird sich am schlechten Zustand der Auen nichts ändern. Grundsätzlich sind Auensysteme hoch dynamische Systeme, die sich hervorragend regenerieren. Eine multifunktionale Nutzung durch verschiedene Wirtschaftsakteure ist dabei durchaus möglich.

- Der Zustand von 90 Prozent der Auen ist deutlich bis stark verändert.
- Auen stellen aber ein Vielzahl von Ökosystemleistungen zur Verfügung.
- Es mangelt an konsensuellen Leitbildern, die es ermöglichen könnten, unter den derzeitigen Rahmenbedingungen ökologisch intakte Fluss- und Auenökosysteme wieder herzustellen.
- Immerhin gibt es gute Beispiele für einen besseren Umgang mit Flüssen und Auen.

Gehören Flüsse und Auen zu unseren letzten Naturparadiesen oder sind sie schon Opfer einer nicht mehr zu leugnenden Biodiversitätskrise? Wenn man die Bilanz des Bundesamtes für Naturschutz (Brunotte, 2009; BMU/BfN, 2009) liest, war bereits vor zehn Jahren der Zustand der Auen in Deutschland schlecht. 70–90 Prozent der Auen sind durch Deiche vom Fluss abgetrennt.

Der Zustand von 90 Prozent der Auen ist deutlich bis stark verändert und nur noch zehn Prozent sind naturnah erhalten – Trend weiter abnehmend. Die großflächig intensive landwirtschaftliche Nutzung in den Auen wie z. B. der Maisanbau an der Donau, der Umbau der Auwälder zu Hybridpappel-Plantagen am Oberrhein, der Verkehrs- und Siedlungsbau und mit ihnen das weitgehende Verschwinden der natürlichen Lebensräume beschreiben beispielhaft den aktuellen Auenzustand in Deutschland. Dass dies gravierende Folgen für die Biodiversität hat (Ellwanger et al., 2012), ist nicht weiter verwunderlich, sondern eine logische Konsequenz.

Doch was macht Auen so wertvoll für uns Menschen? Typisch für Auen ist der periodische Wechsel von Überschwemmung und Austrocknung. Dies bewirkt eine immense Struktur- und Lebensraumvielfalt mit räumlich und zeitlich großer Variabilität. Dadurch werden Auen zu „Hotspots der Biodiversität“ (Schneider et al., 2017). Kaum ein anderes Ökosystem stellt eine derartige Vielzahl von Ökosystemleistungen zur Verfügung (Constanza et al., 1997), welche die Basis vieler menschlicher Landschaftsnutzungen sind.

Dieser multifunktionale Charakter der Flussauen bringt gleichzeitig eine Vielzahl an Nutzern und Interessengruppen mit sich: Schifffahrt, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Wasserwirtschaft, Erholung und viele andere Nutzungsformen haben seit langem auf Flüsse und Auen eingewirkt, von ihnen profitiert und gleichzeitig ursächlich zu deren kritischer Situation geführt. Nennenswerte Verbesserungen lassen sich nur erreichen, wenn jeder einzelne Bereich zu erheblichen Änderungen bereit ist. Dass dies in Teilbereichen möglich ist, hat die deutliche

Verbesserung der Wasserqualität durch technischen Umweltschutz der vergangenen Jahrzehnte bewiesen.

Auenschutz braucht Flächen: Technische Lösungen greifen zu kurz

Die Verbesserungen des gesamtökologischen Zustandes von Auen erfordern darüber hinaus die Verfügbarkeit von Flächen. Gleiches gilt auch für den Hochwasserschutz und andere Auennutzungen. Der Verlust von überflutbaren Auen ist ohne die Bereitstellung von Raum nicht ausgleichbar. Aus Sicht der Forschung lässt sich sagen: Die bisherige, monosektoral ausgerichtete Nutzung wird heutigen Anforderungen an Flächennutzung nicht mehr gerecht. Beispielsweise kann eine Forstfläche nicht nur Holz produzieren, sondern auch Hochwasser zurückhalten, Grundwasser speichern und dabei gleichzeitig Auwaldhabitat und Erholungsraum sein. Multifunktionale Landschaftsnutzung durch sektorenübergreifende Strategien und Handlungen ist daher dringend erforderlich!

Gleichzeitig ist die Bereitschaft, bisherige Nutzungsweisen anzupassen oder in Einzelfällen auch darauf zu verzichten, ausgesprochen gering, sodass die Umsetzung von Renaturierungsprojekten meist auf Widerstand stößt. Die Strategie, die Probleme auf möglichst kleiner Fläche zu lösen, um Konflikte zu minimieren, führt z. B. im Hochwasserschutz zu technischen Lösungen, die allein die großräumigen Probleme nicht beheben. Ebenso wenig sind Minimalflächen-Lösungen für die Bewältigung der ökologischen Defizite zielführend.

Leitbilder für ökologisch intakte Auen fehlen heute fast gänzlich

Es mangelt heutzutage an Leitbildern, die als Grundlage eines gesellschaftlichen Konsenses dienen könnten. Hier ist die Wissenschaft gefragt. Sie kann klären, wie ökologisch intakte Fluss- und Auenökosysteme heute überhaupt aussehen können und was unter den derzeitigen Rahmenbedingungen wieder herstellbar ist? Wie kann eine multifunktionale Auennut-

Infokasten: Die Umsetzung des Isar-Plans

Im Rahmen des Isar-Plans wurde in München zwischen Deutschem Museum und dem Großhesseloher Wehr auf einer Strecke von acht Kilometern die Uferzone der Isar neu gestaltet. Das bisher kanalisierte Flussbett wurde aufgeweitet und neue Seitenarme sowie Flachwasserzonen angelegt. Als Folge kann sich der Fluss nun seinen natürlichen Lauf weitgehend wieder selber suchen.

Mit der Weideninsel wurde ein wertvolles Biotop für viele Tier- und Pflanzenarten geschaffen und bislang monotone Uferwiesen konnten zu Trockenwiesen umgewandelt werden. Durch die Umgestaltung wurden nicht nur die Voraussetzungen verbessert, damit sich neue Arten entlang der Isar ansiedeln. Gleichzeitig wurden die technischen Voraussetzungen des Hochwasserschutzes verbessert und die Aufenthalts- und Erholungsqualität erhöht.

Die Umbaumaßnahmen haben sich bereits bewährt. So verlief das erste große Hochwasser nach der abgeschlossenen Renaturierung im Juni 2013 glimpflich, weil den Wassermassen nun deutlich mehr Raum zur Verfügung stand.

zung gelingen? Die statischen Schutzstrategien, die auch heute noch die Schutzbemühungen dominieren, sind gescheitert. Heute kommt es vielmehr darauf an, dass Schutzstrategien durch ein Prozessverständnis und eine Prozessorientierung ersetzt werden, die den dynamischen Charakter der Auen berücksichtigen und nachhaltig erfolgreich sein können.

Die anthropogenen Landschaftsveränderungen der vergangenen Jahrhunderte haben die Flüsse und Auen ihrer ureigensten Eigenschaft beraubt: der Dynamik. Durch Kanalisierung und Uferbefestigung, Eindeichung und Entwässerung sind die den Auen eigene permanente Erosion, Anlandung und Regeneration nicht mehr möglich. Erosion als zerstörender Prozess setzt Lebensräume wieder auf null, konkurrenzschwache Pflanzen und Tiere können neue

Flächen besiedeln, Entwicklungsketten von Lebensraumstadien, sogenannte Sukzessionen, können entstehen. Sie sind es, die die große Vielfalt von Auenlandschaften ausmachen. Diese Prozesse sind für die Entwicklung von Auenlebensräumen und ihren Arten unverzichtbar und ihr Fehlen begründet das heutige funktionale Versagen auf Landschaftsebene – Monotonie und Überalterung prägen die ehemals dynamischen Auen. Einen „schützenden“ Zaun um einen vorhandenen Auwaldrest zu ziehen oder ein Durchlassrohr zu vergrößern, reicht daher längst nicht mehr aus.

Wie sich einerseits Eingriffe, wie auch andererseits Renaturierungsmaßnahmen auf Abflussdynamik, Feststoffhaushalt, Arten und Habitate auswirken, ist ein aktuelles Forschungsfeld. Die Entwicklung von Prognosetools und eine enge Anbindung an die Praxis sind für die zukünftigen Forschungsbemühungen von großer Bedeutung.

Die Aufgabe der ökosystemaren Forschung bleibt zudem die Vertiefung der Systemkenntnis, zumal wir heute im Detail oft nicht mehr wissen, wie intakte Flussauensysteme in Mitteleuropa zusammengesetzt waren und wie sie funktionieren. Unter den heutigen Bedingungen werden die Auen zukünftig nicht 1:1 den historischen Auenlandschaften entsprechen. Wichtig ist deshalb die Erforschung des heutigen potentiell natürlichen Zustandes, wofür es die Umsetzung mutiger Restorationsprojekte in prozessorientierten Ansätzen und eine intensives Ergebnismonitoring erfordert.

Best Practices: Auen sind potentiell gut wiederherstellbare Ökosysteme

Gute Beispiele für einen besseren Umgang mit Flüssen und Auen gibt es inzwischen viele: Diverse europäische Richtlinien wie die Wasser-Rahmenrichtlinie, die Hochwassermanagement-, sowie die Flora-Fauna-Habitat- oder auch die Grundwasser-Richtlinie haben umfangreiche Renaturierungsaktivitäten an Gewässern befördert. Zwar sind nicht alle gleichermaßen funktionell ausgerichtet, aber wo immer die funktionelle Verbindung von Fluss und Aue wiederhergestellt oder erheblich verbessert wird und von dieser Entwicklung nennenswerte Flächen erreicht werden, werden erfolgreiche Projekte umgesetzt (Damm et al., 2012). Dazu trägt bei, dass gerade Flussauen aufgrund ihrer natürlichen Anpassung an hohe Störungsdynamik vergleichsweise leicht wiederherstellbare Ökosysteme sind.

Selbst urbane Räume haben hier ihre Potentiale wie die Stadt München im Bereich der Isar gezeigt hat (siehe Infokasten). Dass die guten Beispiele nur Beispiele und noch lange keine Normalität sind, d.h. ein Vielfaches an Umsetzungsprojekten bzw. eine generelle Veränderung des Gewässermanagements erforderlich ist, steht auf einem anderen Blatt. Diese wissenschaftlichen Erkenntnisse in Gesellschaft, Verwaltung und Politik zu tragen, ist eine Herausforderung für die Wissenschaftskommunikation. Das Thema Klimawandel zeigt, dass die Verankerung in der Gesellschaft durch strategische Kommunikation durchaus möglich ist.

Quellen

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMU & Bundesamt für Naturschutz – BfN. (2009). *Auenzustandsbericht*. Bonn, Berlin.
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit – BMU & Bundesamt für Naturschutz – BfN. (2014). *Naturbewusstseinsstudie 2013*. Bonn, Berlin.
- Brunotte, E., Dister, E., Günther-Diringer, D., Koenzen, U. & Mehl, D. (2009). *Flussauen in Deutschland – Erfassung und Bewertung des Auenzustandes* (Naturschutz und Biologische Vielfalt, 87). Bonn: BfN.
- Costanza, R., d’Arge, R., de Groot, R., Farberk, S., Grasso, M., Hannon, B., ... van den Belt, M. (1997). The value of the world’s ecosystem service and nature capital. *Nature*, 387, 253-260.
- Damm, C., Dister, E., Fahlke, N., Follner, K., König, F., Korte, E., Lehmann, B., Müller, K., Schuler, J., Weber, A. & Wotke, A. (2011). *Auenschutz – Hochwasserschutz – Wasserkraftnutzung. Beispiele für eine ökologisch vorbildliche Praxis*. (Naturschutz und Biologische Vielfalt, 112). Bonn: BfN.
- Ellwanger, G., Finck, P., Riecken, U., & Schröder, E. (2012). Gefährdungssituation von Lebensräumen und Arten der Gewässer und Auen in Deutschland. *Natur und Landschaft*, 87 (4), 150-155.

WIE GELINGT RENATURIERUNG?

Staudämme: Auen in der Amazonasregion erhalten

Autorin: Jana Kandarr (Earth Knowledge Platform ESKP)

Fachliche Prüfung und Ergänzungen: Prof. Dr. Florian Wittmann (Karlsruher Institut für Technologie KIT)

Tausende von Staudämmen sind weltweit in Planung und werden nahezu irreversibel in die dortigen Auen-Ökosysteme eingreifen. Insbesondere um die Energie der Flüsse im Amazonasbecken ist ein regelrechter Wettlauf entbrannt, milliardenschwere Investitionen fließen in die Stromerzeugung mit Wasserkraft. Mehr als 190 Dämme sind gebaut, und über 245 in konkreter Planung. Im Zuge dessen drohen einzigartige und hochgradig fluttolerante Bäume und an sie angepasste Arten unwiederbringlich verloren zu gehen.

- Flussauen gehören neben Mooren, naturnahen Wäldern und Korallenriffen zu den am stärksten bedrohten Ökosystemen.
- Das KIT hat Vulnerabilitätsindizes für Auenwälder entwickelt, die weltweit angewendet und im Vorfeld eines Bauprojektes großräumige, negative Effekte aufzeigen können.
- Umweltgutachten müssten zwingend flussabwärts des Staudamms gelegene Gebiete miteinbeziehen.
- Spezifische Maßnahmen sollten vor allem in einer Erhaltung der natürlichen Hoch- und Niedrigwasser sowie dem jährlichen Flutregime bestehen.

Der gigantische Belo-Monte-Staudammkomplex im Fluss Xingu, einem Nebenfluss des Amazonas, soll mit seiner Kapazität von schlussendlich 11.233 Megawatt nahezu 11 Prozent der brasilianischen Stromversorgung sicherstellen. So der Plan. Oft wird die Maximalkapazität nie erreicht. Der umstrittene Bau des 3,5 Kilometer langen Staudamms hat bisher mehr als 18 Milliarden Dollar verschlungen und wird voraussichtlich mehr als 20.000 Menschen angestammter Völker vertreiben. Das Projekt hat selbst bekannte Hollywood-Regisseure wie James Cameron auf die Aktivisten-Agenda gebracht. Noch 2019 soll das Bauwerk, dessen Planung vor Jahrzehnten begann, in Betrieb gehen. Es wird der viertgrößte Staudamm der Welt sein. Zum gleichen Vorhaben gehört der noch viel größere 6,5 Kilometer lange Pimental Damm, der den Fluss in zwei Kanäle teilt.

Das Amazonasbecken ist weltweit eines der wichtigsten Zielgebiete der hydroelektrischen Entwicklungsplanung (Winemiller et al., 2016). Auch der Santo-Antônio-Staudamm (3.150 MW)

und Jirau (3.750 MW) im Fluss Madeira sind bereits am Netz, weitere Großprojekte befinden sich in konkreter Planung. Allein für Brasilien sieht der „Plano Nacional de Energia Elétrica 1987/2010“, der Zehnjahres-Plan zum Energieausbau des Brasilianischen Ministeriums für Bodenschätze und Energie, den Bau weiterer



Übersicht über den Verlauf des Amazonas und seiner Nebenflüsse: In Belo Monte am Xingu wurde eines der größten Wasserkraftwerke der Welt gebaut.

Karte: Wissensplattform Erde und Umwelt / CC BY 4.0

38 Dämme mit jeweils mehr als 30 Megawatt Leistung bis 2023 vor (Assahira et al., 2017).

Die tiefgreifenden, teils wohl irreversiblen Eingriffe dieser Mega-Projekte in natürliche, über Jahrtausende entstandene Ökosysteme müssen dringlicher denn je untersucht werden, mahnen Wissenschaftler*innen in ihren Publikationen (u.a. Whinemiller et al., 2016; Wittmann et al., 2019).

Wir beleuchten in diesem Artikel, wie Staudämme natürliche Systeme verändern. Weithin bekannt ist sicherlich die Tatsache, dass die Bauwerke die Drift und Migration von aquatischen und semi-aquatischen Organismen verhindern (Nilsson & Berggren, 2000). Warum und welche Wirkungen sie auf den Klimawandel haben, dazu finden sich weiterführende Informationen im ESKP-Artikel: „Stauseen setzen große Mengen Methan frei“.

Längere und für Organismen unvorhersehbare Überflutungen

Flussabwärts von Stauanlagen sind Veränderungen besonders dramatisch. Organismen haben sich über vergleichsweise lange geologische oder evolutionäre Zeiträume an natürliche Flutregime angepasst. Trocken- und Regenzeiten im Einzugsgebiet großer Amazonasflüsse bestimmen seit Jahrtausenden die Hoch- und Niedrigwasserperioden. Der jährlich wiederkehrende Hochwasserpuls bringt ein großartiges Mosaik unterschiedlichster Lebensräume hervor. Da sind Gebiete, in denen Pflanzen einen Großteil des Jahres mit ihren Wurzeln im Wasser ausharren können, der Sauerstoffarmut und Nässe trotzen, dann solche Lebensräume, die nur teilweise vom Flusswasser geprägt werden bis hin zu solchen, die praktisch nie überschwemmt werden. Überall gibt es Übergangsbereiche. Der sogenannte Flutgradient ist Voraussetzung für allerlei ökologische Nischen, an welche sich die Lebewesen der Auen in ihrer Entwicklung hervorragend angepasst haben (Junk et al., 1989).

Zwei sich ergänzende Hypothesen erklären, wieso sich in Auen eine derart hohe Biodiversität entwickelt. Die „Hypothese der mittleren Störungsintensität“ besagt, dass eine hohe Vielfalt an Lebensformen insbesondere dann entsteht, wenn Ökosysteme moderaten Störungen, in diesem Fall den natürlichen Überflutungen, unterliegen. Das Störungsregime wird durch den Bau von Staudämmen jedoch erheblich verändert: An Stauanlagen sind durchschnittliche Hochwasser weniger hoch, Niedrigwasser dafür umso höher (Poff et al., 2007). Eine Angleichung der Wasserstände ist die Folge.

Die zweite Hypothese, das „Flutpuls-Konzept“, weist auf die für Pflanzen und Tiere vorhersehbaren Muster hin, an welche sich die Organismen über lange Zeiträume angepasst haben. Diese wiederkehrenden Überflutungsmuster – gesteuert durch Regen- und Trockenzeit – führen zu hoher Biodiversität (Junk et al., 1989).

Plötzlich rein terrestrische und rein aquatische Lebensräume

Dämme verändern das Flutregime, wenn der Wasserdurchfluss nicht bewusst entsprechend ökologischer Notwendigkeiten gesteuert wird. Zum Teil fallen Bäume mehrere Jahre in Folge nicht mehr trocken. Untersuchungen am Balbina-Damm, einem der ersten Dämme, gebaut in den 1980er Jahren im Rio Uatumã, um die Stadt Manaus zu versorgen, zeigten, dass ganze Gebiete nun zu rein aquatischen oder auch rein terrestrischen Lebensräumen reduziert wurden. Die vielfältigen Übergänge verschwanden. Bäume hielten verlängerten Überflutungsperioden auf Dauer nicht stand, und das obwohl diese flutresistenten Bäume bereits bis zu 300 Tage im Jahr mit ihren Wurzeln im Wasser stehen können.

Nach 10–20 Jahren, also stark zeitversetzt, kam es am Rio Uatumã auf einem Abschnitt von über 125 Kilometern flussabwärts des Damms zu einem Massensterben. Vor allem die bestens an langanhaltende Überschwemmungen ange-

passten Baumarten *Macrobium acaciifolium* und *Eschweilera tenuifolia* waren betroffen. (Asahira et al., 2017; Sousa Lobo et al., 2019)

Bäume und deren Wachstumsringe sind äußerst gute Indikatoren, um das Ausmaß von Störungen in der einzigartigen Auenvegetation zu beurteilen. Datierungen mit Hilfe von Kohlenstoff (¹⁴C-Methode) der äußersten Zuwachsringe im Holz und dendrochronologische Studien an den toten Bäumen belegen, dass alle untersuchten Bäume nach Fertigstellung der Staumauer (Balbina-Staudamm) signifikante Wachstumsreduktionen aufwiesen. Die langfristige Konsequenz ist dann, dass selbst Baumarten, die physiologisch mit extremen Bedingungen zurechtkommen können, verschwinden. Im Falle der vollständigen Verdrängung dieser einzigartigen Spezies wird es keine anderen Baumarten geben, die an vergleichsweise hohe und langanhaltende Überschwemmungen angepasst sind. Es gibt keine Renaturierungstechniken und -programme, die derartige Veränderungen des Ökosystems auffangen können.

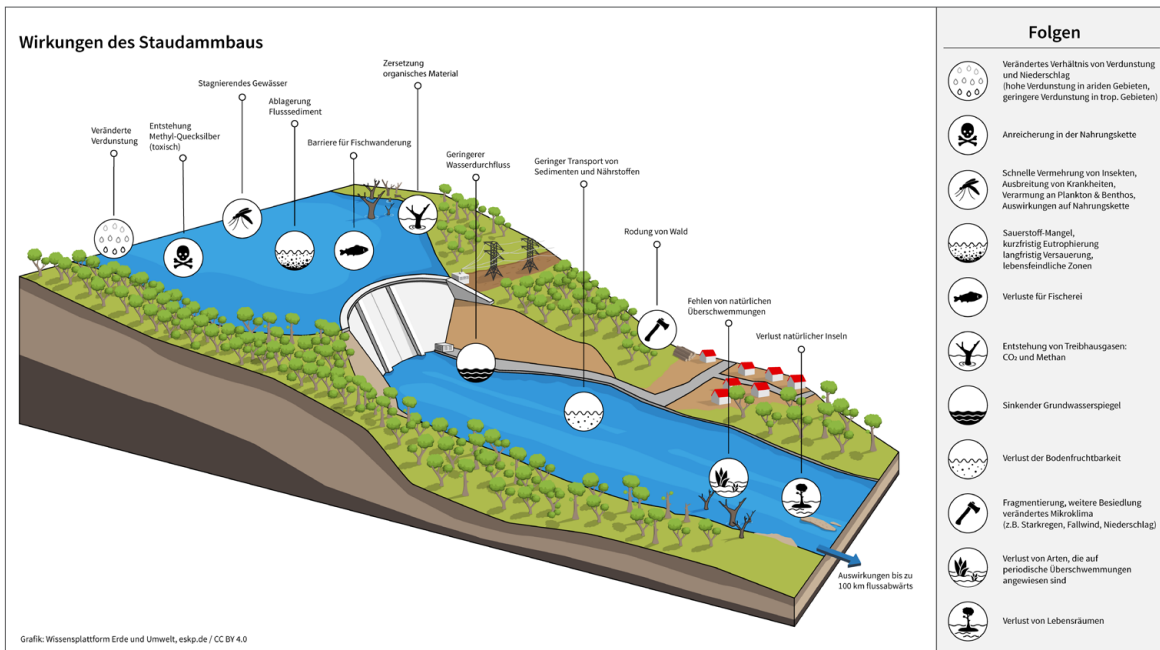
Signifikante Veränderungen der Schweb- und Nährstofffrachten

Wenn Dämme den gesamten Wasserfluss verlangsamen, bringt das erhebliche Veränderungen des Schweb- und Feststoffhaushalts der Fließgewässer mit sich. In den bis mehrere tausend Quadratkilometer großen Reservoiren kommt es zur Reduzierung der Fließenergie und somit zu signifikanten Veränderungen der Schweb- und Nährstofffrachten. Im Stausee selbst kann es vorübergehend zum Nährstoffüberschuss kommen, was ein exzessives Pflanzenwachstum mit sich bringt. Man spricht auch von „Eutrophisierung“, welche eine Veränderung der lokalen Flora und Fauna und damit der gesamten Nahrungskette mit sich bringt. Nach einem kurzfristigen Effekt erhöhter Fertilität durch Eutrophierung kommt es mit zunehmendem Alter der Stauwerke zur Verarmung der planktonischen Gemeinschaft, was sich unmittelbar auf die Nahrungsketten auswirkt.

Unterhalb der Staudämme kommt es zu einer Reduzierung an Nährstoffen, was die Fruchtbarkeit und somit Tragfähigkeit der Auenhabitate verringert. Gravierend ist dabei, dass Staudämme insbesondere 3-Schichttonminerale im Sediment zurückhalten. Sie stammen vor allem aus den Anden und nicht aus dem viele hundert Millionen Jahre alten Ausgangsgestein des Amazonasbeckens. Die Minerale sind aufgrund ihres relativ jungen geologischen Alters noch unverwittert, und haben deshalb eine hohe Austauschkapazität für Nährstoffe. Das macht sie so wertvoll für Ökosysteme aber auch die Landwirtschaft.

Die exakten langfristigen Veränderungen des Schweb- und Feststoffhaushalts der Fließgewässer sind schwierig vorherzusagen, jedes Flusssystem verhält sich hier anders (Nilsson et al., 2000). Der Andenfluss Madeira transportiert beispielsweise circa die Hälfte des Sediments, welches aus Bolivien und Peru in den Amazonas gelangt. Obwohl die genauen Schätzungen des Sedimentrückhaltes noch kontrovers diskutiert werden, wird vermutet, dass nahezu 97 Prozent der Sande (und 20 Prozent aller Sedimente) stromaufwärts des Santo-Antônio-Damms eingeschlossen wären. Diese Schätzungen berücksichtigen nicht die Auswirkungen der anderen 25 vorgelagerten Staudämme in den Andenregionen (Nilsson et al., 2000).

Die natürliche Sedimentationsdynamik des Flusses wird durch den Sedimentrückhalt unterbrochen oder vermindert. Das führt zur Reduzierung spezifischer Habitate wie Anlandungen oder Stränden, die z.B. wichtig für die Brut von Vögeln und Amphibien sind und somit zur Reduzierung der Habitatvielfalt einer natürlichen Flusslandschaft. Dasselbe geschieht z.B. auch am Oberrhein. Durch die Begrädnung wurde der Sedimenthaushalt dahingehend zerstört, dass es keine neuen Anlandungen mehr gibt. Folge ist der Verlust des Habitats und damit spezifischer Arten, die nur in diesem Habitat vorkommen.



Auswirkungen auf die Umwelt durch den Bau eines Staudamms
 Grafik: Wissensplattform Erde und Umwelt, eskp.de / CC BY 4.0

Ausbildung lebensfeindlicher Zonen im Wasser

Mit dem Aufstau kommt es ebenfalls zur Ausbildung thermaler Schichten, die sich in einem natürlichen Flusslauf nicht entwickeln würden. Bei einer plötzlichen Durchmischung dieser Schichten, wie sie beispielsweise bei extremen Klimaereignissen während El Niño-Jahren oder bei antarktischen Kaltlufteinbrüchen eintreten, kann es zum Massensterben ganzer Fischpopulationen kommen. Auch schlagartige Wasserstandsabsenkungen durch die Stauwerksbetreiber durchmischen diese thermalen Schichten.

Im Hypolimnion (Tiefenwasser) entsteht oft eine lebensfeindliche Zone mit anoxischen (sauerstoffarmen) Bedingungen – oftmals erfahren diese Bereiche auch Reduzierungen des pH-Werts (Versauerung). Für die aquatischen und benthalen Lebensgemeinschaften hat dies dramatische Konsequenzen. Rheophile und migrierende Fischarten, die verschiedene Habitate während ihres Lebenszyklus benötigen, sind vor allem betroffen.

Als Konsequenz verändert sich die Fischfauna nach wenigen Jahren grundlegend und weist eine reduzierte Diversität auf, wie im Itaipú-Reservoir des südostbrasilianischen Rio Paraná aufgezeigt werden konnte (Agostinho et al., 2008). Das hat auch Folgen für die Pflanzenwelt. Denn in Amazonien haben sich weltweit einzigartige Symbiosen zwischen Fisch- und Baumarten entwickelt. Fische fressen beispielsweise Baumfrüchte und verbreiten so die Samen entlang der Flüsse. Verändert sich die Fischfauna, hat das somit Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Baumarten des Überschwemmungswaldes.

Wie lassen sich negative Auswirkungen im Vorfeld abschätzen?

Der „Dam Environmental Vulnerability Index“ (DEVI, zu dt. „Staudamm-Umweltgefährdungsindex“) kann die potenziellen hydrophysischen Auswirkungen von Dämmen auf die Fluvialsysteme und ihre biologische Vielfalt vergleichen. Er wurde von Prof. Florian Wittmann und anderen Wissenschaftler*innen des Aueninstituts (KIT) in Zusammenarbeit mit brasiliani-

schen Kollegen*innen entwickelt (Latrubesse et al., 2017) und besteht aus drei Indices:

- dem **Basin Integrity Index** (BII), der die Anfälligkeit des Flussgebiets gegenüber bestehenden und potenziellen Landnutzungsänderungen, Erosion und Gewässerbelastung durch Schadstoffe quantifiziert;
- dem **Fluvial Dynamics Index** (FDI), der den Einfluss der von den Flüssen transportierten Sedimentfrachten, die morpho-dynamische Aktivität der Flüsse und den Zeitpunkt und Amplitude der Überflutung berücksichtigt;
- sowie dem **Dam Impact Index** (DII), der angibt, wie stark das Flusssystem (Ratio von Lauflänge, Anzahl der Zuflüsse und Anzahl an Dämmen) von bereits gebauten und geplanten Dämmen betroffen sein wird.

Die Werte des Staudamm-Umweltgefährdungsindex reichen von 0 bis 100, wobei höhere Werte auf eine größere Anfälligkeit eines Wassereinzugsgebietes hinweisen.

Umweltgutachten auch für Gebiete flussabwärts

Die potenziellen Auswirkungen von mehr 190 gebauten bzw. 246 geplanten Dämmen (>1MW) im Amazonasbecken sind voraussichtlich irreversibel (Lee et al., 2016). In Zukunft wird es immer wichtiger, die Wirkungen von Staudämmen, die sich aus der Summe der Vielzahl der Projekte ergeben, abzuschätzen. Denn diese akkumulierten Wirkungen werden bisher nur von Wissenschaftler*innen betrachtet, nicht jedoch in Umweltgutachten (Kemenes et al., 2011).

Umweltgutachten müssen bei den geplanten Stauwerken auch auf die stromabwärts gelegenen Auenwälder ausgedehnt werden. Für die bereits bestehenden Wasserkraftwerke sollte das Betriebsregime so ausgerichtet werden, dass es den natürlichen Abflussverhältnissen auch im Hoch- und Niedrigwasserbereich möglichst nahekommt, um die wichtigen Übergangslbensräume zu erhalten.

Viele Großprojekte wie Staudämme aber auch Highways (z.B. Belem-Brasilia, Cuiaba-Porto Velho) waren in der Vergangenheit zwar nationale Planungsentscheidungen, meist konnten sie jedoch nur mit internationalen Geldgebern wie der Weltbank oder Interamerican Development Bank realisiert werden (Fearnside, 1989). Auch hier gibt es Hebel für eine umweltverträgliche Entwicklungspolitik, zumal die Kosten für solche Projekte oft explodieren: eine internationale Studie zeigte, dass Dämme im Schnitt 96 Prozent mehr kosteten als zuvor veranschlagt (Ansar, 2014), was deren gesamtgesellschaftlichen Nutzen – einmal ganz ungeachtet der immensen ökologischen Schäden – zusätzlich in Frage stellt.

Quellen

- Agostinho, A. A., Pelicice, F. M. & Gomes, L. C. (2008). Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology*, 68(4), 1119-1132. doi:10.1590/S1519-69842008000500019
- Ansar, A., Flyvbjerg, B., Budzier, A. & Lunn, D. (2014). Should we build more large dams? The actual costs of hydropower megaproject development. *Energy Policy*, 69, 43-56. doi:10.1016/j.enpol.2013.10.069
- Assahira, C., Piedade, M. T. F., Trumbore, S. E., Wittmann, F., Cintra, B. B. L., Batista, E. S., Faria de Resende, A. & Schöngart, J. (2017). Tree mortality of a flood-adapted species in response of hydrographic changes caused by an Amazonian river dam. *Forest Ecology and Management*, 396, 113-123. doi:10.1016/j.foreco.2017.04.016
- Latrubesse, E. M., Arima, E. Y., Dunne, T., Park, E., Baker, V. R., d'Horta, F. M., Wight, C., Wittmann, F., Zuanon, J., Baker, P. A., Ribas, C. C., Norgaard, R. B., Filizola, N., Ansar, A., Flyvbjerg, E. & Stevaux, J. C. (2017). Damming the rivers of the Amazon basin. *Nature*, 546, 363-369. doi:10.1038/nature22333
- Nilsson, C & Berggren, K. (2000). Alteration of Riparian Ecosystems caused by river regulation. *BioScience*, 50(9), 783-792. doi:10.1641/0006-3568(2000)050[0783:AORECB]2.0.CO;2
- Pestana I. A., Azevedoa, L. S., Bastos, W. R. & Magalhães de Souza, C. M. (2019). The impact of hydroelectric dams on mercury dynamics in South America: A review. *Chemosphere*, 219, 546-556. doi:10.1016/j.chemosphere.2018.12.035
- Sousa Lobo, G., Wittmann, F. & Fernandez Piedade, M. T. (2019). Response of black-water floodplain (igapó) forests to flood pulse regulation in a dammed Amazonian river. *Forest Ecology and Management*, 434, 110-118. doi:10.1016/j.foreco.2018.12.001
- Winemiller, K., McIntyre, P. B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., ... Sáenz, L. (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, 351(6269), 128-129. doi:10.1126/science.aac7082
- Wittmann, F., Damm, C. & Schöngart, J. (2019). Der Sandwich-Effekt: Einengung von Habitaten durch Staudämme gefährdet die größten und artenreichsten Flussauen der Erde. *Auenmagazin*, 15, 49-53.

WIE GELINGT RENATURIERUNG?

Bioenergie und Aufforstung sind ambivalent

Autorin: Prof. Dr. Almut Arneith (Karlsruher Institut für Technologie KIT)

Eines scheint sicher: Die wachsende Weltbevölkerung wird sich wohl ernähren können, wenn weiterhin die Erträge gesteigert werden und gleichzeitig Armut reduziert wird. Allerdings ist die Produktion von Nahrungsmitteln derzeit entkoppelt von einer nachhaltigen Land- und Meeresnutzung. Sie verschlechtert andere Leistungen, die Ökosysteme erbringen und trägt erheblich zum Verlust von Biodiversität bei. Der Klimawandel wird in Zukunft ein weiterer Aspekt sein, der berücksichtigt werden muss. Insbesondere die monokulturelle Aufforstung und der zusätzliche, großskalige Anbau von Bioenergiepflanzen sind laut des Berichtes des Weltbiodiversitätsrates kritisch zu sehen.

- Die großflächige Umnutzung von Flächen für Aufforstung bzw. Bioenergie steht in direkter Konkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln. Eine Vielzahl von Studien weist auf potentiell stark negative Nebeneffekte hin.
- Insbesondere die großflächige Aufforstung zum Anbau von Bioenergiepflanzen (z.B. Mais, Zuckerrohr oder Elefantengras) oder aber die Schaffung von großen Waldmonokulturen ist problematisch.
- Nachhaltig sind Szenarien, die von einem reduzierten Fleischkonsum in den Industrienationen und stark verminderten Emissionen von Treibhausgasen ausgehen. Sie zeigen, dass der Verlust an Biodiversität dann stark eingedämmt werden könnte.

Die Zukunft ist per se nicht vorhersehbar. Um trotzdem begründbare Planungen ermöglichen, werden in der Wissenschaft Szenarien entworfen. Solche Szenarien berücksichtigen unterschiedliche – auch indirekte – Treiber für den Verlust von Biodiversität, wie das Bevölkerungswachstum, die Entwicklung unseres Wohlstandes oder Lebensstils. In diesen Szenarien werden Annahmen getroffen, wie z.B. eine hohe bzw. niedrige Zunahme des Bruttosozialprodukts oder des Bevölkerungswachstums. Solche Faktoren haben beispielsweise einen starken Einfluss auf Treibhausgasemissionen und damit den Klimawandel, auf Fischerei und Landnutzung und somit auch auf Biodiversität und Ökosystemfunktionen – lokal, regional und weltweit.

In der Vergangenheit waren unter anderem Land-, Frischwasser- und Meeresnutzung mit die wichtigsten Treiber des Verlustes an Biodiversität. Insbesondere die industrielle Art und

Weise dieser Nutzung hat ganze Ökosystemprozesse verändert. Bereits jetzt sind aber auch klimawandelbedingte Änderungen in terrestrischen und marinen Ökosystemen zu beobachten. Dazu zählen beispielsweise die Verlängerung der Wachstumsperiode in nördlichen Breiten, die Änderung der Vegetationszusammensetzung in vielen Regionen, ein Anstieg des Feuerrisikos, aber auch der drastische Verlust tropischer Korallen aufgrund von Hitzewellen.

Regional betrachtet ist der projizierte zukünftige Einfluss des Klimawandels und der Land- bzw. Meeresnutzung auf Biodiversität und Ökosysteme stark variabel (Stichwort: „winners“ und „losers“), weltweit wird er jedoch in Modellrechnungen überwiegend als negativ ausgewiesen. Für den Klimawandel allein wird bereits für eine geringe, weitere globale Erwärmung eine starke Zunahme des Artensterbens projiziert.

Nahrungsmittel sicher – andere Ökosystemdienstleistungen nicht

Die Komplexität der nachhaltigen Nutzung der Natur zeigt sich exemplarisch in der Entkoppelung von materiellen Ökosystemleistungen und Biodiversität bzw. regulierenden Ökosystemleistungen. Auf der einen Seite wird es zukünftig voraussichtlich eine gesicherte Nahrungsmittelproduktion geben. Auf der anderen Seite können wir jedoch immer weniger auf die nicht-materiellen Leistungen der Ökosysteme zählen.

So konnte in einer Modellvergleichsstudie für Landökosysteme gezeigt werden, dass in einer Reihe unterschiedlicher Szenarien, die zahlreiche Annahmen zu Klimawandel, CO₂-Emissionen, und Landnutzungswandel abdecken, die Produktion von Nahrungsmitteln in allen Szenarien und Regionen zunahm bzw. zumindest stagnierte. Biodiversität (z.B. Artenvielfalt) und regulierende Ökosystemleistungen wie der Beitrag der Natur zu einer guten Wasserqualität gingen in den Szenarien hingegen zurück. Die Entkoppelung der verschiedenen Leistungen von Ökosystemen ist besonders ausgeprägt in Szenarien, die von einem starkem Wirtschaftswachstum und hoher Bevölkerungszunahme ausgehen bzw. dort, wo Handelsbarrieren existieren und eine große Kluft zwischen arm und reich herrscht.

Welche Zukunftsszenarien hätten nur einen geringen Biodiversitätsverlust zur Folge?

Nur in Szenarien, die Aspekte von Nachhaltigkeit berücksichtigen, kann der Verlust an Biodiversität stark eingedämmt werden. Dazu zählen zum Beispiel ein reduzierter Fleischkonsum der westlichen (bereits industrialisierten) Welt sowie stark verminderte Treibhausgasemissionen und damit einhergehend ein geringer globaler Temperaturanstieg. In einigen Fällen entwickeln sich dann sowohl die materiellen als auch regulierenden Ökosystemleistungen positiv.

” Die großflächige Umnutzung von Flächen für Aufforstung bzw. Bioenergie steht in direkter Konkurrenz zur Produktion von Nahrungsmitteln.

Es gilt als erwiesen, dass sich die Begrenzung des Temperaturanstiegs und der damit verbundenen Änderungen im Niederschlag und Wetter-Extremereignissen positiv auf Biodiversität und Ökosystemleistungen auswirkt. Jedoch können sich gerade aber auch fehlgeleitete Maßnahmen zur Bekämpfung des Klimawandels als zweischneidiges Schwert erweisen. Besonders in Ökosystemen an Land kommt es stark darauf an, wie eine Abschwächung des Klimawandels erreicht werden wird: ob mit einer schnellen und umfassenden Reduktion fossiler Emissionen und der damit einhergehenden Umstrukturierung des Energie- und Transportsektors, landwirtschaftlicher Produktion, sowie der Vermeidung zusätzlicher Waldrodung. Oder aber, ob man auf den großflächigen Anbau von Bioenergiepflanzen bzw. die großflächige Aufforstung setzt. Beides ist in den meisten Szenarien, in denen die Erderwärmung auf unter 2 °C begrenzt werden kann, enthalten.

Großflächige Aufforstung bedeutet in diesem Zusammenhang eine Ausdehnung der Anbauflächen für Bioenergie, zum Beispiel für Mais, Zuckerrohr oder Elefantengras, oder aber die Vergrößerung der Waldflächen. „Großflächig“ bedeutet in diesem Zusammenhang eine simulierte Zunahme von Bioenergiefläche oder Waldfläche, die sich weltweit summiert im Bereich von mehreren Millionen Quadratkilometern bis 2050 bewegt: zum Beispiel bis zu 5–7 Millionen Quadratkilometern für Bioenergie oder 8–9 Millionen Quadratkilometern. Dies entspricht in etwa der Hälfte der heutigen Anbaufläche für Nahrungs- und Futtermittel; die Landfläche von Indien z.B. umfasst 3,3 Millionen Quadratkilometer. Die uns zur Verfügung

stehende Landoberfläche ist allerdings begrenzt, und bereits heute werden ungefähr 12 Prozent der eisfreien Fläche zu Nahrungs- und Futtermittelproduktion genutzt und weitere gut 20 Prozent für Weidewirtschaft.

Wie wirkt die Umnutzung von Flächen für Aufforstung und Bioenergie?

Die großflächige Umnutzung von Flächen für Aufforstung bzw. Bioenergie steht in direkter Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion. Eine Vielzahl von Studien weist auf potentiell stark negative Nebeneffekte hin. Diese Negativeffekte reichen vom Preisanstieg für Lebensmittel, einem erhöhten Eintrag von Düngemitteln und der damit verbundenen Wasser- bzw. Luftverschmutzung, bis hin zu einem erhöhten Druck auf Naturschutzgebiete und weiteren Artenverlusten (Boysen, Lucht, & Gerten, 2017; Fuss et al., 2018; Hof et al., 2018; Humpenoeder et al., 2018; Smith et al., 2015).

Zusätzliche Treibhausgasemissionen durch einen erhöhten Ausstoß von Lachgas oder fortschreitende Umwandlung natürlicher Ökosysteme und damit verbundene Kohlendioxidverluste aus Biomasse und Böden wurden in wissenschaftlichen Arbeiten bereits nachgewiesen (Harper et al., 2018; A. Krause et al., 2017; Andreas Krause et al., 2018). Dies mindert den ursprünglichen Klimaschutz-Zweck von Bioenergie oder Aufforstung stark oder macht ihn gar zunichte. Unter dem Gesichtspunkt der Biodiversität ist eine großflächige, weltweite Aufforstung demnach nicht notwendigerweise positiv. Dies vor allem dann, wenn es sich um Monokulturen handelt oder wenn Grasländer und Savannenregionen zum Klimaschutz in Plantagenwälder umgewandelt werden.

Quellen

- Boysen, L. R., Lucht, W. & Gerten, D. (2017). Trade-offs for food production, nature conservation and climate limit the terrestrial carbon dioxide removal potential. *Global Change Biology*, 23(10), 4303-4317. doi:10.1111/gcb.13745
- Fuss, S., Lamb, W. F., Callaghan, M. W., Hilaire, J., Creutzig, F., Amann, T., Beringer, T., de Oliveira Garcia, W., Hartmann, J., Khanna, T., Luderer, G., Nemet, G. F., Rogelj, J., Smith, P., Vicente, J. L. V., Wilcox, J., Dominguez, M. d. M. Z. & Minx, J. C. (2018). Negative emissions-Part 2: Costs, potentials and side effects. *Environmental Research Letters*, 13(6):063002. doi:10.1088/1748-9326/aabf9f
- Harper, A. B., Powell, T., Cox, P. M., House, J., Huntingford, C., Lenton, T. M., Sitch, S., Burke, E., Chadburn, S. E., Collins, W. J., Comyn-Platt, E., Daioglou, V., Doelman, J. C., Hayman, G., Robertson, E., van Vuuren, D., Wiltshire, A., Webber, C. P., Bastos, A., Boysen, L., Ciais, P., Devaraju, N., Jain, A. K., Krause, A., Poulter, B. & Shu, S. (2018). Land-use emissions play a critical role in landbased mitigation for Paris climate targets. *Nature Communications*, 9:2938. doi:10.1038/s41467-018-05340-z
- Hof, C., Voskamp, A., Biber, M. F., Böhning-Gaese, K., Engelhardt, E. K., Niamir, A. & Hickler, T. (2018). Bioenergy cropland expansion may offset positive effects of climate change mitigation for global vertebrate diversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(52), 13294-13299. doi:10.1073/pnas.1807745115
- Humpenoeder, F., Popp, A., Bodirsky, B. L., Weindl, I., Biewald, A., Lotze-Campen, H., Dietrich, J. P., Klein, D., Kreidenweis, U., Müller, C., Rolinski, S. & Stevanovic, M. (2018). Large-scale bioenergy production: how to resolve sustainability trade-offs? *Environmental Research Letters*, 13(2):024011. doi:10.1088/1748-9326/aa9e3b
- Krause, A., Pugh, T. A. M., Bayer, A. D., Doelman, J. C., Humpenoeder, F., Anthoni, P., Olin, S., Bodirsky, B. L., Popp, A., Stehfest, E. & Arneth, A. (2017). Global consequences of afforestation and bioenergy cultivation on ecosystem service indicators. *Biogeosciences*, 14(21), 4829-4850. doi:10.5194/bg-14-4829-2017
- Krause, A., Pugh, T. A. M., Bayer, A. D., Li, W., Leung, F., Bondeau, A., Doelman, J. C., Humpenöder, F., Anthoni, P., Bodirsky, B. L., Ciais, P., Müller, C., Murray-Tortarolo, G., Olin, S., Popp, A., Sitch, S., Stehfest, E. & Arneth, A. (2018). Large uncertainty in carbon uptake potential of land-based climate-change mitigation efforts. *Global Change Biology*, 24(7), 3025-3038. doi:10.1111/gcb.14144
- Shin, Y.-J., Arneth, A., Chowdhury, R. R., Midgley, G. F., Bukvareva, E., Heinemann, A., ... Worm, B. (2019, 31. Mai). Plausible futures of nature, its contributions to people and their good quality of life (Chapter 4). In IPBES-7 (Hrsg.), *Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services* (Unedited draft chapters).
- Smith, P., Davis, S., Creutzig, F., Fuss, S., Minx, J., Gabrielle, B., Kato, E., Jackson, R. B., Cowie, A., Kriegler, E., van Vuuren, D. P., Rogelj, J., Ciais, P., Milne, J., Canadell, J. G., McCollum, D., Peters, G., Andrew, R., Krey, V., Shrestha, G., Friedlingstein, P., Gasser, T., Grübler, A., Heidug, W. K., Jonas, M., Jones, C. D., Kraxner, F., Littleton, E., Lowe, J., Moreira, J. R., Nakicenovic, N., Obersteiner, M., Patwardhan, A., Rogner, M., Rubin, E., Sharifi, A., Torvanger, A., Yamagata, Y., Edmonds, J. & Yongsung, C. (2015). Biophysical and economic limits to negative CO₂ emissions. *Nature Climate Change*, 6, 42-50. doi:10.1038/nclimate2870

WIE GELINGT RENATURIERUNG?

Pflanzenvielfalt im Grünland und in Wäldern verbessert Nährstoffrückhalt

AutorInnen: Dr. Sophia Leimer, Prof. Dr. Wolfgang Wilcke (Karlsruher Institut für Technologie KIT)

In zwei großen Feldversuchen werden die Rückwirkungen pflanzlicher Biodiversität auf den Wasserhaushalt im Boden und auf die Kreisläufe der Nährelemente Stickstoff und Phosphor untersucht. Im Ergebnis zeigt sich, dass wesentlich weniger Nitrat aus dem Boden ins Grundwasser ausgewaschen wird, wenn die pflanzliche Vielfalt steigt. Der Grund liegt in einem besser geschlossenen Nährelementkreislauf.

- Das Jena-Experiment und die Biodiversitäts-Exploratorien gehören zu den größten Experimenten zur Untersuchung der Bedeutung von Biodiversität.
- Allein aus der zunehmenden Anzahl an Pflanzenarten ergibt sich schon eine steigende Biomasseproduktion.
- Die Zunahme pflanzlicher Diversität verbessert nach einiger Zeit auch die Wasserleitfähigkeit des Bodens.
- Pflanzengemeinschaften mit höherer Biodiversität schöpfen Ressourcen vollständiger aus und schützen benachbarte Ökosysteme und Grund- und Oberflächenwässer vor Überdüngung.

Zu den wichtigsten Gründen des globalen, menschengemachten Verlustes an Artenvielfalt gehören die übermäßige Landnutzung und Inanspruchnahme von Flächen, die Klimaänderung und Stickstoffeinträge. Allerdings ist Biodiversität (u.a. Artenvielfalt) nicht nur eine von äußeren Einflüssen bestimmte Größe. Sie ist gleichzeitig am Funktionieren von Ökosystemen beteiligt und erbringt für uns Menschen unverzichtbare Leistungen.

Die Dienstleistungsfunktion der Biodiversität innerhalb der Ökosysteme wurde weltweit in den vergangenen etwa zwei Jahrzehnten in einer Reihe von großen und zahlreichen kleinen Experimenten wissenschaftlich untersucht. Zu den größten Experimenten gehören das Jena-Experiment und die Biodiversitäts-Exploratorien in Baden-Württemberg, Brandenburg und Thüringen. Es geht in den Experimenten unter anderem darum, langfristig abzusehen, wie sich Stoffflüsse und Biodiversität in gering bewirtschaftetem Grünland und Wald von solchen

Flächen unterscheiden, die intensiver bewirtschaftet, z.B. gedüngt und beweidet werden – all das in realen Landschaften. Wie hängen Landnutzungsintensität, Biodiversitätswandel und Ökosystemfunktionen zusammen? Welche Rolle spielt dabei die Pflanzenvielfalt für Nährstoffflüsse, -verluste, deren Recycling und den Bodenwasserhaushalt? Die Nutzungsintensität wird in den Experimenten sehr genau erhoben, um sie in Beziehung zu den Ergebnissen setzen zu können.

Funktionelle Biodiversität erforschen

Das Jena-Experiment ist eines der am längsten laufenden Biodiversitätsexperimente in Europa. Dafür wurde im Jahr 2002 die pflanzliche Biodiversität durch Ansäen von Grünlandmischungen mit 1–60 Pflanzenarten auf einer früheren, zehn Hektar großen Ackerfläche ganz gezielt variiert (Abb. 1). Die Fläche wird seitdem als gering genutztes (extensives) Grünland mit zweimaliger Mahd pro Jahr und ohne Düngung



Abb. 1: Blick auf die Untersuchungsflächen des Jena-Experiments.

Foto: Eva Koller-France



Abb. 2: Biodiversitäts-Exploratorien auf der Schwäbischen Alb: Links im Vordergrund Messung der Wasserleitfähigkeit. Untersucht wird u.a. wie sich Stoffflüsse und Biodiversität in gering bewirtschaftetem Grünland von solchen Flächen unterscheiden, die intensiver bewirtschaftet werden – all das in realen Landschaften. Foto: Sophia Leimer

bewirtschaftet. Die gewünschten Pflanzenartenzahlen werden durch selektives Jäten erhalten.

Im Gegensatz dazu werden in den Biodiversitäts-Exploratorien in Brandenburg, Baden-Württemberg und Thüringen großräumig bereits bestehende, unterschiedlich bewirtschaftete Grünland- und Waldflächen untersucht, die einen breiten Umweltgradienten in Mitteleuropa repräsentieren (seit 2006, s.a. Abb. 2). Das Versuchsdesign umfasst je 50 Wald- und Grünlandflächen mit unterschiedlicher Landnutzungsintensität. Die Wahl fiel auf Untersuchungsflächen, die sich zwar grundlegend in der Landnutzung unterscheiden, sich abgesehen davon aber so ähnlich wie möglich sind.

Die drei Untersuchungsgebiete der Biodiversitäts-Exploratorien sind Hainich-Dün, Schorfheide-Chorin und die Schwäbische Alb. Es handelt sich dabei um Biosphärenreservate und einen Nationalpark mit einem einzigartigen Reichtum an Pflanzenarten.

Der Hainich-Dün (1.300 km²) ist vor allem für seine weitflächigen Bestände an Buchen und Buchenmischwäldern bekannt, die von unberührten „Urwäldern“ über Bauernwälder bis hin zu intensiv genutzten Forsten reichen. Schorfheide-Chorin (1.300 km²) zählt mit ca. 550 mm

Jahresniederschlag zu den trockensten Regionen Deutschlands. Zur potentiellen natürlichen Vegetation gehören dort ausgedehnte Kiefern- und Buchen(misch)wälder, Traubeneichen, sowie azonale Erlen- und Moorbirkenwälder.

Im Biosphärenreservat Schwäbische Alb (430 km²) finden sich ausgedehntes, seit Jahrhunderten durch Schafe beweidetes Grünland, naturbelassene Wiesen bis hin zu Intensivgrünland sowie Streuobstwiesen und Wiesen mit Feldgehölzen. Diese werden unterbrochen von einzelnen Baumbeständen, und zum Teil artenreichen Schlucht- und Hangmischwäldern. Die Biodiversität, die sich auf den Untersuchungsflächen in Reaktion auf die unterschiedliche menschliche Einwirkung über diesen langen Zeitraum eingestellt hat, zeigt eine breite Spanne.

Zunehmende Biomasse bei zunehmender Pflanzendiversität

Als konsistentes Ergebnis von Biodiversitätsexperimenten wie dem Jena-Experiment, in denen eine gewünschte Artenzahl künstlich eingestellt wurde, ergab sich eine steigende Biomasseproduktion mit zunehmender Pflanzenartenzahl bei ansonsten gleichen Standortbedingungen. Nimmt die Pflanzenartenzahl also zu, spiegelte sich das stets in der Biomasse-

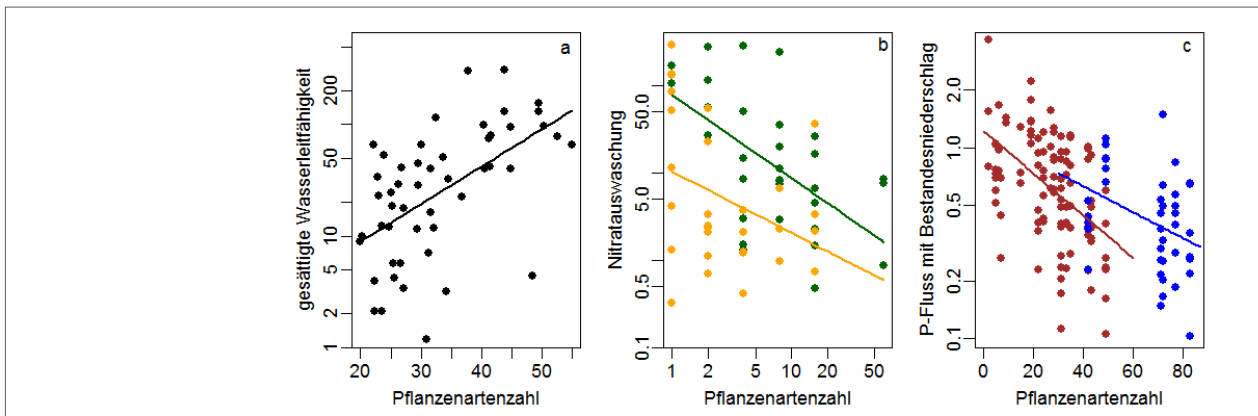


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Pflanzenartenzahl und (a) gesättigter Wasserleitfähigkeit [10^{-6}m s^{-1}] der Oberböden der Grünlandflächen des Biodiversitäts-Exploratoriums Schwäbische Alb, (b) Nitratauswaschung [$\text{mg m}^{-2} \text{Monat}^{-1}$] im Januar (Mittel aus den Jahren 2004, 2005 und 2006) aus Böden der Grünlandflächen des Jena-Experiments mit (grün) und ohne (gelb) Leguminosen, (c) Phosphorfluss mit dem Bestandsniederschlag [$\text{kg ha}^{-1} \text{Jahr}^{-1}$] in Buchen- (braun) und Fichtenwäldern (blau) der Biodiversitäts-Exploratorien. Grafik: KIT

produktion wieder. Andere wichtige Ergebnisse betreffen den Bodenwasserhaushalt und die im Bodenwasser enthaltenen Nährelemente.

Relevant für die Bodenfruchtbarkeit ist beispielsweise, wie viel der Nährelemente mit dem Bodenwasser ausgewaschen wurde und in welchem Maße Grundwasser durch diese Auswaschung verunreinigt werden kann. In beiden Großexperimenten wurden über mehrere Jahre Proben des Niederschlags und der Bodenlösung gesammelt. In diesen Proben wurden die beiden mengenmäßig bedeutendsten Nährelemente Stickstoff und Phosphor gemessen. Mithilfe von zusätzlich zentral erhobenen meteorologischen Daten konnten die wissenschaftlichen Teams den Wasserhaushalt der einzelnen Flächen quantifizieren. Sie bestimmten, wie viel Wasser verdunstet und wie viel Sickerwasser aus dem Boden fließt. Durch Multiplikation der Sickerwasserflüsse mit den Nährelement-Konzentrationen erhielten sie die Nährelementflüsse.

Pflanzendiversität beeinflusst den Wasserhaushalt

Unsere Ergebnisse zeigen, wie Pflanzendiversität den Wasserhaushalt von Grünland beeinflusst. Wie bereits erwähnt, erhöht sich mit der Pflanzenvielfalt auch stets die Biomasseproduktion. Mehr Biomasse ist dann auch in der Lage, den Oberboden stärker zu beschatten und diesen so in den ersten Jahren feuchter zu halten (Jena-Experiment). Der Feuchtehaushalt des Oberbodens verändert sich jedoch mit der Zeit.

Nach mehreren Jahren ließ sich in dem vormaligen, regelmäßig gepflügten Ackerboden nämlich eine verbesserte Wasserleitfähigkeit nachweisen. Grund hierfür war zum einen die Entstehung stabiler Bodenaggregate, sprich Zusammenballungen von größeren und feineren Körnern, aus denen der Boden besteht. Zum anderen erhöhte das Röhrensystem, welches sich durch die Wurzeln der vielen Pflanzenarten und durch die Bodentiere wie Regenwürmer allmählich herausbildet, die Wasserleitfähigkeit. Das führte dazu, dass der Oberboden in späteren Jahren umso schneller trocknete, je mehr Arten vorhanden waren. Auch auf den seit langem bestehenden Grünlandflächen der Schwäbischen Alb war dieses Phänomen zu beobachten (Abb. 3a).

Neben der Pflanzenartenzahl spielten auch bestimmte Merkmale der vorhandenen Arten eine wichtige Rolle. Beispielsweise verringerten Stickstoff-fixierende Pflanzen (Leguminosen) wie z.B. Klee die Verdunstung aus dem Oberboden, weil sie zu einer größeren Pflanzenbedeckung des Bodens führen, die viel Schatten

wirft. Leguminosen düngen nämlich durch ihre Fähigkeit Stickstoff zu fixieren den Boden und führen so zu mehr oberirdischer Biomasse.

Besserer Nährelement-Rückhalt in Baumkronen und Böden bei steigender Artenzahl

Im Hinblick auf den Nährelementkreislauf zeigte sich, dass Pflanzengemeinschaften mit höherer Biodiversität Ressourcen vollständiger ausschöpfen. Beispielsweise reduzierte im Jena-Experiment eine steigende Pflanzenartenzahl die Nitratkonzentration und -auswaschung aus dem Boden (Abb. 3b). Nitrat ist die oxidierte Form von Stickstoff. Es dient zum einen als Pflanzennährstoff, kann zum anderen aber das Grundwasser verunreinigen. In den Waldbeständen der Versuchsgebiete zeigten sich ähnliche Effekte. Beispielsweise führte eine höhere Pflanzenartenzahl zu einer verstärkten Stickstoffrückhaltung im Kronenraum des Waldes und reduzierte die Stickstoffauswaschung aus der Waldbodenaufgabe, sprich dem sich allmählich zersetzenden Laub, in den Mineralboden.

Für Phosphor konnte im Jena-Experiment bei steigender Zahl der Pflanzenarten eine zunehmende Ausnutzung des verfügbaren Phosphorvorrats im Boden nachgewiesen werden. In den Waldbeständen der Versuchsgebiete sanken die Phosphorflüsse entlang des Wasserpfades (vom Bestandesniederschlag im Wald über die Waldbodenaufgabe in den Mineralboden) mit steigender Pflanzenartenzahl (Abb. 3c).

Mithin führt eine steigende Biodiversität zu weniger Nährelementverlusten aus den Ökosystemen und damit auch zu weniger möglichen Umweltschäden in angrenzenden Ökosystemen. Denn durchsickerndes Nitrat kann im als Trinkwasser genutzten Grundwasser gesundheitsgefährdend sein, während Phosphor, welches in Oberflächengewässer gelangt, beispielsweise Algenblüten mitbedingt. Biodiverse Ökosysteme halten diese Elemente verstärkt zurück.

Hohe Biodiversität erhält geschlossene Nährelementkreisläufe

Unsere Ergebnisse belegen die wichtige Rolle der Biodiversität für das Funktionieren von Ökosystemen. Eine hohe Biodiversität trägt zur Aufrechterhaltung von geschlossenen Nährelementkreisläufen bei und ist somit sowohl ökonomisch als auch im Hinblick auf den Umweltschutz bedeutend.

Geschlossene Nährelementkreisläufe verringern den Düngeraufwand und schützen benachbarte Ökosysteme und Grund- und Oberflächenwässer vor Überdüngung. Mit dem zunehmenden Verlust der Biodiversität ist eine Destabilisierung dieser Ökosystemfunktionen zu befürchten und damit eine Einschränkung ihrer Dienstleistungsfunktionen für die Bewirtschaftung durch den Menschen.

Forschungssteckbrief

Jena-Experiment und **Biodiversitäts-Exploratorien**: Beide Projekte werden durch die **Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG)** gefördert. Des Weiteren leisten die **Max-Planck-Gesellschaft** und die **Friedrich Schiller-Universität Jena** einen finanziellen Beitrag zum Jena-Experiment. Im Rahmen dieser Großversuche kooperiert eine Vielzahl von Arbeitsgruppen aus unterschiedlichen Disziplinen, die sich gegenseitig ihre erhobenen Daten zur Verfügung stellen. Auf den Zusammenhang zwischen der Biodiversität und dem Wasserhaushalt sowie den Nährelement-Kreisläufen fokussiert sich dabei die Gruppe für Geomorphologie und Bodenkunde am Institut für Geographie und Geoökologie des **Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)**.

Quellen

- EUROSTAT. (2017). Land cover and land use, landscape (LUCAS) [ec.europa.eu/eurostat].
- Fischer, M., Bossdorf, O., Gockel, S., Hänsel, F., Hemp, A., Hessenmöller, D., Korte, G., Nieschulze, J., Pfeiffer, S., Prati, D., Renner, S., Schöning, I., Schumacher, U., Wells, K., Buscot, F., Kalko, E. K. V., Linsenmair, K. E., Schulze, E. D. & Weisser, W. W. (2010). Implementing large-scale and long-term functional biodiversity research: the Biodiversity Exploratories. *Basic and Applied Ecology*, 11(6), 473-485. doi:10.1016/j.baae.2010.07.009
- Grace, J. B., Anderson, M., Seabloom, E. W., Borer, E. T., Adler, P. B., Harpole, W. S., Hautier, Y., Hillebrand, H., Lind, E. M., Pärtel, M., Bakker, J. D., Buckley, Y. M., Crawley, M. J., Damschen, E. I., Davies, K. F., Fay, P. A., Firn, J., Gruner, D. S., Hector, A., Knops, J. M. H., MacDougall, A. S., Melbourne, B. A., Morgan, J. W., Orrock, J. L., Prober, S. M. & Smith, M. D. (2016). Integrative modelling reveals mechanisms linking productivity and plant species richness. *Nature*, 529, 390-393. doi:10.1038/nature16524
- Millennium Ecosystem Assessment (2005). *Ecosystems and human well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press.
- Roscher, C., Schumacher, J., Baade, J., Wilcke, W., Gleixner, G. & Weisser, W. W. (2004). The role of biodiversity for element cycling and trophic interactions: an experimental approach in a grassland community. *Basic and Applied Ecology*, 5(2), 107-121. doi:10.1078/1439-1791-00216
- Sala, O. E., Chapin, F. S., Armesto, J. J., Berlow, E., Bloomfield, J., Dirzo, R., Huber-Sanwald, E., Huenneke, L. F., Jackson, R. B., Kinzig, A., Leemans, R., Lodge, D. M., Mooney, H. A., Oesterheld, M., Poff, N. L., Sykes, M. T., Walker, B. H., Walker, M. & Wall, D. H. (2000). Global biodiversity scenarios for the year 2100. *Science*, 287(5459), 1770-1774. doi:10.1126/science.287.5459.1770
- Weisser, W. W., Roscher, C., Meyer, S. T., Ebeling, A., Luo, G., Allan, E., Beßler, H., Barnard, R. L., Buchmann, N., Buscot, F., Engels, C., Fischer, C., Fischer, M., Gessler, A., Gleixner, G., Halle, S., Hildebrandt, A., Hillebrand, H., de Kroon, H., Lange, M., Leimer, S., Le Roux, X., Milcu, A., Mommer, L., Niklaus, P. A., Oelmann, Y., Proulx, R., Roy, J., Scherber, C., Scherer-Lorenzen, M., Scheu, S., Tschardtke, T., Wachendorf, M., Wagg, C., Weigelt, A., Wilcke, W., Wirth, C., Schulze, E., Schmid, B. & Eisenhauer, N. (2017). Biodiversity effects on ecosystem functioning in a 15-year grassland experiment: Patterns, mechanisms, and open questions. *Basic and Applied Ecology*, 23, 1-73. doi:10.1016/j.baae.2017.06.002

WIE GELINGT RENATURIERUNG?

Was wächst, wenn es nicht mehr kracht? – Biologische Vielfalt auf Truppenübungsplätzen

Autor: Dr. Carsten Neumann (Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ)

In der Vergangenheit waren mitteleuropäische Kulturlandschaften in der Regel durch eine große Vielfalt an Pflanzen- und Tierarten gekennzeichnet. Letzte Refugien dieser besonderen Artenvielfalt sind heute noch auf ehemaligen Truppenübungsplätzen zu finden. Sie unterliegen daher einem naturschutzfachlichen Management. Die Begleitforschung liefert einen wichtigen Beitrag zum besseren Verständnis offener Naturlandschaften.

- Offenlandschaften sind Kulturlandschaften und besonders artenreich.
- Ehemalige Truppenübungsplätze sind hier von besonderer Bedeutung und unterliegen daher Landschaftspflegemaßnahmen.
- Fernerkundung aus der Luft und dem Orbit erleichtern die Pflege der Biodiversität. Zugleich ist die Fernerkundung ein wichtiges Instrument der Forschung.

Nicht immer ist die Vorstellung von Orten, an denen eine hohe biologische Vielfalt zu erwarten ist, gleichzusetzen mit einer ungestörten Wildnis. Ungestört wird hier oft mit dem Fehlen des menschlichen Einflusses auf Ökosysteme verstanden. Doch was kann heute noch ein unbeeinflusstes Ökosystem sein? Woher stammt die biologische Vielfalt in der kulturell stark überprägten mitteleuropäischen Landschaft?

Der naturschutzfachliche Wert von Offenlandschaften

In der letzten Kaltzeit von vor ca. 30.000 Jahren bis heute sind die Bestände großer Pflanzenfresser (z.B. Elch, Wisent, Wildpferd, Auerochse, Steppennashorn, Riesenhirsch) durch menschlichen Einfluss dramatisch zurückgegangen oder ganz verschwunden. Landschaften mit hohen Wildbeständen, die eher halboffene bis offene Lebensräume erzeugen, wurden immer weniger.

Vielmehr begannen die Menschen selbst artenreiche Refugien in abwechslungsreichen Kulturlandschaften zu schaffen. Ein wesentlicher Grund dafür war die extensive Bewirtschaftung

kleiner Parzellen mittels Beweidung, Rodung oder dem Entfernen von Boden und Vegetation zur Nahrungs-, Baustoff- und Energiegewinnung.

Die biologische Vielfalt dieser Kulturlandschaft basierte auf Veränderung. Gerade Störungen, ob von Menschenhand oder auf natürlicher Art verursacht, setzten Prozesse in Gang, die struktureiche Lebensräume schaffen und eine Landschaft als Ganzes gestalten können.

Seit über 3000 Jahren waren in Nordwest-Europa Millionen von Hektar als Heidelandschaft beständig. Waldferne, offen gehaltene Standorte sind zudem noch heute das Hauptverbreitungsgebiet vieler Schmetterlingsarten. Über die Hälfte der vorkommenden Gefäßpflanzenarten sind an Offenland gebunden.

Durch die industrielle Intensivierung der Landwirtschaft und die Ausweitung urbaner Siedlungsräume sind kleinstrukturierte, artenreiche Offenlandschaften inzwischen stark rückgängig und werden vielfach unter Naturschutz gestellt. Dabei tritt ein überraschender Kandidat für Schutzgebiete der biologischen Vielfalt

in Erscheinung: ehemalige Truppenübungsplätze. Durch die langjährige militärische Nutzung entstanden großflächig waldfreie Gebiete, in denen nach der Nutzungsaufgabe durch die Bundeswehr bzw. die sowjetischen Streitkräfte die Entwicklung von Heidelandschaften, Sandtrockenrasen, Pionierfluren auf Dünen sanden und artenreiche Feucht- und Frischwiesen einsetzen konnte.

Landschaftspflege und Forschung auf ehemaligen Truppenübungsplätzen

Viele ehemalige Truppenübungsplätze stehen heute im Europäischen Natura 2000-Netzwerk durch die Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie unter Schutz und müssen demzufolge in ihrer Lebensraumausstattung erhalten werden. Zu diesem Zweck sind Landschaftspflegemaßnahmen vorgeschrieben.

Um das „Zuwachsen“ mit Gebüsch und Baumbeständen zu verhindern, werden gezielt Feuer entfacht, Beweidung, Plaggen und /oder maschinelle Mähtechnik eingesetzt. Durch die künstliche Entfernung von Vegetation wird auf diese Weise das Ökosystem Offenland permanent an unterschiedlichen Stellen in die Lage versetzt, sich über eine natürliche Abfolge zu erneuern.

Hierbei geht es um den Erhalt und die Entwicklung einer offenen Kulturlandschaft. Artenvielfalt soll sich über die Verwirklichung von Prozessvielfalt einstellen und der Mensch wird als aktiver Gestalter zugelassen, um Ziele und Richtlinien des Naturschutzes systematisch umzusetzen. Die Forschung liefert dabei einen wesentlichen Beitrag zum Verständnis menschlichen Handelns. Es soll überwacht werden, wie sich die Landschaftspflege auf die Funktionsfähigkeit von offenen Ökosystemen auswirkt.

Überwachung und Erkenntnisgewinn – Monitoring durch Fernerkundung

Die Überwachung und Erfolgskontrolle von Landschaftspflege kann berührungslos aus der Luft über Sensoren – getragen von Satelliten,



Blick in den ehemaligen Truppenübungsplatz in der Kyritz-Ruppiner Heide. Foto: GFZ

Flugzeugen und Drohnen – realisiert werden. Dabei werden über spektrale Reflexionsmerkmale Vegetationsbestände hinsichtlich ihrer Artenzusammensetzung, ihrer Struktur und Vitalität flächenhaft charakterisiert. Unterschiedliche Aspekte von Lebensräumen werden somit in ihrer räumlichen Zusammensetzung abgebildet.

Auf diese Weise können Beziehungen zwischen den lebendigen („biotischen“) und nicht-lebendigen („abiotischen“) Merkmalen hergestellt werden. Es ist dabei wichtig, die Steuerungsfaktoren für die Etablierung von natürlichen Pflanzengesellschaften herauszufinden. Nur wer das Wechselspiel zwischen Witterungsbedingungen, langfristigen Klimatrends und Konkurrenz zwischen Arten versteht, wird in der Lage sein, nachhaltige Lebensräume für Tier- und Pflanzenarten aktiv zu gestalten.

Auch liefert die Fernerkundung Indikatoren, die den Zustand und die Entwicklung von naturschutzfachlich geschützten Gebieten dokumentieren. Räumliche Muster und zeitliche Trends werden dadurch nachvollziehbar. So konnte für das Jahr 2018 in der Kyritz-Ruppiner Heide flächenhaft ausgewiesen werden, welche Heidepflanzen durch Trockenstress nicht zur Blüte kommen werden oder gar vollkommen absterben. Es wird weiterhin untersucht, welchen Einfluss der Lebenszyklus, also die Altersphase, auf die Wiederaustriebs-, Widerstands- und Reproduktionsfähigkeit einzelner Pflanzen hat.

Durch den Einsatz von Kameras auf Drohnen, können sogar Einzelpflanzen kartiert und hinsichtlich Ihrer Ausprägung von Blüten-, Frucht- und Blattanteilen analysiert werden. So werden räumliche Karten über die Blühintensität von Heidebeständen für unterschiedliche Landschaftspflegemaßnahmen und -zeiträume ausgewertet. Die Fernerkundung ermöglicht es daher, den Pflegebedarf flächenhaft zu ermitteln und die Auswirkungen auf Bestäuber wie Wildbienen abzuschätzen.

Satellitenbilder aus der Copernicus-Sentinel-2-Mission wiederum erlauben es, Lebensräume wie Heide, Trockenrasen, Wald und Gebüsch grob abzugrenzen und deren räumliche Ausdehnung über eine zeitliche Entwicklung von mehreren Jahren darzustellen.

” Durch die langjährige militärische Nutzung entstanden großflächig waldfreie Gebiete.

Bereits jetzt ist bekannt, dass die Ausdehnung von Heidelandschaften in den letzten 100 Jahren in weiten Teilen Europas sich über 90 Prozent verringerte. Auch auf Truppenübungsplätzen können bereits innerhalb mehrerer Jahre weite Flächen mit bis zu einem Meter hohen Ginster-, Birke-, Zitterpappel-Aufwuchs überdeckt sein. Nur durch eine Intensivierung von Pflegemaßnahmen werden zukünftig große Offenlandbereiche auch längerfristig erhalten bleiben können.

Mithilfe der Karten, die sich aus den Fernerkundungsbildern ergeben, lässt sich erkennen, welche Pflanzenarten sich nach welcher Pflegemaßnahme etablieren, ob dies naturschutzfachlich „gewollte“ Arten sind und wie diese Arten die Qualität eines Lebensraumes z.B. für Bestäuber kennzeichnen.

Zudem lässt sich darstellen, wie schnell eine Fläche wieder zuwächst und insgesamt kann die Landschaftspflege besser koordiniert werden. Auf diese Weise wird ein Beitrag zum besseren Verständnis der Komplexität sich entwickelnder offener Naturlandschaften geleistet und versucht, den Erhalt der Biodiversität positiv zu steuern.

Und was ist mit aktiven Truppenübungsplätzen?

Auch aktive Truppenübungsplätze stellen einen sehr hohen naturschutzfachlichen Wert dar. Gerade hier werden die für Offenlandschaften so wichtigen Störungen funktionsbedingt erzeugt. Genau daraus ergibt sich aber auch ein Problem. Die Forschung kann nur solche Flächen selbstbestimmt für den Naturschutz erforschen, pflegen und verwalten, die einem mitwirkenden Eigentümer unterliegen und das ist, weltweit gesehen, bei militärisch aktiv genutzten Übungsflächen aufgrund des auf der Hand liegenden Interessenkonfliktes eher schwierig.

Dennoch sind der naturschutzfachliche Wert und auch der weltweite Flächenanteil an aktiven Truppenübungsplätzen hoch. Rick Zentelis schätzt beispielsweise, dass 5–6 Prozent der terrestrischen Ökosysteme als militärische Übungsflächen ausgewiesen sind und dass deren Wert für die biologische Vielfalt noch weitgehend unerforscht ist.

Quellen

- Bunzel-Drüke, M., Drüke, J. & Vierhaus, H. (2001). *Der Einfluss von Großherbivoren auf die Naturlandschaft Mitteleuropas* (S. 17-26). Amt der Niederösterreichischen Landesregierung.
- Fagúndez, J. (2012). Heathlands confronting global change: drivers of biodiversity loss from past to future scenarios. *Annals of Botany*, 111(2), 151-172. doi:10.1093/aob/mcs257
- Nagendra, H., Lucas, R., Honrado, J. P., Jongman, R. H., Tarantino, C., Adamo, M. & Mairota, P. (2013). Remote sensing for conservation monitoring: Assessing protected areas, habitat extent, habitat condition, species diversity, and threats. *Ecological Indicators*, 1(33), 45-59. doi:10.1016/j.ecolind.2012.09.014
- Neumann, C., Itzerott, S., Schindhelm, A., Weiss, G., Dittmann, T. & Müller, J. (2018). *NaTec: Möglichkeiten und Grenzen zur Ableitung von Bioindikatoren für ein skalenspezifisches Naturschutzmonitoring im Nationalen Naturerbe Kyritz-Ruppiner Heide* (Vorträge).
- Pettorelli, N., Wegmann, M., Skidmore, A., Múcher, S., Dawson, T. P., Fernandez, M., Lucas, R., Schaepman, M. E., Wang, T., O'Connor, B. & Jongman, R. H. (2016). Framing the concept of satellite remote sensing essential biodiversity variables: challenges and future directions. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(3), 122-131. doi:10.1002/rse2.15
- Zentelis, R. & Lindenmayer, D. (2015). Bombing for biodiversity – enhancing conservation values of military training areas. *Conservation Letters*, 8(4), 299-305. doi:10.1111/conl.12155

7. Schutz von Leben im Meer

Einleitung

Rund 70 Prozent der Erde sind mit Ozeanen bedeckt. Und nach wie vor ist es so, dass wir über ferne Planeten häufig mehr wissen als über die Zusammenhänge in den Meeren. Dies betrifft maßgeblich auch das Wissen um Biodiversität – in der Tiefsee, bei Mikroorganismen, Plankton oder Makroalgen. Daher werden wir hier auf diesen wichtigen Lebensraum blicken, der die Lebensgrundlage für Millionen anderer Lebewesen bildet.

Eine riesige Aufgabe ist es nicht nur, die unzähligen Arten im Meer überhaupt kennenzulernen und mit ihnen auch die Leistungen, die sie erbringen. Es geht um ein grundlegendes Verständnis und um Strategien, wie sich die Biodiversität im Meer verteilt und wie sie sich schützen lässt. Hier bilden Meeresschutzgebiete einen wichtigen Ankerpunkt. Am Beispiel der Europäischen Auster wird gezeigt, ob es auch Chancen gibt, bereits verlorene Arten wieder anzusiedeln und Biodiversität vor unserer eigenen Küste aktiv zu fördern.

Themen-Überblick

- ▶ Biodiversität in der Tiefsee noch weitgehend unbekannt
- ▶ Veränderung der Biodiversität im Meer schwer vorherzusagen
- ▶ Neue Einblicke durch Plankton-Observatorien
- ▶ Durch Fernerkundung Phytoplankton in Küstengewässern erfassen
- ▶ Makroalgen leichter bestimmen
- ▶ Mikrobielle Biodiversität erhalten
- ▶ Biodiversitätsatlas: Auswirkungen der globalen Fischerei auf die marine Biodiversität
- ▶ Was macht ein Meeresschutzgebiet erfolgreich?
- ▶ Die Wiederansiedlung der Europäischen Auster

SCHUTZ VON LEBEN IM MEER

Biodiversität der Tiefsee noch weitgehend unbekannt

Autor: Dr. Henk-Jan T. Hoving (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Mit der zunehmenden Unterwasservideo- und Fotobeobachtung der Tiefsee sind völlig neue Einblicke in die dortigen Lebensgemeinschaften möglich. Aber auch das Wissen, wie die Ökosysteme miteinander in Beziehung stehen, verbessert sich Schritt für Schritt. Bei der Erkundung helfen neueste Methoden wie die Umwelt-DNA (eDNA). Doch trotz aller Anstrengungen leben in den Tiefen der Ozeane unzählige unbekannte Arten mit Funktionen, die wir nicht kennen. Dabei drängt die Zeit, denn die Erwärmung der Tiefsee oder der geplante Meeresbodenbergbau bedrohen diesen Lebensraum.

- Zweihundert Meter unterhalb des Meeresspiegels beginnt die Tiefsee; ab hier wird es dunkel.
- Die Tiefsee ist der größte marine Lebensraum auf der Erde und damit ein Biodiversitätsreservoir von erheblicher Bedeutung.
- Die Methoden zur Erforschung der Tiefseefauna werden ständig weiterentwickelt, zunehmend setzt man auf die Untersuchung von „Umwelt-DNA“.
- Das noch sehr begrenzte Wissen über die Tiefsee und ihre Lebensformen erschwert es, die Wirkungen von menschlichen Eingriffen abzuschätzen.

Die Tiefsee ist definiert als der Bereich der Ozeane, der mindestens 200 Meter unterhalb des Meeresspiegels liegt. In diesem lichtarmen oder schon lichtlosen Bereich des Meeres ist nicht genügend Licht vorhanden, um die Photosynthese und damit das Algenwachstum zu unterstützen. Der tiefste Punkt im Meer liegt im Mariana Trench (dt.: Marianengraben) bei rund 11 Kilometern. Die durchschnittliche Meerestiefe über alle Ozeane hinweg beträgt etwa 3,5 Kilometer. Mehr als 80 Prozent des Meeresbodens liegt tiefer als 2.000 Meter und 75 Prozent des gesamten Meeresvolumens befindet sich schätzungsweise zwischen 1000 und 3000 Metern (Ramirez-Llodra et al., 2010).

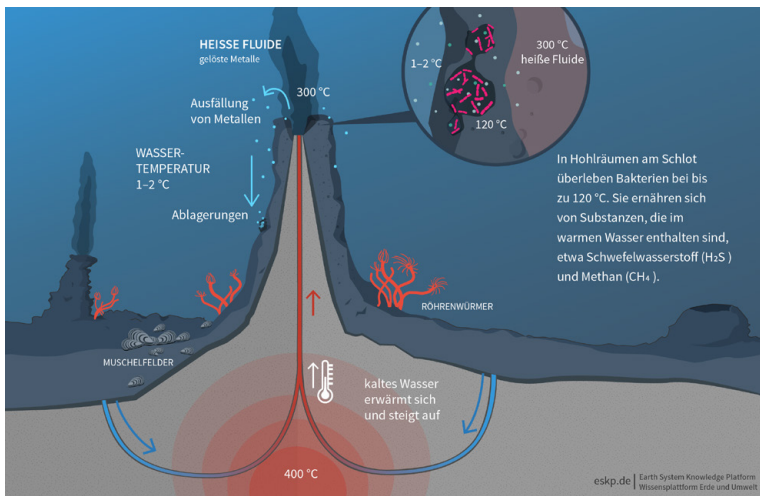
Diese riesigen Dimensionen machen die Tiefsee zum größten marinen Lebensraum auf der Erde. Während die Wissenschaftler noch bis Mitte des 19. Jahrhunderts die Zone zwischen der Oberfläche und dem Tiefseeboden des Ozeans als sogenannten Totraum (Azoikum) betrachteten, in dem kein Leben möglich sei, wird die Tiefsee heute als Biodiversitätsreservoir betrachtet, das die größte Vielfalt, Biomasse und

Anzahl von Tieren auf dem Planeten beherbergt (Robison, 2004, 2009). Jedes Jahr werden im Meer und in der Tiefsee neue Arten entdeckt, die von kleinen Krustentieren bis hin zu großen Fischen reichen.

Bedeutung des gallertartigen Zooplanktons entdeckt

Die Methoden zur Erforschung von Tiefseetieren werden ständig weiterentwickelt. Traditionell verwenden Ozeanographen Netze, um Tiefseeorganismen zu sammeln – vor allem Fische, Krustentiere, Kopffüßer und einige kräftige Quallen. Bei den Fischen ist besonders die Gattung Cyclothone hervorzuheben, die Tiefsee-Ellritze, die als das häufigste Wirbeltier der Erde gilt (William, 2015).

Durch den Einsatz von Unterwasservideo- und Fotobeobachtungen in der Tiefsee wurde eine völlig neue Fauna im Vergleich zu Netzproben entdeckt. Seit dem Einsatz von Tauchfahrzeugen ist die Beobachtung von Organismen in ihrer natürlichen Umgebung möglich. So wurden



Schwarze Raucher als Oase: Durch Risse im Meeresboden sickert Wasser in den Untergrund und erwärmt sich. Das rund 400 Grad heiße Wasser löst dabei Metalle aus dem Gestein. Viele Einzeller gewinnen ihre Energie aus aufsteigendem Methan und Schwefelwasserstoff. Oftmals leben diese Organismen in einer Symbiose mit anderen Tieren, wie Röhrenwürmern und Muscheln.
 Grafik: Wissensplattform Erde und Umwelt, eskp.de

in der Tiefsee Hydrothermalquellen entdeckt, die sich durch ihre ausgeklügelten und spezialisierten Lebensgemeinschaften auszeichnen. Außerdem konnten Tiere direkt in der Wassersäule bestimmt und dokumentiert werden, die zu empfindlich sind, um sie in Netzen einzufangen. Beispiele sind die Kammquallen, echte Quallen, Siphonophoren und eine Reihe anderer Organismen, die zusammen als gallertartiges Zooplankton oder tierisches Plankton bezeichnet werden.

In manchen Regionen und Tiefen kann es sogar vorkommen, dass das gallertartige Zooplankton die größte und dominierende Organismengruppe darstellt (Robison 2004) und eine wichtige Nahrungsgrundlage für andere Arten wie dem Blauwal dient. Unter anderem deswegen wird gallertartiges Zooplankton heute als ökologisch sehr wichtig anerkannt (Hays et al., 2018).

Artensuche mit Hilfe der eDNA-Analyse

Unterwasserbeobachtungen sind ein wichtiges Instrument des GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel, um die Biodiversität in der Tiefsee zu untersuchen. In unerforschten Gebieten können Organismen entdeckt werden, die für diese Region neu oder sogar noch gänzlich unbekannt in der Wissenschaft sind. So wurde mit dem bemannten Tauchboot JAGO in Gewässern vor den Kapverden eine der ersten Beobachtungen der Ctenophore *Kiyohi-*

mea usagi im Atlantik gemacht (Hoving, Neitzel & Robison 2018). Diese große, sehr empfindliche Rippenquallenart kann nicht mit Netzen gefangen werden und war bisher nur aus dem Pazifik bekannt. Es handelt sich um ein Raubtier, das in der Tiefe des Meeres wartet, bis kleine Krustentiere an den klebrigen Innenseiten ihrer großen Mundausstülpungen gefangen sind (Matsumoto & Robison, 1992).

Eine der vorrangigsten Fragen ist es, welche und wie viele Arten es im Ozean gibt. Darüber hinaus muss bekannt sein, wie verschiedene Tiere miteinander in Beziehung stehen und welche Funktionen sie erfüllen, um ozeanische Nahrungsnetze zu verstehen.

Oktopoden/Oktopusse und Kalmare sind eine Gruppe von wirbellosen Tieren (Wirbellose), die mit der Gartenschnecke verwandt sind und in der Tiefsee häufig vorkommen. Lange Zeit wurde angenommen, dass Tintenfische und Oktopoden nur Krustentiere, Fische und andere Kopffüßer jagen. Unter Verwendung von Unterwasserbeobachtungen mit einem Unterwasserroboter an einem Kabel (ferngesteuertes Fahrzeug oder ROV) wurde hingegen beobachtet, wie der Riesenkrake *Haliphron atlanticus* Quallen in 300 Metern Tiefe konsumierte. Ein *Haliphron atlanticus* kann bis zu 75 Kilo schwer und 3,5 Meter lang sein. Die Untersuchung von vorhandenen *Haliphron*-Proben aus Museumsbeständen bestätigte den Verzehr von gallertartigen Zooplankton und unterstützt die Beob-

achtung, dass dieser Oktopus mit einer gallertartigen Ernährung zu einem riesigen Lebewesen heranwachsen kann (Hoving & Haddock, 2017). Dieser Befund zeigte, dass es unerwartete Beziehungen zwischen Tieren in der Tiefsee und der Bedeutung von gallertartigen Organismen im Nahrungsnetz gibt.

Neuste Technik zur Erforschung der Tiefsee

Die neueste Technik zur Erforschung der Tiefseebiodiversität erfordert keine direkte Beobachtung oder gar das Sammeln eines Tieres. Sie nutzt den Umstand, dass Tiere stets Spuren in ihrer Umwelt hinterlassen. Dazu zählen beispielsweise Schleim oder Kot. Diese Spuren werden als Umwelt-DNA bezeichnet (engl. Environmental DNA oder eDNA; Thomson und Willerslev, 2015). Mit Hilfe genetischer Techniken und Analysemethoden ist es nun möglich, die Besitzer dieser Spuren zu identifizieren und das Vorhandensein von Arten in Wasser und Sediment nachzuweisen. Für die Tiefsee ist diese Technik besonders spannend und herausfordernd, denn hier können Forscherinnen und Forscher DNA von Arten entnehmen, die noch niemals zuvor vom Menschen gesehen wurden.

Wirkungen des Klimawandels und der Nutzungen der Tiefsee bisher unvorhersehbar

Trotz der Größe der Tiefsee gibt es eine Reihe von Auswirkungen und Aktivitäten, die ihre Biodiversität bedrohen. So fischt die kommerzielle Fischerei in immer größeren Tiefen, da die Fischbestände im flacheren Wasser überfischt wurden. Tiefseefischerei kann jedoch zu Schäden an Tiefseekorallen und dem Beifang anderer langlebiger Arten führen. Gleichzeitig – und wahrscheinlich aufgrund des Klimawandels – sinkt der Sauerstoffgehalt der Wassersäule, auch erwärmt sich die typisch kalte Tiefsee in bestimmten Regionen. Diese führt zu einer Veränderung des Lebensraums für dort lebende Arten, aber auch zu einer möglichen Veränderung des dortigen Nahrungsangebots (Levin and Lebris, 2015).

Zudem ist der Tiefseeboden reich an Elementen und Rohstoffen wie Manganknollen, Kobaltkrusten oder Massivsulfiden. Pläne zur Gewinnung dieser wertvollen Ressourcen könnten schon bald Realität werden und gravierende Auswirkungen auf das Tiefsee-Ökosystem haben.

Das insgesamt größte Problem bei der Vorhersage der Auswirkungen menschlicher Aktivitäten und des Klimawandels auf die Biodiversität in der Tiefsee ist unser begrenztes Wissen über diesen riesigen Lebensraum. Tiefseeforschung stellt an die eingesetzte Technologie besondere Maßstäbe, was die Belastbarkeit der Geräte und die notwendige Forschungsinfrastruktur auf hoher See angeht. Hinzu kommt: Die wissenschaftliche Bestimmung und Beschreibung neuer Arten setzt ein sehr spezialisiertes Wissen voraus, das weltweit nur in begrenztem Maße verfügbar ist.

Quellen

- Broad, W. J. (2015, 29. Juni). An Ocean Mystery in the Trillions. *New York Times* [www.nytimes.com].
- Hays, G. C., Doyle, T. K. & Houghton, J. D. R. (2018). A Paradigm Shift in the Trophic Importance of Jellyfish? *Trends in Ecology & Evolution*, 33(11), 874-884. doi:10.1016/j.tree.2018.09.001
- Hoving, H. J. T. & Haddock, S. H. D. (2017). The deep-sea giant octopus *Haliphron atlanticus* forages on gelatinous zooplankton. *Scientific Reports*, 7:44952. doi:10.1038/srep44952
- Hoving, H. J. T., Neitzel, P. & Robison, B. H. (2018). The discovery of the large ctenophore *Kiyohimea usagi* in the eastern tropical Atlantic using in situ observations. *Zootaxa*, 4526(2), 232-238. doi:10.11646/zootaxa.4526.2.8
- Levin, L. A. & Le Bris, N. (2015). The deep ocean under climate change. *Science*, 350(6262), 766-768. doi:10.1126/science.aad0126
- Matsumoto, G. I. & Robison, B. H. (1992). *Kiyohimea usagi*, a new species of lobate ctenophore from the Monterey Submarine Canyon. *Bulletin of Marine Science*, 51(1), 19-29.
- O'Shea, S. (2004). The giant octopus *Haliphron atlanticus* (Mollusca: Octopoda) in New Zealand waters. *New Zealand Journal of Zoology*, 31(1), 7-13. doi:10.1080/03014223.2004.9518353
- Ramirez-Llodra, E., Brandt, A., Danovaro, R., De Mol, B., Escobar, E., German, C. R., , ... Vecchione, M. (2010). Deep, diverse and definitely different: unique attributes of the world's largest ecosystem. *Biogeosciences*, 7(9), 2851-99. doi:10.5194/bg-7-2851-2010
- Robison, B. H. (2004). Deep pelagic biology. *Journal of experimental marine biology and ecology*, 300(1-2), 253-272. doi:10.1016/j.jembe.2004.01.012
- Robison, B. H. (2009). Conservation of deep pelagic biodiversity. *Conservation Biology*, 23, 847-858. doi:10.1111/j.1523-1739.2009.01219.x
- Thomsen, P. F., Willerslev, E. (2015). Environmental DNA – An emerging tool in conservation for monitoring past and present biodiversity. *Biological Conservation*, 183, 4-18. doi:10.1016/j.biocon.2014.11.019

SCHUTZ VON LEBEN IM MEER

Veränderung der Biodiversität im Meer schwer vorherzusagen

Autor: Prof. Dr. Kai Wirtz (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung HZG)

Viele Tier- und Pflanzenarten unterliegen besonderen Schutzbestimmungen. Plankton jedoch, das zentral für globale Stoffkreisläufe ist, wird in keiner Richtlinie erwähnt. Ganz offensichtlich gibt es beim Plankton ein Wahrnehmungsproblem. Darüber hinaus sind Biodiversitätsveränderungen im Meer aufgrund der weitreichenden Vernetzungen extrem schwer vorherzusagen. Daher muss der Blick weg von Einzelarten gehen, auch in der Forschung. Gleichzeitig bedarf es für das Management im Meer neuer Ansätze.

- Trotz enormer Anstrengungen bleibt es schwierig, Biodiversität im Ozean zu messen.
- Theoretische Studien zeigen jedoch, wie wichtig eine hohe Diversität für die Produktionsleistung des Phytoplanktons ist.
- Kombinierte Daten- und Modellstudien deuten darauf hin, dass es bei Veränderungen der Biodiversität zu systemischen Effekten entlang der Nahrungskette kommt. Diese reichen von Fischlarven über das Phytoplankton bis hin zur Nährstoffdynamik.

Organismen, die Photosynthese treiben, schaffen die energetische Basis für fast alle Ökosysteme. An Land sind diese Organismen und die Tiere, die sie fressen, leicht wahrnehmbar. In der Regel sind sie auch sichtbar. Anders sieht es im Meer aus. Kleine, Photosynthese-betreibende Organismen, das Phytoplankton, und ihre Weidegänger, das Zooplankton, lassen sich auch bei Tauchgängen nicht als Individuen erfassen. Dieser Unterschied in der Wahrnehmung hat weitreichende Folgen. Er führt zu einem Gefälle in der Erforschung der Biodiversität auf dem Land und im Meer – sowie bei unseren Bemühungen um Erhalt dieser Organismen in den Ozeanen.

Unterschiedliche Wahrnehmung von Biodiversität an Land und im Meer hat Folgen

Für Bäume gelten besondere Schutzbestimmungen. Selbst Infrastrukturprojekte können an einem seltenen Vogel scheitern. Und für große Landsäugetiere wurden bereits vor über 80 Jahren weltweit Schutzgebiete geschaffen. Erst

viele Jahrzehnte später erhalten Meeressäugtiere wie Wale eine ähnliche Aufmerksamkeit. Plankton hingegen ist noch immer in keiner Richtlinie erwähnt, obwohl es ganz wesentlich globale Stoffkreisläufe steuert und zunehmend von menschlichen Eingriffen beeinflusst wird. Nicht viel anders sieht unser Umgang mit Fischen aus, einer für das Meeresökosystem weitaus wichtigeren Organismengruppe als etwa Meeressäuger. Bei Fischbeständen dienen Fangquoten eher der ökonomisch nachhaltigen Ausbeutung und weniger dem Schutz von Diversität. Dabei hat sich als Folge der starken Auslese durch industrielle Fischerei nachweislich die genetische Vielfalt in genutzten Arten verändert. Hier hat sich zum Beispiel die mittlere Körpergröße von Populationen verkleinert (Kuparinen & Merilä, 2007).

Photosyntheseleistung von Phytoplankton hängt von seiner genetischen Vielfalt ab

Für das Plankton ist eine Verarmung genetischer Vielfalt zwar noch nicht beobachtet wor-

den. Theoretische Studien zeigen jedoch, wie wichtig eine hohe Diversität für die Produktionsleistung des Phytoplanktons ist (Vallina et al., 2014). Sollte sich im Globalen Wandel dessen genetische Vielfalt verringern – etwa durch verringerte Durchmischung und intensivere Schichtung der obersten Wasserschicht, durch eine Erhöhung der Wassertemperatur oder durch Meeresversauerung – hätte dies Folgen für das gesamte Ökosystem sowie für globale Stoffkreisläufe. Nur eine reiche Artengemeinschaft kann die im Ozean vorkommenden vielfältigen Wachstumsbedingungen optimal ausnutzen, vor allem wenn sich diese ändern (Chen et al., 2018). Diversität und deren Änderungen sind somit ein wichtiger Schlüssel zum Verständnis der Reaktion mariner Ökosysteme auf mehrere, gleichzeitig wirkende menschengemachte Veränderungen (Taherzadeh et al., 2019). Generell wird noch vermutet, dass diese Veränderungen zu einer Verschiebung des Artenspektrums durch Artenaustausch führen, nicht aber zu einer Verringerung der Diversität.

Das „Paradox des Planktons“ erschwert die Vorhersage

Trotz enormer Anstrengungen bleibt es schwierig, Biodiversität im Ozean zu messen (s.a. Census of Marine Life). Daher werden Modelle gebraucht, die Aussagen zu Diversitätsänderungen machen können. Bei der Entwicklung solcher Modelle steht die Forschung vor schweren Aufgaben. So fehlen Messdaten, um Modelle zu überprüfen. Auch widerspricht die Vielfalt in der Natur der Einfachheit im Modell. Wenn Modelle robuste und belegbare Aussagen machen sollen, müssen sie sich auf wenige wesentliche Variablen beschränken. Das gilt dann ebenfalls für die Modellierung des Phytoplanktons. Dem steht die hohe Anzahl an beobachteten Arten gegenüber, die jeweils ähnlich aber nicht identisch auf Umwelteinflüsse reagieren. Und selbst wenn Modelle versuchen, diese Vielfalt auf Kosten hoher Unsicherheit darzustellen, stoßen sie auf ein fundamentales Problem. Dieses Problem wird auch das „Plankton-Paradox“ genannt. Das bedeutet, dass es eine Diskrepanz

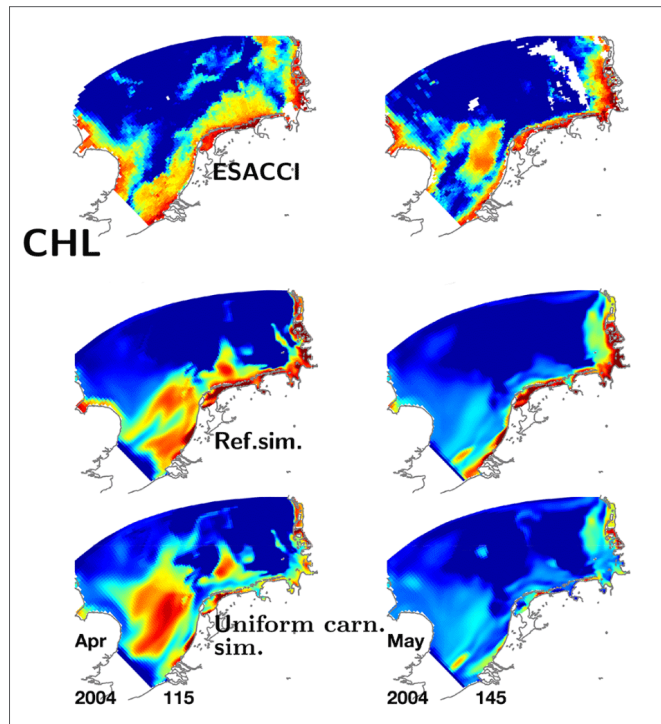
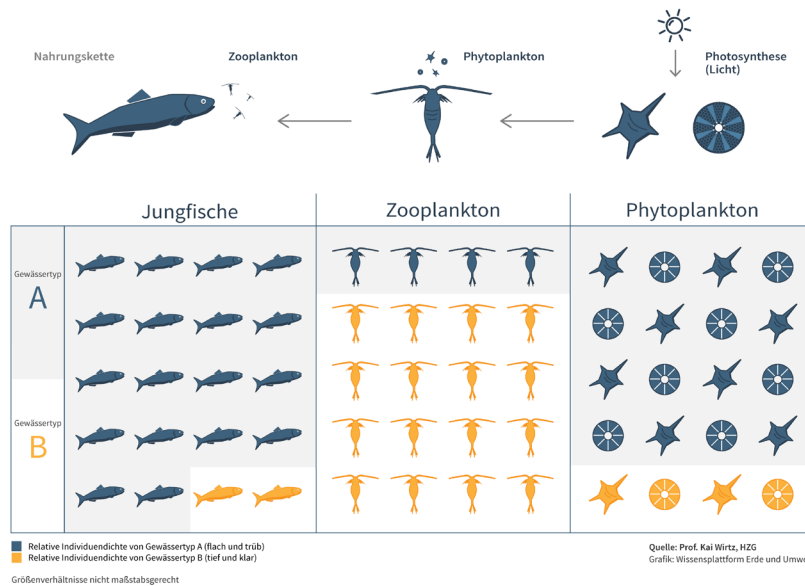


Abb. 1: Chlorophyll-Konzentration an der Wasseroberfläche als Indikator für die Konzentration des Phytoplanktons während und nach der Algenblüte im Frühjahr in 2004. Oben: Satellitenaufnahmen; Mitte: Referenzsimulation mit Kaskadeneffekt, d.h. erhöhtem küstennahen Frassdruck auf Zooplankton. Es zeigt sich, dass eine solche ökosystemare Modellierung, die komplexe Zusammenhänge und Interaktionen in Nahrungskette einschließt, besser die reale Entwicklung abbilden kann (vgl. Satellitenbild); Unten: Simulation ohne Kaskadeneffekt (Frassdruck). Grafik aus: Wirtz 2019 / CC BY 4.0

zwischen der beobachteten und der erwarteten Zahl der Planktonarten gibt.

Zurzeit können wissenschaftliche Theorie und angewandte Modelle für ein halbes Dutzend an variablen Wachstumsfaktoren nur jeweils ein bis zwei langfristig konkurrenzfähige Arten vorhersagen. Das bedeutet: Alle Arten, die nicht zumindest bei einem der Wachstumsfaktoren oder bei deren Kombination zeitweilig allen anderen Arten überlegen sind, sterben in der Simulation schnell aus. Allgemein gehen Planktonforscherinnen und -forscher von etwa einem

Kaskadeneffekt entlang der Nahrungskette von Jungfisch - Zooplankton - Phytoplankton



Darstellung der Dichte von Artengruppen in unterschiedlichen Gewässertypen:

Im Gewässertyp A [flaches und trübes Wasser] gibt es viele Jungfische (und Muscheln) und viel Phytoplankton, jedoch wenig Zooplankton (in der Grafik in blau dargestellt).

Im Gewässertyp B [tiefes und klares Wasser] kehrt sich das Verhältnis um. Hier gibt es wenig Jungfische und Phytoplankton, dafür aber viel Zooplankton.

Quelle: Prof. Kai Wirtz, HZG; grafische Umsetzung: Wissensplattform Erde und Umwelt, eskp.de / CC BY 4.0

halben Dutzend relevanten Faktoren aus. Dazu zählen Lichtintensität, Temperatur, Fraßdruck, Verfügbarkeit von Stickstoff oder Phosphor und ggf. einem weiteren Nährstoff. Bei deren Veränderung überleben in den bisherigen Modellen nur ein halbes Dutzend spezialisierte Arten oder ein Dutzend kompromissfähige Arten. Tatsächlich finden sich aber in jedem Liter Meereswasser mindestens hundert Arten Phytoplankton. Bislang fehlt noch ein überzeugender Forschungsansatz, um mit dieser hohen Differenz umzugehen. Das bedeutet, dass die bisherigen Annahmen falsch oder unvollständig sind. Ohne die Lösung dieses Grundlagenproblems wird es schwer sein, Biodiversitätsänderungen in Zukunft mit Modellen vorherzusagen.

Biodiversität am Meeresboden zuverlässiger voraussagbar

Eine ähnlich hohe Vielfalt wie im Wasser findet sich auch am Meeresboden. Diese Vielfalt kann im Gegensatz zum Plankton jedoch besser erklärt werden [siehe Artikel: W. Zhang & C. Eschenbach: „Bedeutung der Biodiversität für Ökosystemfunktionen und Küstenformen“]. Organismen am und im Boden (das sogenannte Benthos) finden in ihrem Lebensraum 50 cm

unterhalb bis 15 cm oberhalb des Meeresbodens extrem unterschiedliche Lebensbedingungen in Bezug auf die chemische Umwelt, den Schutz vor Fressfeinden oder das Nahrungsangebot. Wie bei Plankton oder den im offenen Meer lebenden Fischen – den sogenannten pelagischen Fischen – hat diese Vielfalt erheblichen Einfluss auf wichtige Ökosystemfunktionen (Zhang & Wirtz, 2017).

Andererseits ändert sich die Zusammensetzung der Arten im Meeresboden infolge menschlicher Eingriffe. Beispielsweise haben sich in der Nordsee eingeschleuste Arten wie die pazifische Auster etabliert oder es werden verschwundene Arten wie die Europäische Austern wieder angesiedelt. Es ist anzunehmen, dass die viel diskutierte Einrichtung von Meeresschutzgebieten oder die Schaffung künstlicher Habitats durch Offshore-Bauten (z.B. Windkraftanlagen) nicht nur den Artenaustausch, sondern sogar die Diversität vor allem der bodenlebenden Gemeinschaften erhöht. Vom flachen Küstenmeer aus wirken solche Änderungen stark in die Ökosysteme des offenen Meeres hinein.

Kombinierte Daten- und Modellstudien deuten darauf hin, dass es zu systemischen Effekte ent-

lang der Nahrungskette kommt. Diese reichen von Muscheln und Fischlarven über Zooplankton und Phytoplankton bis hin zur Nährstoffdynamik (Wirtz, 2019). So zeigen die Beobachtungen, dass Muscheln und junge Fische im flachen und trüben Küstenwasser stark zunehmen. Muscheln beispielsweise ernähren sich von im Wasser driftendem tierischem und pflanzlichem Plankton. Stellt man diese kom-

plexen Vorgänge nun in Simulationen modellhaft nach, dann zeigt sich, dass sich Änderungen im Vorkommen von Konsumentengruppen entlang der Nahrungskette wie in einer Kaskade fortpflanzen. Es gibt also komplexe Folgeprozesse im Ökosystem Küste, die auch die Diversität in unterschiedlichen Bereichen des Nahrungsnetzes verändern.

Quellen

- Chen, B., Smith, L., & Wirtz, K.W. (2018). Effect of phytoplankton size diversity on primary productivity in the North Pacific: trait distributions under environmental variability. *Ecology Letters*, 22(1), 56-66. doi:10.1111/ele.13167
- Kuparinen, A. & Merilä, J. (2007). Detecting and managing fisheries-induced evolution. *Trends in Ecology & Evolution*, 22(12), 652-659.
- Möller, K. O. (2019). Neue Einblicke durch Plankton-Observatorien. In Earth System Knowledge Platform (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt* (S. 158-161). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.1.7.3
- Taherzadeh, N., Bengfort, M., & Wirtz, K. W. (2019). A Trait-Based Framework for Explaining Non-additive Effects of Multiple Stressors on Plankton Communities. *Frontiers of Marine Science*, 6:351. doi:10.3389/fmars.2019.00351
- Vallina, S.M., Follows, M.J., Dutkiewicz, S., Montoya, J.M., Cermeno, P. & Loreau, M. (2014). Global relationship between phytoplankton diversity and productivity in the ocean. *Nature Communications*, 5:4299. doi:10.1038/ncomms5299
- Wirtz, K.W. (2019). Physics or biology? Persistent chlorophyll accumulation in a shallow coastal sea explained by pathogens and carnivorous grazing. *PLoS ONE*, 14(2):e0212143. doi:10.1371/journal.pone.0212143
- Zhang, W., & Wirtz K.W. (2017). Mutual dependence between sedimentary organic carbon and infaunal macrobenthos resolved by mechanistic modeling. *Journal of Geophysical Research*, 122(10), 2509-2526. doi:10.1002/2017JG003909

SCHUTZ VON LEBEN IM MEER

Neue Einblicke durch Plankton-Observatorien

Autor: Dr. Klas Ove Möller (Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung HZG)

Am Anfang der Nahrungskette im Meer steht das Plankton. Plankton zeichnet sich durch eine ausgesprochen breite Artenvielfalt aus. Mittels neuer Unterwasser-Plankton-Observatorien soll die Vielfalt des Planktons besser erfasst werden. So können auch die Veränderungen der Biodiversität im Plankton erkannt werden, die im Zusammenhang mit dem Klimawandel auftreten.

- Plankton ist die Basis der Ökosysteme des Meeres.
- Durch den Klimawandel ändern sich die Artenverteilung und -zusammensetzung im Meer.
- Mehr Wissen über die Zusammenhänge ist eine wichtige Voraussetzung für das nachhaltige Management mariner Ökosysteme.
- Die Verteilung des Planktons kann mittels neuer bildgebender Verfahren erfasst werden.
- Vor Helgoland wird ein neues Unterwasser-Zooplankton-Observatorium (ZooObs) eingesetzt.

Die große Rolle der kleinsten Meeresbewohner

Planktonische Organismen sind mikroskopisch kleine Tiere („Zooplankton“) und Pflanzen („Phytoplankton“), welche mit den Meeresströmungen driften. Sie sind die produktive Basis aquatischer Ökosysteme, spielen eine wichtige Rolle in ozeanischen Nahrungsnetzen und haben einen wesentlichen Einfluss auf den Kohlenstoffkreislauf des Ozeans. Somit hat Plankton eine direkte Auswirkung auf die wirtschaftlich wichtigen Fischbestände und das globale Klima. Aus diesen Gründen ist es notwendig, die Prozesse zu verstehen, welche die räumliche und zeitliche Verteilung, sowie die Häufigkeit und Biodiversität dieser Organismen beeinflussen.

Die genaue Aufschlüsselung der Plankton-Verteilung ist jedoch schwierig, da aquatische Ökosysteme durch eine außerordentlich große Vielfalt an biologischen und physikalischen Merkmalen (z. B. Temperatur und Salzgehalt) gekennzeichnet sind und Beobachtungen im Meer somit herausfordernder sind als an Land. Gleichzeitig sind diese unterschiedlichen

und variablen Bedingungen im Meer auch der Ursprung der enormen Artenvielfalt des Planktons (Abb. 1).

Traditionelle Methoden der Probenahme mit Hilfe von Planktonnetzen und Pumpen sind in ihrer räumlichen und zeitlichen Auflösung begrenzt. Außerdem erschweren das Fluchtverhalten, der Staudruck vor den Netzen, sowie das Zerbrechen der feinen Organismen eine realistische Abschätzung der Konzentration und Biodiversität des Planktons im Ozean.



Abb. 1: Beispielbilder von Zooplankton. Aufgenommen mit einer Unterwasserkamera (Video Plankton Recorder) im Nord-Atlantik.

Foto: HZG



Abb. 2: Beispielbilder eines Video-Plankton-Recorders von zwei Medusen, welche aufgrund ihres gelatinösen Körperbaus in traditionellen Planktonnetzen nicht quantitativ beprobt werden können.
Foto: Klas Ove Möller/HZG

Abb. 3: Beispielbilder von unterschiedlichen „Meeresschnee“-Aggregaten, aufgenommen mit einer Unterwasserkamera (Video Plankton Recorder)
Foto: Klas Ove Möller/HZG

Photoshooting im Ozean – Unterwasser-Kameras ermöglichen neue Einblicke

Neue technologische Entwicklungen der letzten Jahre führten zur Verbreitung nicht-invasiver, bildgebender Probenahme-Methoden von Plankton. So ermöglicht der Einsatz von Unterwasser-Kameras eine bessere qualitative und quantitative Beprobung der Biodiversität, Artenverteilung und Konzentration dieser fragilen Organismen (z.B. gelatinöse Rippenquallen, kettenbildende Kieselalgen) in ihrem natürlichen Verhalten und Orientation (Abb. 2).

Darüber hinaus ermöglicht die Darstellung einer Planktonprobe im digitalen Bildformat eine Beschleunigung der Auswertung. Während Netzproben langwierig und manuell unter dem Mikroskop sortiert und gezählt werden müssen, ermöglichen neue Softwareentwicklungen und maschinelles Lernen die automatische Klassifizierung unterschiedlicher Arten und riesiger Datenmengen in Echtzeit.

Schneefall im Meer

Kameras beobachten nicht nur Plankton, sondern auch alle anderen Teilchen, die mit dem Meerwasser vor der Linse vorbeidriften, wie z.B. abgestorbene, organische Partikel und Aggregationen einst lebenden Ursprungs. Diese

herabsinkenden Partikel werden auch als Schnee der Meere oder „marine snow“ bezeichnet (Abb. 3).

Dieser Schneefall im Meer ist ein wichtiger Transportweg von Kohlenstoff aus der Atmosphäre und der oberen Schicht des Meeres in die Tiefsee und Teil der sogenannten biologischen Kohlenstoffpumpe des Ozeans. Zusätzlich wird vermutet, dass „marine snow“ eine mögliche und bisher unterschätzte Nahrungsquelle für das tierische Zooplankton ist.

Unser Verständnis der Prozesse, die die biologische Kohlenstoffpumpe des Ozeans kontrollieren, ist jedoch durch einen Mangel an Beobachtungsdaten in einem geeigneten Maßstab begrenzt, und über die Häufigkeit, Zusammensetzung und Nährstofffunktion von Meeresschnee ist wenig bekannt.

Das Plankton-Observatorium in der Nordsee

Um die Beobachtungen vor Ort zu verbessern wurde ein neues Unterwasser-Zooplankton-Observatorium (ZooObs) entwickelt (Abb. 4), welches kürzlich stationär in der südlichen Nordsee vor der Hochseeinsel Helgoland am Meeresboden verankert wurde. Während Kameras meist mobil von Forschungsschiffen eingesetzt werden, liegt der Schwerpunkt hier auf

langzeitlichen lokalen Beobachtungen – rund um die Uhr und selbst bei harschen Wetterbedingungen und kurzfristig eintretenden Extremereignissen.

Das Unterwasser-Observatorium ist mit einem Landkabel zur Stromversorgung und Datenübertragung verbunden und kombiniert eine ferngesteuerte Unterwasser-Kamera (Video-Plankton-Recorder, VPR) mit einem akustischen Strömungs-Messinstrument (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP). Der ADCP liefert eine dreidimensionale Vermessung des Strömungsfeldes und misst zusätzlich die akustische Rückstreustärke aller Partikel und Organismen zwischen Meeresboden und Oberfläche im dreidimensionalen Raum.

Mit Hilfe dieser Daten lassen sich tägliche oder auch saisonale Wanderungsmuster von Zooplankton-Gemeinschaften untersuchen und Partikeldichten im Wasserkörper ermitteln. Der VPR nimmt gleichzeitig 15 Bilder in der Sekunde auf und bestimmt Phytoplankton, Zooplankton und „marine snow“ ab einer Größe von 50 µm.

Alle Bilder werden anschließend automatisch in unterschiedliche Gruppen und Arten klassifiziert. Diese kontinuierlichen und hochaufgelösten Beobachtungen in nahezu Echtzeit ermöglichen, die zeitlichen Skalen von Minuten bis zu mehreren Monaten abzudecken.

Das ZooObs ist Teil des Coastal Observing Systems for Northern and Arctic Seas (COSYNA) und liefert in Kombination mit einer Reihe anderer Sensorplattformen und Messinstrumente (z.B. Glider, Fernerkundung, Forschungsschiffe und HF-Radar) einen einmaligen Datensatz.

Biodiversitätsänderungen erkennen durch neue Technologie

Die kontinuierlichen und zeitlich hochaufgelösten Daten des Unterwasser-Plankton-Observatoriums schaffen erstmalig die Möglichkeit, komplette Jahreszeitenverläufe zu beobachten und münden längerfristig in die Etablierung einer Langzeitserie. Diese bieten die Gelegenheit,



Abb. 4: Das Unterwasser-Plankton Observatorium vor einem Testeinsatz in der Ostsee.

Foto: Klas Ove Möller/HZG

Änderungen in der Biodiversität in Relation zu den hydrographischen Gegebenheiten im Ozean zu erkennen (z.B. Veränderung der Wassertemperatur).

Des Weiteren ermöglichen die Daten das Erkennen von „invasiven“ Arten, welche z.B. durch das Ballastwasser von Containerschiffen verbreitet werden und sich durch umweltbedingte Änderungen in dem marinen Ökosystem etablieren können. Außerdem erlauben die Kameraaufnahmen Untersuchungen und Prozessstudien zum Verhalten von Plankton im Ökosystem. Besonders interessant sind vertikale Tag-Nacht-Wanderungen, Räuber-Beute-Interaktionen und nicht zuletzt die Interaktion zwischen Zooplankton und „marine snow“.

Zudem sind Vergleiche und Ergänzungen mit den vom Alfred-Wegener-Institut (AWI) mit traditionellen Methoden erhobenen Datensatz „Helgoland Reede“ geplant, einem der weltweit wichtigsten Datensätze mit täglichen Probenahmen seit mehreren Jahrzehnten.

Herausforderungen und Visionen

Das ZooObs ergänzt das Unterwasserknoten-System, das von HZG und AWI im Rahmen von COSYNA vor Helgoland eingesetzt wird. In diesem küstennahen Ozean sind die Sichtbedingungen durch die von den Gezeiten und zeitweise durch die von Stürmen aufgewirbelten

Sedimente trübe. Der Einsatz von Unterwasser-Kameras ist daher besonders herausfordernd.

Trotzdem ist der Standort gerade durch die hohe Produktivität an der Küste und den hohen anthropogenen Einfluss wissenschaftlich interessant. Der Einsatz der neuartigen Erfassungsmethode ist nicht zuletzt aufgrund der sich schnell ändernden Artenvielfalt notwendig.

Für die Zukunft ist der Einsatz eines weiteren Plankton-Observatoriums in der Arktis geplant. In diesem Gebiet ist die menschliche Nutzung gering, der Klimawandel macht sich aber bereits besonders durch steigende Temperaturen bemerkbar und ist daher für Vergleichsstudien besonders interessant. Der integrative Monitoring-Ansatz überbrückt die Lücke zwischen der Primärproduktion und den höheren Ebenen der Nahrungskette und hilft dabei, schnell auftretende Umweltveränderungen zu erkennen und zu verfolgen. Eine überregionale Etablierung mehrerer Unterwasser-Observatorien kann somit ein mögliches Instrument für eine ganzheitliche Bewertung der marinen Biodiversität darstellen. Das wäre eine wichtige Voraussetzung für ein nachhaltiges Management mariner Ökosysteme.

Kooperationspartner

Das Unterwasserplankton- und Partikelbeobachtungszentrum wurde in Zusammenarbeit zwischen dem **HZG** (Dr. Klas Ove Möller), dem **Thünen-Institut für Seefischerei** (Dr. Boris Cisewski) und dem **Alfred-Wegener-Institut** (Prof. Dr. Philipp Fischer) gemeinsam mit Unternehmen für Meerestechnik entwickelt. Das Zooplankton-Observatorium wurde im Rahmen des Verbundprojekts **AutoMAt** („Anpassung und Weiterentwicklung von innovativen, nicht-invasiven Monitoringsystemen und Auswerteverfahren für die Fischereiforschung“) entwickelt. AutoMAt wurde vom Projektträger **BLE** (Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung) gefördert.

Quellen

- Lombard, F., Boss, E., Waite, A. M., Vogt, M., Uitz, J., Stemmann, L., Sosik, H. M., ... Appeltans, W. (2019). Globally consistent quantitative observations of planktonic ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, 6:196, 1-21. doi:10.3389/fmars.2019.00196
- Möller, K. O., Schmidt, J. O., St. John, M., Temming, A., Diekmann, R., Peters, J., Floeter, J., Sell, A. F., Herrmann, J.-P. & Möllmann, C. (2015). Effects of climate-induced habitat changes on a key zooplankton species. *Journal of Plankton Research*, 37(3), 530-541. doi:10.1093/plankt/fbv033
- Möller, K. O., St. John, M., Temming, A., Floeter, J., Sell, A. F., Herrmann, J.-P. & Möllmann, C. (2012). Marine snow, zooplankton and thin layers: indications of a trophic link from smallscale sampling with the Video Plankton Recorder. *Marine Ecology Progress Series*, 468, 57-69. doi:10.3354/meps09984

SCHUTZ VON LEBEN IM MEER

Die Bestimmung von Phytoplanktongruppen durch Fernerkundung in Küstengewässern

AutorInnen: Dr. Christiane Eschenbach, Dr. Hajo Krasemann
(Helmholtz-Zentrum Geesthacht, Zentrum für Material- und Küstenforschung HZG)

Kleinste, im Meer driftende Algen produzieren etwa die Hälfte des in der Atmosphäre weltweit vorhandenen Sauerstoffs. Gleichzeitig nimmt der Ozean etwa ein Drittel des jährlich von Menschen freigesetzten CO₂ wieder auf. Das Phytoplankton bildet zudem die Basis des marinen Nahrungsnetzes und ist deshalb entscheidend für das Vorkommen und die Artengemeinschaften anderer Meeresorganismen. Es sichert somit viele wichtige Ökosystemleistungen. Jedoch können Algenblüten auch toxisch sein und die Fischerei beeinträchtigen.

- Die Überdüngung der Meere wie auch der Klimawandel könnten großräumige Veränderungen des Phytoplanktons mit sich bringen.
- Mit Hilfe von hoch auflösenden Fernerkundungsdaten und komplexen Berechnungen werden das Auftreten und die Ausbreitung von Algenblüten überwacht.
- Neuerdings gelingt sogar die Bestimmung einzelner Algengruppen per Satellit.

Als Phytoplankton oder pflanzliches Plankton bezeichnet man kleinste Algen, die mit der Wasserströmung passiv im Gewässer treiben. Das Phytoplankton im Meer umfasst zum Beispiel Kieselalgen, Grünalgen, Dinoflagellaten (Panzergeißler) oder auch Blaualgen (Cyanobakterien). Durch Photosynthese binden diese winzigen Algen Kohlenstoff, aus dem sie mit Hilfe von Nährstoffen ihre Biomasse aufbauen.

Das Phytoplankton produziert damit etwa die Hälfte des in der Atmosphäre vorhandenen Sauerstoffs. Es bildet die Grundlage des Nahrungsnetzes im Meer und spielt eine wesentliche Rolle für die Biodiversität in den Ozeanen. Viele Ökosystemleistungen der Meere, die der Mensch in Anspruch nimmt, basieren auf dem Phytoplankton. So spielen Algen für die menschliche Ernährung direkt und indirekt eine wichtige Rolle.

Wichtig ist auch der Beitrag des Phytoplanktons zur Regulation des Klimas: Es fixiert große Mengen des klimaschädlichen Kohlendioxid. Dessen Konzentration in der Atmosphäre steigt

daher langsamer und die globale Erwärmung wird abgemildert.

Andererseits gibt es Algen, die toxische Stoffe entwickeln und bei einem massenhaften Auftreten gefährlich werden können. Daher wird Phytoplankton im Rahmen verschiedener Messprogramme regelmäßig überwacht. Dies geschieht vor Ort als Messung direkt im Wasser (in-

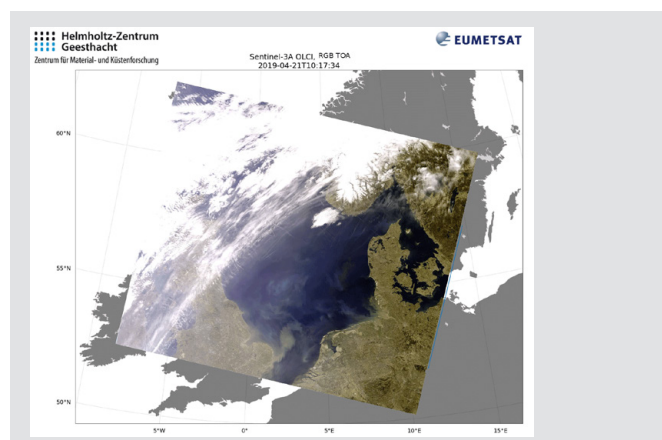


Abb. 1: Satellitenbild der Nordsee vom 21. April 2019. (Sensor OLCI aus Sentinel-A) Karte: KOF/HZG

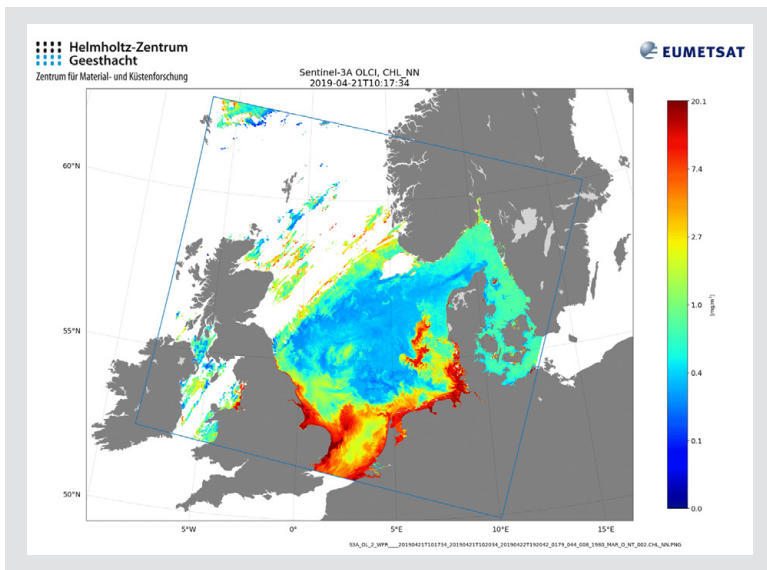


Abb. 2: Gezeigt wird die Chlorophyllkonzentration der Nordsee. Bestimmt wurde sie aus dem optischen Signal. Eine Rotfärbung steht für „höchste Konzentration“, blau bis hellgrün hingegen für die „durchschnittliche Konzentration“. Neben den höheren Werten in Küstennähe ist auch eine ausgeprägte Erhöhung, d.h. eine Algenblüte, in der zentralen Nordsee zu sehen. (Sensor OLCI auf Sentinel-3A mit dem Prozessor für optisch komplexe Gewässer bestimmt für den 21. April 2019, 10:17 UTC.) Karte: KOF/HZG

situ), durch Fernerkundung und auch indirekt durch Modellierungen. Ein Beispiel dafür ist das Copernicus-Programm mit seinem Marine Environment Monitoring Service (CMEMS). Als Näherungswert für die Phytoplankton-Konzentration wird oft die Konzentration des darin enthaltenen Chlorophylls verwendet.

Phytoplankton in bis zu 50 m Wassertiefe mit Fernerkundung messen

Für die Überwachung des Zustands der Meere, sowie der Küsten- und Binnengewässer ist die flächendeckende Fernerkundung unverzichtbar geworden. Aus der Farbe des Ozeans – also aus einem optischen Signal – werden bestimmte Wassereigenschaften abgeleitet. Mittels satellitengestützter Verfahren werden heute routinemäßig die Konzentrationen von Schwebstoffen, Algen (Chlorophyll) und organischen Abbauprodukten wie Gelbstoff gemessen. Seit 1997 sind ohne Unterbrechung Satelliten mit entsprechenden Sensoren im Orbit. Heute sind dies zum Beispiel die US-amerikanischen und europäischen Satelliten MODIS, VIIRS, und OLCI auf Sentinel-3.

Die Sensoren messen im sichtbaren und im nahen Infrarot-Bereich und zwar nur in definierten Ausschnitten des Spektrums, das heißt in engen Spektralbereichen. In der Fachsprache

spricht man von sogenannten „spektralen Bändern“ (Abb. 3). Bei dem ersten Beobachtungssatelliten standen zunächst 8 Bänder zur Verfügung. Heute sind es bis zu 21 Bänder, und damit ein größerer Anteil am gesamten Spektrum.

Die für die Satelliten „sichtbare“ Wasserschicht beträgt je nach Wasserbedingungen 5 Millimeter bis 50 Meter. Im Wattenmeer und in der Trübungszone der Elbe ist die Sichttiefe für die Satelliten mit nur 0,5 bis 50 Zentimetern gering. In der mittleren Nordsee beträgt die sichtbare Schicht bereits 10 bis 15 Meter und in den klaren Gewässern des offenen Ozeans bis zu 50 Meter.

Wie funktioniert die Messung? Genaugenommen werden die Konzentrationen aus den sogenannten Reflektanzen berechnet. Dabei handelt es sich um das Verhältnis der Strahlung, die aus dem Wasser austritt, zu derjenigen Strahlung, die in das Wasser eindringt (ohne den Anteil, der an der Oberfläche reflektiert wird). Die sich anschließenden Berechnungen zur Bestimmung der verschiedenen Konzentrationen sind kompliziert und umfassen viele einzelne Berechnungsverfahren und -schritte. Zum Beispiel müssen zunächst die Einflüsse der Atmosphäre, die einen großen Anteil des gemessenen Signals ausmachen, aus den Reflektanzen herausgerechnet werden („Atmosphärenkorrektur“).

Als Ergebnis einer solchen komplizierten Berechnungskette zeigt Abb. 2 als Beispiel die Verteilung der Chlorophyllkonzentration in der Nordsee an einem Frühlingstag. Aufgrund der höheren biologischen Aktivität ist die Chlorophyllkonzentration in Küstennähe generell hoch. Westlich von Dänemark und auch nördlich der Emsmündung sind Algenblüten (rot) zu erkennen.

Mit den bisher beschriebenen Verfahren kann man die Chlorophyll-Konzentrationen sicher bestimmen und daraus die Algenbiomasse ableiten. Damit weiß man aber noch nichts über die Arten, die zum Beispiel eine Algenblüte bilden. Die Unterscheidung von Algengruppen per Fernerkundung ist weitaus schwieriger und die nächste Herausforderung. Eine Unterscheidung der einzelnen Arten selbst ist aktuell noch nicht möglich.

Algengruppen zuverlässig unterscheiden mit hyperspektralen Messungen

Die Bestimmung der Algengruppen beruht darauf, dass verschiedene Artengruppen des Phytoplanktons, wie Grünalgen, Kieselalgen oder Dinoflagellaten, geringfügig verschiedene Absorptionsspektren haben. Allen gemeinsam ist ein Haupt-Absorptionsmaximum im blauen, ein Nebenmaximum in roten Spektralbereich und eine geringe Strahlungsabsorption im Grünen (Abb. 3). Bei genauer Betrachtung zeigen die verschiedenen Algengruppen im Detail aber Unterschiede und lassen sich daher anhand ihrer Absorptionsspektren unterscheiden. Die Unterschiede zwischen verschiedenen Algengruppen sind zwar im vollständigen Spektrum gut zu erkennen, aber anhand nur weniger „Bänder“ lassen sich die Algengruppen nicht sicher voneinander unterscheiden (Abb. 3 links).

Ein vollständig gemessenes Spektrum ist daher Voraussetzung, um eine sichere spektrale Unterscheidung der Algengruppen durchzuführen. Nur dann kann die dafür notwendige mathematische Ableitung berechnet werden (Abb. 3

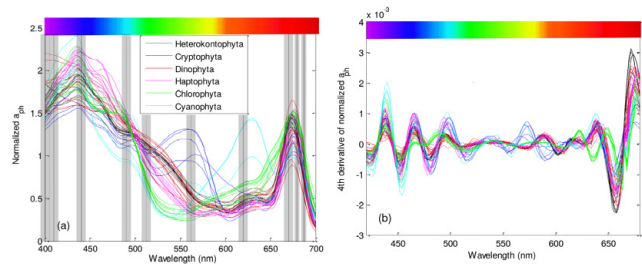


Abb. 3: Beispiele von Absorptionsspektren für verschiedene Phytoplanktongruppen (links) und mit den entsprechenden Spektren der vierten Ableitung (rechts). Grau hinterlegt sind die vom Sensor OLCI auf Sentinel-3 genutzten Spektralbänder, als schwarze Linie die jeweils zentrale Frequenz und grau der jeweils gesamte Bereich aus dem die Strahlung gemessen wird. Weitere Bänder im nahen Infrarot oberhalb 700 nm sind nicht dargestellt. Man kann gut erkennen, dass die spektrale Lage der Bänder gewählt wurde, um typische Maxima und Minima erkennen zu können. Grafik aus Xi, H. et al. 2015 / CC BY 4.0

rechts). Die Bestimmung des vollständigen Spektrums im sichtbaren Bereich und im nahen Infrarot mit sehr vielen, das heißt 100 bis 500 engen, aber doch noch etwas überlappenden Bändern wird „hyperspektrale“ Messung genannt.

Im Orbit wurden erst wenige spezielle Sensoren eingesetzt, die auch über Wasser ein vollständiges Spektrum messen können. Dies geschah bisher nur in experimentellen Anordnungen – zum Beispiel auf der Internationalen Raumstation ISS (Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean / HICO, DESIS). Zurzeit sind mehrere Satellitenmissionen mit derartigen Sensoren in Vorbereitung, die eine solche Analyse mit ausreichender Qualität ermöglichen sollen. Eine davon ist die EnMAP-Mission, die für Ende 2020 den Start eines neuen Satelliten plant.

Als Vorbereitung für die Satellitenmissionen wurde untersucht, inwieweit es möglich ist, einzelne Algengruppen durch „hyperspektrale“ Messung voneinander zu unterscheiden (Abb. 4). Dafür wurde nicht das direkte Absorptionsspektrum (Abb. 3 links) verwendet, sondern die vierte Ableitung davon. Damit sind

systembedingte Störsignale deutlich unterdrückt und kleine Abweichungen der jeweiligen Kurvenspitzen gut zu erkennen (siehe Abb.3 rechts). Die Unterscheidungsfähigkeit hängt von der Chlorophyll-Konzentration ab (Abb. 4).

Bei geringen Konzentrationen ist der sogenannte Similaritätsindex – als Maß für die Ähnlichkeit der Spektren – für alle Algengruppen fast gleich und liegt nahe eins. Die verschiedenen Algengruppen sind also bei geringen Konzentrationen – wie sie z.B. für den blauen Ozean in großer Küstenferne, für die zentrale Nordsee oder zwischen den Kontinenten typisch sind – durch die hyperspektrale Fernerkundung kaum zu unterscheiden. Mit steigender Konzentration wird die Unterscheidungsfähigkeit besser und bei Konzentrationen von 1 bis 10 mg/m³ ist eine Unterscheidung realistisch möglich. Solche Konzentrationen sind zum Beispiel typisch für die Deutsche Bucht.

Wenn die Chlorophyllkonzentrationen hoch genug sind, können auf diese Weise künftig Algengruppen anhand von Satellitenmessungen taxonomisch bestimmt werden. Für jedes Pixel einer Satellitenszene können Aussagen über Algengruppen getroffen werden. Zum Beispiel können die Algenblüten in der Nordsee (Abb. 1 und 2) dann einer bestimmen Algengruppe zugeordnet werden.

Algenblüten jahreszeitlich genau erfassen können

Die neuen Ansätze zum Monitoring von Algengruppen mittels Fernerkundung dienen dazu, das räumliche und zeitliche Auftreten von Algen zu erkennen. Spannende Fragen sind zum Beispiel: Wo treten bestimmte Algengruppen auf? Gibt es großräumige Verschiebungen von Artengemeinschaften? Ist ein Zusammenhang mit Klimaveränderungen zu erkennen? Wann und wo treten toxische Algen auf?

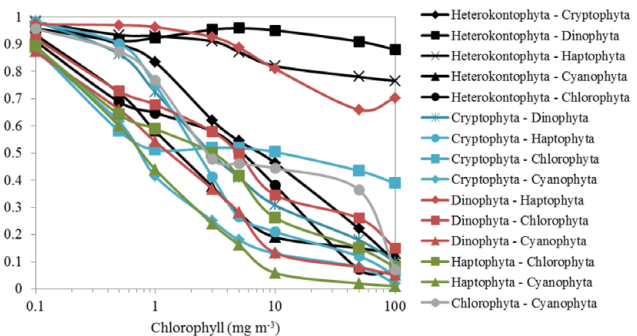


Abb. 4: Similaritätsindex zwischen verschiedenen Algengruppen in Abhängigkeit von der Chlorophyllkonzentration. Dominante Gruppen sind bei Chlorophyllkonzentration von 1–10 mg/m³ gut unterscheidbar.

Grafik aus Xi, H. et al. 2015 / CC BY 4.0

Besonders wichtig ist der Zeitpunkt des Auftretens von Algenblüten im Jahresverlauf. Die Primärproduktion der Algen ist die Grundlage für das Nahrungsnetz im Meer und hat daher wiederum Einfluss auf die Biodiversität derjenigen Lebewesen, die sich von Phytoplankton ernähren. Dieser Einfluss geht weiter durch die sich im Nahrungsnetz anschließenden sogenannten trophischen Ebenen und ihre Artengemeinschaften.

Das Algenwachstum ist zum Beispiel direkt und indirekt wichtig für das Überleben von Fischlarven. Wenn die verschiedenen Komponenten des Nahrungsnetzes aus der Balance geraten, hat das weitreichende Folgen. Siehe dazu auch den Artikel „Leben am Limit – der Klimawandel bedroht den Kabeljau“.

Andererseits können zum Beispiel Fischfarmer rechtzeitig vor dem Auftreten von toxischen Algenblüten gewarnt werden. Sie können entsprechend reagieren und die Fischaufzucht-käfige aus dem gefährdeten Gebiet entfernen oder die Fische gegebenenfalls rechtzeitig entnehmen.

Infokasten: Ein Hyperspektrometer für das Küstenmeer (HICO)

- HICO war der erste weltraumgestützte Hyperspektralsensor, der speziell für den Küstenmeerbereich und Ästuarien, Flussgebiete oder andere Flachwassergebiete entworfen wurde.
- Der Sensor war bis September 2014 auf der Internationalen Raumstation (ISS) im Einsatz.
- Er befand sich im HREP-Messkomplex, der am 10. September 2009 mit einem japanischen HTV-Raumfrachter zur ISS gebracht und an der Außenplattform des japanischen Labormoduls Kibo installiert wurde.
- HICO erzeugte hyperspektrale Bilder, vor allem im Spektralbereich von 400–900 nm, mit einem Bodenprobenabstand von ≈ 90 m.
- Die Sichtfelder für die Quer- und Längsspur betragen 42 km (im Nadir) bzw. 192 km bei einer Gesamtszenenfläche von 8000 km².

Quellen: Feldmann, o.D.; Internationale Raumstation - Nutzen für den Menschen 2012, S. 41-43; Lucke et al., 2011.

Quellen

- Blondeau-Patissiera, D., Gower, J. F. R., Dekker, A. G., Phinn, S. R. & Brando, V. E. (2014). A review of ocean color remote sensing methods and statistical techniques for the detection, mapping and analysis of phytoplankton blooms in coastal and open oceans. *Progress in Oceanography*, 123, 123-144. doi:10.1016/j.pocean.2013.12.008
- Dierssen, H. M. & Randolph, K. (2012). Remote Sensing of Ocean Color. In J. Orcutt (Hrsg.), *Earth System Monitoring* (S. 439-472). New York: Springer.
- Feldman, G. C. (o.D.). What is HICO? [oceancolor.gsfc.nasa.gov/hico]. Aufgerufen am 06.09.2019.
- Guanter, L., Kaufmann, H., Segl, K., Foerster, S., Rogass, C., Chabrilat, S., ... Sang, B. (2015). The EnMAP Spaceborne Imaging Spectroscopy Mission for Earth Observation. *Remote Sensing*, 7(7), 8830-8857. doi:10.3390/rs70708830
- Lucke, R. L., Corson, M., McGlothlin, N. R., Butcher, S. D., Wood, D. L., Korwan, D. R., Li, R. R., Snyder, W. A., Davis, C. O. & Chen, D. T. (2011). Hyperspectral Imager for the Coastal Ocean: instrument description and first images. *Applied Optics*, 50(11), 1501-1516. doi:10.1364/AO.50.001501
- Xi, H., Hieronymi, M., Krasemann, H. & Röttgers, R. (2017). Phytoplankton Group Identification Using Simulated and In situ Hyperspectral Remote Sensing Reflectance. *Frontiers in Marine Science*, 4:272, 1-13. doi:10.3389/fmars.2017.00272
- Xi, H., Hieronymi, M., Röttgers, R., Krasemann, H. & Qiu, Z. (2015). Hyperspectral Differentiation of Phytoplankton Taxonomic Groups: A Comparison between Using Remote Sensing Reflectance and Absorption Spectra. *Remote Sensing*, 7(11), 14781-14805. doi:10.3390/rs71114781

SCHUTZ VON LEBEN IM MEER

Indikatoren für EU-Wasserrahmenrichtlinie: Makroalgen leichter bestimmen

AutorInnen: Dr. Inka Bartsch, Dr. Christian Buschbaum, M. Sc. Tosia Schmithüsen
(Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Für die EU-Wasserrahmenrichtlinie wird an ausgewählten Standorten auch die Biodiversität von marinen Makroalgen erfasst. Dieses Monitoring wird zurzeit nur durch wenige Spezialisten sichergestellt. Der Rote-Liste-Bericht (2012) konstatiert jedoch, dass an Nord- und Ostsee vor allem kleine und unauffällige Makroalgenarten seit Jahrzehnten häufig nicht erfasst wurden. Dies resultiert unter anderem aus einer schwindenden Kompetenz bei der Bestimmung von Makroalgen. Ein besserer Bestimmungsschlüssel für Makroalgen soll nun die wissenschaftliche Praxis unterstützen.

- Die Bewertung des ökologischen Zustandes mariner Küstenökosysteme, in denen Makroalgen Habitat, Schutz und Nahrung für eine Vielzahl anderer Arten bilden, ist ohne gute Artenkenntnisse kaum möglich.
- Die Datenlage für 43 Prozent aller einheimischen Makroalgenarten der Nord- und Ostsee ist unzureichend. Die vorhandenen Bestimmungskennntnisse gehen allmählich verloren.
- Das Alfred-Wegener-Institut entwickelt einen anwenderfreundlichen Bestimmungsschlüssel für Landesämter, Behörden, Umweltbüros sowie Universitäten.

Wirtschaftlich finden Makroalgen weltweit Verwendung in der Nahrungsmittel- und Kosmetikindustrie aber auch Medizintechnik. Rotalgenblätter werden als Sushi verzehrt, Eiscremes oder auch Zahnpasta erhalten ihre cremige Konsistenz durch Inhaltsstoffe der Makroalgen. In der Natur sind diese Makroalgen ökologisch sehr wertvoll und weltweit verbreitet, vor allem an Felsküsten. Sie stehen an der Basis der Nahrungskette und bieten Lebensraum, Schutz und Nahrung für viele andere kleine und größere Lebewesen. Wenn sie sich jedoch auf Grund von Umweltveränderungen oder Einwanderung punktuell massenhaft vermehren, können sie auch für Küstenanwohner zur Plage werden oder die Tourismuswirtschaft schädigen, da die Abbauprodukte unangenehm riechen.

Im Meer gibt es weltweit ca. 10.500 Rot-, Grün- und Braunalgenarten. Die Bestimmung dieser marinen Makroalgen ist komplex und erfordert vielfach Spezialisten. In Deutschland gibt es je-

doch nur noch wenige Menschen, die Meeresalgen mit Sicherheit identifizieren können. Auch an Forschungsinstituten und Universitäten nimmt die Makroalgentaxonomie nur noch eine randständige Bedeutung ein. Dies ist auch



Die Grünalge *Codium fragile* (Der grüne Seefinger) in einem Gezeitentümpel ist eine eingewanderte Art aus japanischen Gewässern. Während sie im NW-Atlantik die heimischen Makroalgen teilweise verdrängt, sind ihre Bestände bei Helgoland nur von geringer Ausbreitung.

Foto: Andreas Wagner, AWI



Typische Ansicht einer kalt-gemäßigten europäischen Felsküste bei Niedrigwasser, die dicht mit einem Teppich klein- und großwüchsiger Meeresalgen besiedelt ist.

Foto: Andreas Wagner, AWI



Die ständig unter Wasser liegenden Bereiche der Uferregion von kalt-gemäßigten und polaren Felsküsten (Sublitoral) sind gekennzeichnet durch dichte Bestände verschiedenartiger Brauntange. Hier zu sehen der Zuckertang (*Saccharina latissima*) und der Fingertang (*Laminaria digitata*), die bei Niedrigwasser für kurze Zeit trocken gefallen sind. Foto: Andreas Wagner, AWI

Grund dafür, warum sie in der universitären Lehre wenig berücksichtigt wird. Dies führt langfristig zu einem Erkenntnisverlust, der sich letztendlich auf die Erfassung der marinen Biodiversität auswirkt. Abnehmende und unzureichende Artenkenntnis unserer Lebensräume betrifft nicht nur die marinen Pflanzen, sondern umfasst auch viele marine Tiergruppen. Als Folge sind viele Hochschulabsolvierende in diesem Fachgebiet nur unzureichend ausgebildet.

Immer weniger Kompetenzen, um Makroalgen zuverlässig bestimmen zu können

Die geringer werdenden Bestimmungskompetenzen an Instituten, in Ämtern und Behörden, unter Studierenden und Wissenschaftenden haben nicht nur weitreichende Konsequenzen für die Forschung. Auch die Bewertung des ökologischen Zustandes mariner Küstenökosysteme, also dort, wo die Makroalgen Habitat, Schutz und Nahrung für eine Vielzahl anderer Tiere und Algen bilden, ist ohne weitreichende Artenkenntnis kaum möglich. Man stelle sich vor, man ginge in einen Mischwald, um die Biodiversität der Bäume und den ökologischen Zustand des Waldes zu erfassen. Würde man Buche, Eiche, Birke, Tanne, Lärche und Fichte nur als Laubbaum oder Nadelbaum erfassen, könnte man zwar eine Aussage über die Dichte der

Bäume treffen, aber nicht über die Artenzahl, deren Verteilung und den Ökosystemzustand. Letzteres ist aber zwingend nötig, um überhaupt wahrzunehmen, ob es ein Problem gibt oder sich die Ökosysteme mit ihren Dienstleistungen im Wandel befinden.

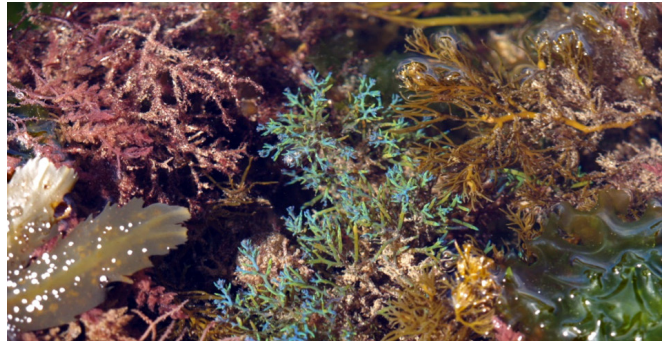
Auf nationaler Ebene haben die Landesämter die Pflicht, den ökologischen Zustand der Nord- und Ostsee zu erfassen – beispielsweise für die EU-Wasserrahmenrichtlinie oder die Meeresstrategierahmenrichtlinie. All diese Bewertungsmaßstäbe beinhalten auch die Erfassung der Biodiversität. Der Rote-Liste-Bericht von 2012 konstatiert aber, dass vor allem kleine und unauffällige Makroalgenarten seit Jahrzehnten häufig nicht bearbeitet und erfasst wurden. Dies resultiert nicht zuletzt aus der schwindenden Bestimmungskompetenz. Als unmittelbare Folge ist die Datenlage für 43 Prozent aller einheimischen Arten der Nord- und Ostsee unzureichend.

Entwicklung eines Bestimmungsschlüssels für Makroalgen in der deutschen Nordsee

Dieser unzureichenden Artenkenntnis im Bereich der marinen Biodiversität möchte das ESKP-Projekt SeaTax entgegenwirken. Ziel ist, die Bestimmungsmerkmale der Makroalgen-



Dichter büscheliger Rotalgenbewuchs im unteren Gezeitenbereich (*Chondrus crispus*) Knorpeltang.
Foto: Andreas Wagner, AWI



Ein Gezeitentümpel in der Bretagne zeigt die Vielfalt von Rot-, Grün-, und Braunalgen, die auf engem Raum nebeneinander und aufeinander wachsen und gleichzeitig auch Lebensraum für eine Vielzahl von kleinen Meerestieren bieten. Foto: Andreas Wagner, AWI

arten in einem anwenderfreundlichen und aktuellen Feld- oder Bestimmungsschlüssel zu vereinen. Der angestrebte Feldschlüssel soll anhand der äußerlichen Farbgebung, und der Struktur und Morphologie der Algen eine benutzerfreundliche Bestimmung der Makroalgen ermöglichen. Zurzeit gibt es keinen solchen vereinheitlichten Bestimmungsschlüssel für die Makroalgen der deutschen Nordsee. Die angesprochene Zielgruppe, um mit dem Bestimmungsschlüssel zu arbeiten, sind vor allem Landesämter, Behörden und Umweltbüros sowie Studierende und Lehrende an den Universitäten. Es handelt sich um Personenkreise, die Exkursionen an die deutsche Nordseeküste unternehmen oder ökologische Bewertungen vornehmen und damit die Veränderung des Umweltzustandes und der Artenvielfalt dokumentieren können.

Gerade Letzteres ist nicht nur von nationalem, sondern auch von weltweitem Interesse. Makroalgen leben vor allem auf Hartboden-Küstenökosystemen, die sich durch menschliches Handeln in einem starken Wandel befinden. Dazu gehören ein übermäßiger Nährstoffeintrag, der bewusste oder unbewusste Eintrag von Neobiota – also Arten, die in einem bestimmten Gebiet erst nach 1492 unter direkter oder indirekter Mithilfe des Menschen heimisch

geworden sind. Aber auch die touristische Nutzung und die zunehmende globale Erwärmung schlagen sich verstärkt in Küstenlebensräumen nieder. Neben dem Verlust von Lebensraum und Biodiversität, haben diese Veränderungen auch wirtschaftliche und gesellschaftliche Folgen.

Durch die globale Umweltveränderung wurden weltweit bereits lokale oder großräumige Zusammenbrüche von Unterwasser-Meereswäldern und Verschiebungen in der Ausbreitung von Makroalgenarten dokumentiert. Dies verursacht kurz- und langfristige Effekte auf die Biodiversität und die Ökosystemleistungen der Küstensysteme. Dazu zählen eine verringerte Produktivität, eine reduzierte Bindungskraft für das klimaschädliche CO₂ oder auch ein Verlust der Attraktivität dieser Meeresgebiete für Touristen. So wurden beispielsweise entlang der südnorwegischen Küste, vor Spanien oder entlang der Westküste Australiens die komplexen langjährigen dreidimensionalen Brauntangwälder mit hoher Biodiversität durch niedrige Matten schnellwüchsiger Makroalgenarten ersetzt. Diese bieten aber weit weniger Tieren einen geeigneten Lebensraum. Diese Verarmung der Biodiversität kann häufig in ihrer Komplexität auf Grund ungenügender Bestimmungskennntnisse nur unzureichend erfasst werden.

Helgoland ist deutsches Eldorado für marine Makroalgen

Auch auf der Felseninsel Helgoland, die das deutsche Eldorado für marine Makroalgen darstellt, machen sich Veränderungen bemerkbar. In dem Gebiet rund um Helgoland wird ein regelmäßiges Monitoring durch Spezialisten mit einer guten Artenkenntnis durchgeführt. Forschungsergebnisse zeigen, dass es in den letzten Jahren diverse Makroalgen-Einwanderer aus entfernten Küstengebieten gab, die teilweise das Ökosystem deutlich verändert haben. So hat der aus dem Pazifik stammende Japanische Beerentang Helgoland erobert. Er kommt in dichten Wäldern vor und ist heute mit einer Länge von über vier Metern eine der größten Algenarten, die es in unseren Meeressgewässern gibt.

Gleichzeitig wurde auch eine Ausbreitung des heimischen Unterwasserwaldes in größere Tiefen dokumentiert und damit eine erhöhte Produktivität und mehr Lebensraum für assoziierte Arten. Letzteres ist wiederum Anzeiger für eine verbesserte Wasserqualität und insgesamt klareres Wasser, welches den Lichteintrag für die Photosynthese treibenden Makroalgen in größere Tiefen verbessert.

Anwenderfreundliches Handbuch sowie Webversion des Bestimmungsschlüssels

Die Entwicklung des Makroalgenbestimmungsschlüssels wird einen wesentlichen Beitrag leisten, um die Ausbildung zu verbessern, Expertenwissen einfacher verfügbar zu machen und Ämter in ihrem Monitoring- und Ausbildungsauftrag zu unterstützen. Befragungen zeigen, dass sich Anwenderinnen und Anwender einen modernen Bestimmungsschlüssel wünschen, der sowohl aktuelle Erkenntnisse aus der Forschung berücksichtigt, auf weiterführende Spezialliteratur verweist und neben der gedruckten Form möglichst auch in einer webbasierten Version zugänglich ist.

Eine Schwierigkeit bei der Bestimmungsarbeit sind die vielen Fachbegriffe, die Lernende abschrecken. Die Erklärungen werden normalerweise in sogenannten Glossaren alphabetisch am Ende eines gedruckten Bestimmungsschlüssels oder Buches zur Verfügung gestellt. Dies macht die Arbeit häufig mühsam. Eine digitale Version wird das Nachschlagen durch Einbau von Pop-Up Menüs oder Verlinkungen deutlich erleichtern. Es gibt erste Konzepte, diese komplexe Aufgabe zu lösen. Da keine vorgefertigten Lösungen für diesen Bereich zur Verfügung stehen, haben wir einen Entwicklungsweg vor uns. Der resultierende Erkenntnisgewinn und die Struktur des Bestimmungsschlüssels werden in Zukunft Spezialisten anderer Organismengruppen zur Verfügung stehen, denn Makroalgen sind nicht die einzige Artengruppe der vielfältigen marinen Biodiversität, die mehr Fokussierung benötigt.

Forschungssteckbrief

Kooperationspartner: Dr. R. Kühlenkamp – phycomarin; Dr. Rolf Karez – Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Ländliche Räume (LLUR-SH)

Projektförderung: ESKP-Sondermittel des Alfred-Wegener-Institutes für Polar- und Meeresforschung

Quellen

- Bartsch, I., Kuhlenkamp, R. (2000). The marine macroalgae of Helgoland (North Sea): an annotated list of records between 1845 and 1999. *Helgoland marine research*, 54, 160-189.
- Juanes, J. A., Guinda, X., Puente, A. & Revilla, J. A. (2008). Macroalgae, a suitable indicator of the ecological status of coastal rocky communities in the NE Atlantic. *Ecological indicators*, 8(4), 351-359. doi:10.1016/j.ecolind.2007.04.005
- Schories, D., Kuhlenkamp, R., Schubert, H. & Selig, U. (2013): Rote Liste und Gesamtartenliste der marinen Makroalgen (Chlorophyta, Phaeophyceae et Rhodophyta) Deutschlands. In N. Becker, H. Haupt, N. Hofbauer, G. Ludwig & S. Nehring (Hrsg.), Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands, Band 2: Meeresorganismen. Münster, Germany: Landwirtschaftsverlag. *Naturschutz und Biologische Vielfalt*, 70(2), 179-229.
- Wernberg, T., Krumhansl, K., Filbee-Dexter, K. & Pedersen, M. (2019). Status and Trends for the World's Kelp Forests. In C. Sheppard (Hrsg.), *World Seas: An Environmental Evaluation. Volume III: Ecological Issues and Environmental Impacts* (2nd Edition) (S. 57-78). New York: Academic Press.

SCHUTZ VON LEBEN IM MEER

Mikrobielle Biodiversität im Meer erhalten

Autorinnen: Dr. Jutta Wiese, Prof. Dr. Ute Hentschel Humeida
(GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Mikroorganismen im Meer stellen eine riesige Schatzkammer dar. Ihr Stellenwert für das Funktionieren von Ökosystemen ist vielfach noch unbekannt. Auch das Potenzial für industrielle Anwendungen etwa in der Medizin oder der Lebensmittelherstellung kann momentan nur ansatzweise abgeschätzt werden. Umso wichtiger ist es, die Vielfalt von Kleinstlebewesen im Meer zu erhalten und intensiver zu erforschen.

- Mikroorganismen sind enorm vielfältig und in allen marinen Lebensräumen anzutreffen.
- Aufgrund ihrer großen Diversität nehmen sie eine entscheidende Rolle im Ökosystem Meer ein.
- Ein nachhaltiger Umgang mit der biologischen Vielfalt von Mikroorganismen in den Ozeanen ist daher wichtig.

Mikroorganismen

Zu den Mikroorganismen zählen Bakterien, Archaeen, Protisten – zum Beispiel Pilze – und Viren. Es handelt sich um winzige Lebewesen, von denen viele nur einen Bruchteil eines Zentimeters (etwa 1 Mikrometer) groß sind. Wie klein sie sind veranschaulicht dieser Vergleich: Würde man 10.000 Bakterienzellen aneinanderreihen, käme man gerade mal auf eine Gesamtlänge von nur einem Zentimeter.

Mikroorganismen sind in allen marinen Lebensräumen anzutreffen. Sie sind im Meerwasser der Arktis genauso nachweisbar wie an den 400 °C heißen Quellen der Tiefsee. An beiden Standorten herrschen extreme Wachstumsbedingungen wie niedrige bzw. hohe Temperaturen oder hoher Druck. Mikroorganismen finden ihren Lebensraum aber auch bei anderen Meeresbewohnern wie zum Beispiel Schwämmen, Korallen, Algen oder Muscheln, mit denen sie häufig in Symbiose leben.

Je nach Lebensraum variiert die Anzahl an Mikroorganismen enorm. So findet man in Meerwasserproben der Kieler Förde (Ostsee) über fünf

Millionen Bakterien schon in einer kleinen Menge, die einem Teelöffel entspricht (1 Milliliter). Im Sediment des Wattenmeeres der Nordseeküsten wurden mehrere Milliarden Meeresbakterien bereits in einem Gramm Schlick nachgewiesen. In marinen Schwämmen können Mikroorganismen in sehr großer Anzahl zwischen 100 Millionen und 10 Milliarden in einem Gramm der Schwammbiomasse vorkommen. Bei dem Hornkieselschwamm *Aplysina aerophoba* machen Mikroorganismen bis zu einem Drittel der Schwammbiomasse aus (Abb. 1).

Über die Gesamtzahl von Mikroorganismenarten im Meer gibt es lediglich Schätzungen. Man geht davon aus, dass mindestens 37.000 Bakterien- und Archaeenarten, 100.000 Protistenarten (inklusive der Pilze) sowie 5.500 Viruspopulationen im Meer vorkommen. Innerhalb jeder Art findet man wiederum zahlreich verschiedene Gruppen nah verwandter Individuen. Jede Art sowie jede Gruppe an Individuen weist Eigenschaften auf, die sie von anderen Arten bzw. Gruppen unterscheidet.

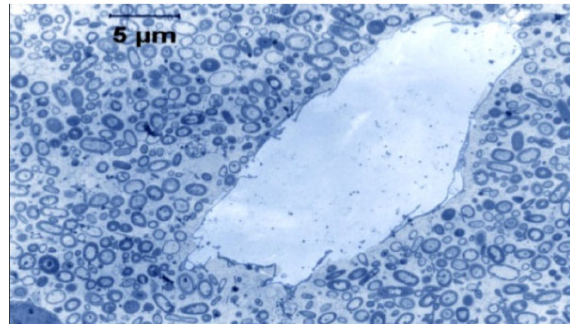
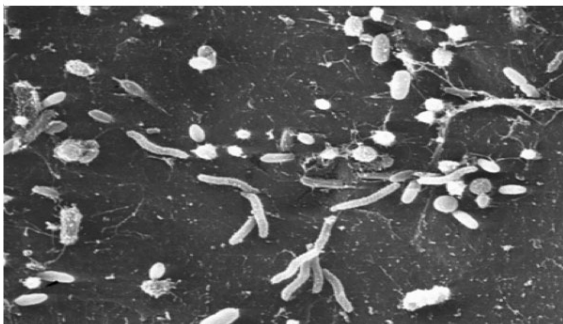


Abb. 1 a-b: Der Zuckertang *Saccharina latissima*, eine Braunalge aus der Ostsee, ist mit zahlreichen Bakterien besiedelt. Es sind stäbchenartige, runde und spiralförmige Bakterien, die die Algenoberfläche besiedeln, zu erkennen.
Aufnahmen: Jutta Wiese

Abb. 1 c-d: Der Mittelmeer-Schwamm *Aplysina aerophoba* beherbergt eine ungeahnte Vielfalt an Mikroorganismen, die in Symbiose mit dem Wirtsschwamm leben.
Aufnahmen: Ute Hentschel Humeida

Wichtige Funktionen im Meer

Mikroorganismen nehmen aufgrund ihrer großen Biodiversität eine entscheidende Rolle im Ökosystem Meer ein: Dazu zählt die Beteiligung am Nährstoffkreisläufen, wie dem Stickstoff- und Kohlenstoffkreislauf. Durch die Aufnahme von Kohlenstoffdioxid tragen Mikroorganismen wesentlich zur Verminderung der Ozeanversauerung bei. Darüber hinaus bieten sie ihren Wirtsorganismen Nahrung, Schutz von Fressfeinden oder wehren Krankheitserreger ab. Dadurch tragen sie zum Überleben der Meeresbewohner, mit denen sie in Symbiose leben, bei.

Die vielfältigen Aktivitäten der unterschiedlichen Mikroorganismen kommen auch zum Tragen, wenn es um die Verringerung von Umweltschäden geht. Ihre Fähigkeiten umfassen

beispielsweise die Zersetzung von Kohlenwasserstoffen, die als Bestandteile von Öl u.a. bei Tankerunfällen in die Meere gelangen. Allerdings dürfen wir trotz der nützlichen Eigenschaften der Mikroorganismen für die Meere nicht vergessen, dass es dringend erforderlich ist, Maßnahmen zu treffen, die den Eintrag von Schadstoffen in die Meere verhindern.

Aufgrund ihrer besonderen biologischen Eigenschaften können Mikroorganismen und die von ihnen produzierten Inhaltsstoffe biotechnologisch genutzt werden. Dazu zählen antibiotisch wirksame Substanzen, Pigmente, Antioxidantien, Vitamine, Fettsäuren oder Enzyme. Diese Inhaltsstoffe werden für Lebensmittel, Tierfutter, Kosmetik, Aquakultur oder Arzneimittel verwendet, um einige Beispiele zu nennen.

Artenvielfalt erhalten

Mikroorganismen sind in der Lage, sich in einem gewissen Umfang an verändernde Umweltbedingungen wie Klimaerwärmung, Ozeanversauerung, Nährstoffeintrag (Eutrophierung) oder Schadstoffe (Mikroplastik) anzupassen. Diese Anpassungsvorgänge sind von großer Bedeutung nicht nur für die Mikroorganismen selbst, sondern für die Nahrungskette, für andere Meeresbewohner, aber auch das gesamte Ökosystem Meer. Allerdings haben sich zum Teil Bakterienarten erst in mehreren hundert Millionen Jahren entwickelt und ihre spezifischen Fähigkeiten ausgebildet. Ihrer Anpassungs- und Leistungsfähigkeit sind aufgrund dieser langen Entwicklungszeiträume Grenzen gesetzt – beispielsweise, wenn es um die Beseitigung von Umweltproblemen geht.

Um die Diversität und die für das Ökosystem Meer wichtigen Funktionen von Mikroorganismen zu untersuchen, ist der Zugang zu Forschungsschiffen mit entsprechenden Geräten zur Probennahme von essentieller Bedeutung. Denn viele Arten sind überhaupt noch nicht bekannt geschweige denn erforscht.

Gleichzeitig gilt es, die rechtlichen Aspekte zu berücksichtigen. Dazu zählt in wesentlichem Maße das international geltende Nagoya-Protokoll. Dieses Umweltabkommen der UN-Biodiversitätskonvention gibt einen Rahmen für die Nutzung von genetischen Ressourcen eines Landes vor. So kann jedes Land, welches das Nagoya-Protokoll unterzeichnet hat, Bedingungen zur Sammlung und Nutzung des in ihrem Land gesammelten Materials an landesfremde Forscherstellen. Damit ist gewährleistet, dass die „Herkunftsländer in gerechter Weise an den Vorteilen, die sich aus der Nutzung ihrer Ressourcen ergeben, beteiligt werden. Auf diese Weise wird in den Herkunftsländern auch ein ökonomischer Anreiz für den dauerhaften Erhalt von biologischer Vielfalt gesetzt“ (Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit, 17.11.2017).

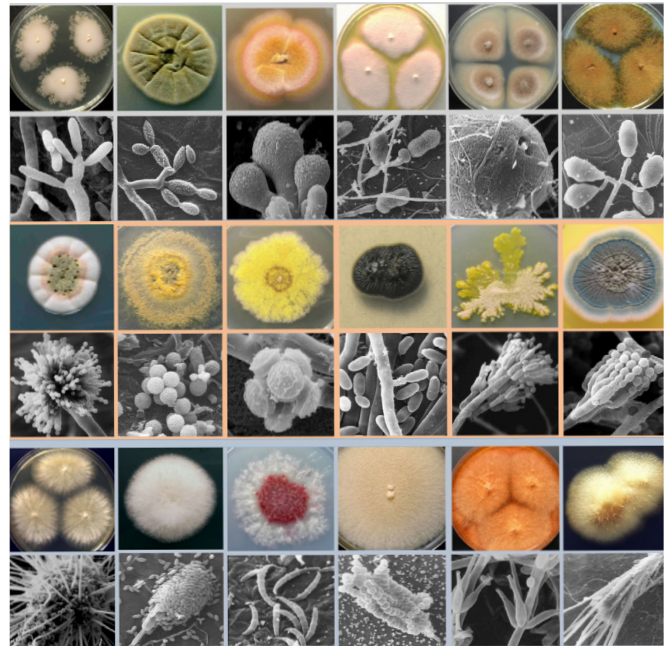


Abb. 2: Diversität mariner Pilze: Dargestellt sind die unterschiedlichen Wuchsformen der Pilze auf Nährmedium im Labor sowie die entsprechenden Zellformen, die nur mit dem Rasterelektronenmikroskop zu erkennen sind. Fotos: Rolf Schmaljohann, GEOMAR

Für ein funktionierendes Ökosystem sowie für die biotechnologische Nutzung von Mikroorganismen ist ein nachhaltiger Umgang mit der biologischen Vielfalt, letztendlich auch der von Mikroorganismen, von entscheidender Bedeutung. Denn möglicherweise finden sich in den Lebensgemeinschaften und Arten wichtige Erbinformationen, Bestandteile und Stoffe, die einen bedeutsamen Nutzen etwa für medizinische Zwecke haben können, beispielsweise die Identifizierung neuer Antibiotika. Oder sie sind zentral für das Funktionieren von Stoffkreisläufen, dienen der Stabilisierung von Ökosystemen im Meer bzw. erbringen wichtige Ökosystemdienstleistungen etwa bei Schadstoffen, bei der Produktion von Sauerstoff oder der Speicherung von klimaschädlichem Kohlendioxid.

Quellen

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Nukleare Sicherheit. (2017, 17. November). *Stellungnahme zum Nagoya-Protokoll*. [www.bmu.de].
- Goecke, F., Thiel, V., Wiese, J., Labes, A. & Imhoff J. F. (2013). Algae as important environment for bacteria – phylogenetic relationships among new bacterial species isolated from algae. *Phycologia*, 52, 14-24. doi:10.2216/12-24.1
- Meyer-Reil, L. A. (2005). *Mikrobiologie des Meeres: Eine Einführung*. Wien, Austria: Fakultas.
- Pita, L., Rix, L., Slaby, B. M., Franke A. & Hentschel, U. (2018). The sponge holobiont in a changing ocean: from microbes to ecosystem. *Microbiome*, 6:46. doi:10.1186/s40168-018-0428-1

SCHUTZ VON LEBEN IM MEER

Biodiversitätsatlas: Auswirkungen der globalen Fischerei auf die marine Biodiversität

AutorInnen: Cristina Garilao, Dr. Rainer Froese (GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel)

Der Ozean ist eine vielfältige Welt, in der schätzungsweise 230.000 bekannte Meeresarten leben. Und täglich werden neue Arten entdeckt. AquaMaps, ein globaler Meeresatlas, der unter der Leitung von GEOMAR entwickelt wurde und über 25.000 Arten umfasst, zeigt Biodiversitätsmuster weltweit. So beispielsweise die hohe Biodiversität in der Nähe des Äquators, welche exponentiell in Richtung der Pole abfällt. Sichtbar wird auch ein Hotspot der Biodiversität im malaiisch-philippinisch-indonesischen Dreieck.

- Fangquoten in der Fischerei sind nahezu konstant, weil der Aufwand stetig erhöht wird.
- Meeresschutzgebiete haben das Potenzial, die Auswirkungen der Fischerei zu mildern. Die meisten Meeresschutzgebiete schränken die Fischerei allerdings nicht ein.
- Um Artenvielfalt zu schützen ist es notwendig, das Vorkommen der Arten systematisch zu erfassen.
- Dies leistet „AquaMaps“ nicht nur innerhalb der ausschließlichen Wirtschaftszone eines Landes oder großer mariner Ökosysteme, sondern auch in Gebieten außerhalb der nationalen Gerichtsbarkeit.

Nach Angaben der Ernährungs- und Landwirtschaftsorganisation der Vereinten Nationen FAO bewegen sich gemeldeten Meereseinfänge seit den 1990er Jahren kontinuierlich zwischen 50 und 60 Millionen Tonnen pro Jahr mit einem Höchststand von 63,3 Mio. Tonnen im Jahr 1994 (Beveridge et al., 2013). Dass die Menge erstaunlicherweise relativ konstant ist, liegt nicht etwa an stabilen Fischvorkommen in den Fanggebieten, vielmehr nimmt der Fischereiaufwand weltweit immer weiter zu. Dies hat zur Folge, dass immer mehr Fischer immer weniger Fische jagen (Froese & Pauly, 2012).

Zum einen wurden immer mehr Regionen erschlossen, sodass die Fischereiwirtschaft heute ein weltweit operierendes Gewerbe ist. Gleichzeitig wurde der Fischfang durch technische Möglichkeiten in den letzten Jahrzehnten von 500 Metern auf aktuell bis zu 2.000 Meter Meerestiefe ausgedehnt (Beveridge et al., 2013).

Wenn heute Fischtrawler auf Jagd gehen, ziehen sie zum Teil mehr als 20 Kilometer lange Netze hinter sich her. In diesen Netzen verfangen sich Unmengen an Beifang, was eine kontinuierliche Abnahme des lokalen Artenreichtums zur Folge hat (Butchart et al., 2010; Lotze et al., 2006).

Die Welternährungsorganisation FAO geht davon aus, dass global acht Prozent des gesamten Fischfangs aus nicht verwendetem Beifang besteht, der meist als Rückwurf wieder im Meer landet (Wichert, 2012). Darunter befinden sich regelmäßig auch Arten, die sowieso bereits stark gefährdet sind oder Jungfische, für die es keine Verwendung auf dem Markt gibt. Ein spezielles Problem stellen auch die sogenannten Geisternetze dar, die abgerissen sind oder illegal im Meer entsorgt wurden und noch Jahre später zu einer tödlichen Falle für Meerestiere werden können. (Siehe hierzu auch den ESKP-Artikel: „Geisternetze - was tun gegen den Fischerei-Restmüll?“)

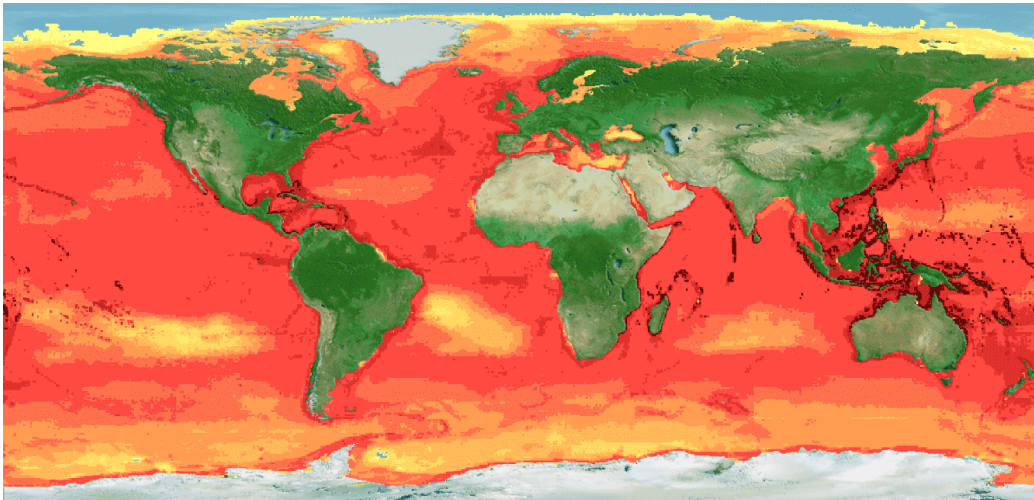


Abb. 1: AquaMaps Biodiversitätskarte, basierend auf individuellen Karten von über 25.000 Meeresarten. Die Farbkodierung zeigt die Anzahl der Arten in allen Halbgradzellen (ca. 50 x 50 Quadratkilometer am Äquator), wobei 1–15 Arten gelb und 3.364–8.290 Arten dunkelrot aufgelistet sind.
Karte: AquaMaps / CC BY-NC 3.0

Forschungsarbeiten des US-amerikanischen Meeresbiologen Benjamin Halpern u.a. zeigen, dass mittlerweile kein Bereich in den Ozeanen unbeeinflusst von menschlichem Handeln ist und dass ein großer Teil der marinen Ökosysteme (41 Prozent) nicht nur von einem einzelnen Aspekt, sondern gleich von mehreren Einflussfaktoren berührt werden. Aber es gibt unterschiedliche Intensitäten und nach wie vor viele Gebiete, in denen die Einflüsse durch Menschen noch relativ gering sind. Dies betrifft insbesondere Meeresgebiete, die sich in der Nähe der Pole befinden (Halpern et al., 2008).

Globale Biodiversitätskarten für das Meer erstellen

Die Forschung am GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel zeigt, dass Meeresschutzgebiete (englisch „Marine Protected Areas“, kurz MPAs) das Potenzial haben, die Auswirkungen der Fischerei zu mildern (Selig et al., 2014). Diese Gebiete werden zunehmend eingesetzt, um Biodiversität im Meer zu erhalten.

Leider schränken die meisten Meeresschutzgebiete die Fischerei nicht ein. Dies hat zur Folge, dass die Auswirkungen menschlichen Handelns in großen marinen Schutzgebieten zum Teil signifikant höher sind als außerhalb (Davies et al.,

2017, Dureuil et al., 2018). In 59 Prozent der untersuchten europäischen Meeresschutzgebiete war die durchschnittliche Schleppnetzintensität etwa 1,4fach höher als außerhalb. Dies hat zur Folge, dass in den Schutzgebieten die Menge an empfindlichen Arten wie Haie oder Rochen um 69 Prozent abgenommen hat (Dureuil et al., 2018). Um den Verlust von Artenvielfalt und Ökosystemleistungen zu vermeiden, muss die industrielle Nutzung von Meeresschutzgebieten drastisch reduziert werden.

Mit dem globalen Meeresatlas „AquaMaps“ wird seit 2005 ein Instrument entwickelt, das in Zusammenarbeit mit den Informationssystemen FishBase und SeaLifeBase ein systematisches Erfassen des Vorkommens der Arten nicht nur innerhalb der Ausschließlichen Wirtschaftszone eines Landes (Exclusive Economic Zone, EEZ) oder großer mariner Ökosysteme (Large Marine Ecosystems, LMEs), sondern auch in Gebieten außerhalb der nationalen Gerichtsbarkeit (Areas Beyond National Jurisdiction, ABNJ) unterstützt. Kenntnis über das globale Vorkommen der Arten ist die Voraussetzung, um die angestrebten globalen politischen Ziele zu erreichen, die in den Aichi-Biodiversitätszielen des „Übereinkommens über die biologische Vielfalt“ festgelegt sind.

Quellen

- Beveridge, M., Dieckmann, U., Fock, H. O., Froese, R., Keller, M., Löwenberg, U., ... Zimmermann, C. (2013). Die weltweite Jagd nach Fisch (Kapitel 3). *World Ocean Review*, 2 (Die Zukunft der Fische – die Fischerei der Zukunft) [worldoceanreview.com], 44-73.
- Butchart, S. H. M., Walpole, M., Collen, B., van Strien, A., Scharlemann, J. P. W., ... Watson, R. (2010). Global biodiversity: indicators of recent declines. *Science*, 328(5982), 1164-1168. doi:10.1126/science.1187512
- Davies, T. E., Maxwell, S. M., Kaschner, K., Garilao, C. & Ban, N. C. (2017). Large marine protected areas represent biodiversity now and under climate change. *Scientific Reports*, 7:9569. doi:10.1038/s41598-017-08758-5
- Dureuil, M., Boerder, K., Burnett, K. A., Froese, R. & Worm, B. (2018). Elevated trawling inside protected areas undermines conservation outcomes in a global fishing hot spot. *Science*, 362(6421), 1403-1407. doi:10.1126/science.aau0561
- FAO. (2018). FAO yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics 2016/FAO annuaire. Statistiques des pêches et de l'aquaculture 2016/FAO anuario. *Estadísticas de pesca y acuicultura 2016*. Rome, Italy. Verfügbar unter <http://www.fao.org/3/i9942t/i9942T.pdf>
- Halpern, B. S., Wallbridge, S., Selkoe, K. A., Kappel, C. V., Micheli, F., D'Agrosa, C., ... Watson, R. (2008). A Global Map of Human Impact on Marine Ecosystems. *Science*, 319(5865), 948-952. doi:10.1126/science.1149345
- Lotze, H. K., Lenihan, H. S., Bourque, B. J., Bradbury, R. H., Cooke, R. G., Kay, M. C., ... Jackson, J. B. C. (2006). Depletion, degradation, and recovery potential of estuaries and coastal seas. *Science*, 312(5781), 1806-1809. doi:10.1126/science.1128035
- Pauly, D. & Froese R. (2012). Comments on FAO's State of Fisheries and Aquaculture, or 'SOFIA 2010'. *Marine Policy*, 36(3), 746-752. doi:10.1016/j.marpol.2011.10.021
- Selig, E. R., Turner, W. R., Troëng, S., Wallace, B. P., Halpern, B. S., Kaschner, K., ... Mittermeier, R. A. (2014). Global Priorities for Marine Biodiversity Conservation. *PLOS ONE*, 9(1):e82898. doi:10.1371/journal.pone.0082898
- Wichert, F. (2012). Mitgefangen, mitgehangen – Beifang und Rückwurf in der Fischerei [reset.org]. Aufgerufen am 10.02.2020.

SCHUTZ VON LEBEN IM MEER

Was macht ein Meeresschutzgebiet erfolgreich?

AutorInnen: Dr. Katharina Teschke, Prof. Dr. Thomas Brey (Helmholtz-Institut für Funktionelle Marine Biodiversität HIFMB, Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Seit den 1990er-Jahren hat sich die Anzahl an Meeresschutzgebieten um das 1,5fache erhöht und die geschützte Fläche beträgt weltweit derzeit fast 30 Millionen Quadratkilometer. Das entspricht zwar rund 8 Prozent der Ozeanfläche, verschleiert jedoch die Tatsache, dass sehr viele Schutzgebiete relativ klein sind. Der Antarktische Ozean bietet nun die Chance, große Schutzgebiete zum globalen Netzwerk hinzuzufügen.

- Die Bedeutung von Meeresschutzgebieten hat weltweit zugenommen.
- Ein wichtiges Anliegen ist es, die Überfischung kommerziell genutzter Fische, Tintenfische, Krebse oder auch Muscheln zu verhindern.
- Schutzmaßnahmen und -regelungen werden für ihr Schutzziel „maßgeschneidert“.
- Ein derzeit wichtiges Ziel ist die Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis.

Die Einrichtung von Meeresschutzgebieten zielt auf den Erhalt mariner Ökosysteme in möglichst naturnahem Zustand ab (z.B. UNEP-WCMC & IUCN, 2019; OECD, 2017). Im Prinzip geht es dabei um den Schutz oder die Wiederherstellung der Biodiversität, d.h. der Vielfalt an Arten, Habitaten und Funktionen des Ökosystems. Dieses Ziel wird durch Schutzmaßnahmen angestrebt, die den negativen Einfluss menschlicher Aktivitäten minimieren sollen. Ein ganz wichtiges Anliegen ist es, die Überfischung kommerziell genutzter Fische, Tintenfische, Krebse oder auch Muscheln zu verhindern oder bereits überfischten Beständen Schutzräume zur Erholung zu bieten.

Wie erfolgreich ein Meeresschutzgebiet ist, hängt vom Zusammenspiel dreier Faktoren ab:

- Erstens den Schutzzielen, d.h. was soll konkret geschützt werden; welcher Zustand wird überhaupt angestrebt?
- Zweitens den Schutzmaßnahmen und -regelungen, d.h. der Frage, wie diese Ziele erreicht werden sollen?
- Und drittens der Umsetzung: Wie kann letztlich sichergestellt werden, dass be-

schlossene Schutzmaßnahmen und -regelungen konsequent eingehalten werden?

Schutzziele eines Meeresschutzgebietes müssen realistisch, wissenschaftlich gut durchdacht, aufeinander abgestimmt und klar definiert werden, denn die Schutzziele bestimmen letztlich die Maßnahmen, die getroffen werden. Wenn beispielsweise das Hauptziel eines Meeresschutzgebietes der Schutz von Robben ist, dann muss gleichzeitig überlegt werden, ob nicht auch die wichtigsten Beuteorganismen dieser Robben eines Schutzes bedürfen. Eine Erfolgskontrolle ist essentiell. Es muss die Frage gestellt werden, ob denn überhaupt gemessen werden kann, ob und inwieweit ein Schutzziel erreicht wurde.

Schutzmaßnahmen und -regelungen werden für ihr Schutzziel „maßgeschneidert“ und sind daher außerordentlich vielfältig. So ist ein radikaler Ausschluss von Menschen möglich, aber auch ein in verschiedene Zonen eingeteiltes Meeresschutzgebiet, wobei nur einzelne Zonen zu „Nicht-Entnahmegebieten“ erklärt werden können und andere Zonen wiederum Regelungen zur nachhaltigen Nutzung erhalten. Ferner

gibt es marine Schutzgebiete, die lediglich die nachhaltige Nutzung bestimmter Ressourcen regeln.

Politischer Wille und die Kooperation mit Interessensgruppen sind entscheidend

Schutzziele und Schutzmaßnahmen werden in der Regel in einem – oft langwierigen – Diskussionsprozess zwischen den beteiligten Interessensgruppen, z.B. aus dem Naturschutz, der Tourismusbranche oder der Fischerei identifiziert und entwickelt. Dieser Prozess führt im Idealfall zum Ausgleich der unterschiedlichen Interessen. Ob ein Schutzgebiet erfolgreich ist, hängt in erster Linie von der konsequenten Umsetzung der Schutzmaßnahmen und -regelungen ab (z.B. Watson et al., 2014; Gill et al., 2017; Pendleton et al., 2018).

Dafür braucht es den Willen der politischen Entscheidungsträger und der zuständigen Verwaltungseinheiten, eine zielführende Kooperation der betroffenen Interessensgruppen und selbstverständlich auch die entsprechenden finanziellen und personellen Ressourcen, die für die langfristige Umsetzung und aktive Kontrolle der beschlossenen Regelungen notwendig sind.

Bis 2020 zehn Prozent des Meeres unter Schutz

In den letzten Jahrzehnten hat die Bedeutung von Meeresschutzgebieten weltweit zugenommen (z.B. Mora & Sale, 2011; UNEP-WCMC & IUCN, 2019). Auf dem Weltgipfel für nachhaltige Entwicklung im Jahr 2002 einigte sich die internationale Staatengemeinschaft auf die Einrichtung eines repräsentativen Netzwerks von Meeresschutzgebieten bis 2012, welches langfristig die marine Biodiversität erhalten sollen (A/Conf.199/20).

Der im Jahr 2010 verabschiedete Strategic Plan for Biodiversity 2011–2020 des Übereinkommens über die Biologische Vielfalt sieht vor, bis 2020 mindestens 10 Prozent der Küsten- und

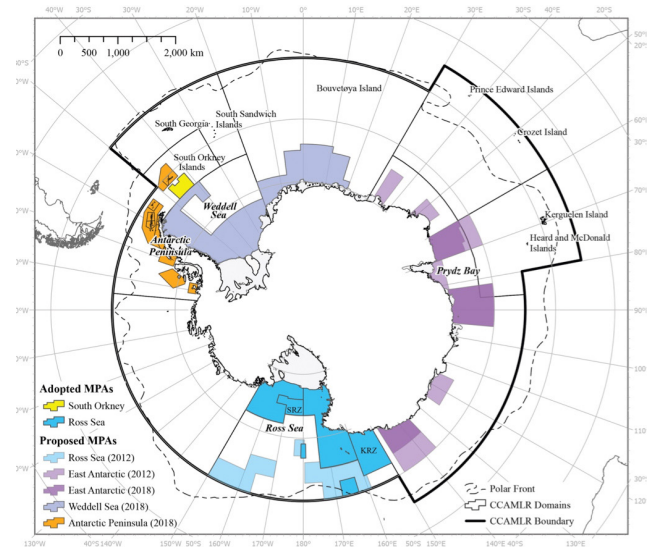


Abb. 1: Vorgeschlagene und angenommene Meeresschutzgebiete im Antarktischen Ozean
 Karte: mit freundlicher Genehmigung von Cassandra Brooks

Quellen: CCAMLR-Grenzen Planungsdomänen und angenommene MPAs von 2012, vorgeschlagene Rossmeer MPA-Grenzen und vorgeschlagene Ostantarktis MPA-Grenzen, vorgeschlagene MPA-Grenzen für Weddellmeer und Antarktische Halbinsel von Befürworterländern.

Offshore-Meeresgebiete weltweit als marine Schutzgebiete auszuweisen (CBD, 2010). Seit den 90er Jahren hat sich die Anzahl an Meeresschutzgebieten um das 1,5fache erhöht und die geschützte Fläche beträgt derzeit fast 30 Millionen Quadratkilometer. Das entspricht zwar schon etwa 8 Prozent der Ozeanfläche, sehr viele Schutzgebiete sind aber relativ klein. Der Antarktische Ozean bietet die Chance, große marine Schutzgebiete zum globalen Netzwerk beizutragen, und die Einzigartigkeit der antarktischen Ökosysteme macht ihre Erhaltung umso dringlicher.

Meeresschätze in der Antarktis erhalten

Derzeit laufen mehrere Initiativen, große Schutzgebiete im Konventionsgebiet der Kommission zur Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis (engl.: Commission for the Conservation of Antarctic Marine Living

Resources, CCAMLR) zu etablieren. Deutschland spielt dabei eine führende Rolle in der Entwicklung der wissenschaftlichen Grundlagen für ein Meeresschutzgebiet im Weddellmeer (Weddell Sea MPA, WSMMPA).

Ein wichtiges Ziel ist es hier, den Antarktischen Seehecht (*Dissostichus mawsoni*) zu schützen (s. Abb.2). Dieser beeindruckend große Fisch ist eine Schlüsselart der oberen trophischen Ebene im antarktischen Nahrungsnetz, gleichzeitig aber – neben dem Krill – das Hauptziel kommerzieller Fischerei in der Antarktis (z.B. Brooks et al., 2018).

In Teilen des Weddellmeer-Planungsgebiets gibt es einen Bestand des Antarktischen Seehechts, der sogar möglicherweise die kommerzielle Befischung lohnt. Entsprechend hoch ist bei bestimmten Mitgliedsstaaten der „Kommission zur Erhaltung der lebenden Meeresschätze der Antarktis“ das Interesse an weiteren intensiven fischereilichen Untersuchungen. Andererseits wissen wir, dass dieser Fisch langlebig ist, langsam wächst und spät geschlechtsreif wird. Das sind Faktoren, die diese Art bei Befischung in besonderem Maße gefährden würden. Viele Details des Lebenszyklus und der Lebensgewohnheiten sind zudem noch nicht bekannt. Daher erscheint es sinnvoll, den Bestand vorsorglich mittels eines Meeresschutzgebietes über die existierenden Schutzmaßnahmen hinaus zu schützen, um eine potentielle Überausbeutung zu vermeiden.

Hier haben wir also den klassischen Konflikt zwischen den Interessensgruppen Naturschutz und Fischerei (z.B. Brooks et al., 2016). Einige CCAMLR-Mitgliedsstaaten sehen ihre fischereilichen Interessen durch die mögliche Einrichtung des Weddellmeer-Schutzgebietes bedroht und arbeiten entsprechend dagegen. Auch die politische „Großwetterlage“ zwischen einzelnen staatlichen Akteuren spielt hierbei eine ge-



Abb. 2: Weddellrobbe mit gefangenem Antarktischen Seehecht (*Dissostichus mawsoni*)

Foto: Jessica Meir

wisse Rolle. Für die Zukunft ist zu wünschen, dass ein wissenschaftlich fundierter und politisch abgestimmter Vorschlag für ein Schutzgebiet Zustimmung bei den Mitgliedsstaaten der Kommission (CCAMLR) findet – ein Vorschlag, dem ein durchdachter Monitoring- und Managementplan zu Grunde liegt und der zum nachhaltigen Schutz des Ökosystems Weddellmeer tatsächlich beitragen kann.

Quellen

- A/Conf.199/20. (2002). *Report of the World Summit on Sustainable Development* (Johannesburg, South Africa, 26 Aug-4 Sept). New York: United Nations Publication.
- Brooks, C., Ainley, D., Abrams, P., Dayton, P., Hofman, R., Jacquet J. & Siniff, D. (2018). Antarctic fisheries: factor climate change into their management. *Nature*, 558, 177-180. doi:10.1038/d41586-018-05372-x
- Brooks, C. M., Crowder, L. B., Curran, L. M., Dunbar, R. B., Ainley, D. A., Dodds, K. J., Gjerde, K. M. & Sumaila, U. R. (2016). Science-based management in decline in the Southern Ocean. *Science*, 354(6309), 185-187. doi:10.1126/science.aah4119
- Convention on Biological Diversity (CBD). (2010). *CBD, COP 10 Decision X/2. Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020*.
- Gill, D. A., Mascia, M. B., Ahmadi, G. N., Glew, L., Lester, S. E., Barnes, M., Craigie, I., ... Fox, H. E. (2017). Capacity shortfalls hinder the performance of marine protected areas globally. *Nature*, 543, 665-669. doi:10.1038/nature21708
- Mora, C. & Sale, P. F. (2011). Ongoing global biodiversity loss and the need to move beyond protected areas: a review of the technical and practical shortcomings of protected areas on land and sea. *Marine Ecology Progress Series*, 434, 251-266. doi:10.3354/meps09214
- OECD. (2019). *Marine Protected Areas – Economics, Management and Effective Policy Mixes*. Paris: OECD Publishing. doi:10.1787/9789264276208-en
- Pendleton, L. H., Ahmadi, G. N., Browman, H. I., Thurstan, R. H., Kaplan, D. M. & Bartolino, V. (2018). Debating the effectiveness of marine protected areas. *ICES Journal of Marine Science*, 75(3), 1156-1159. doi:10.1093/icesjms/fsx154
- UNEP-WCMC & IUCN. (2019). *Marine Protected Areas – Protected Planet*. Cambridge, UK: UNEP-WCMC and IUCN.
- Watson, J. E. M., Dudley, N., Segan, D. B. & Hockings M. (2014). The performance and potential of protected areas. *Nature*, 515, 67-73. doi:10.1038/nature13947

SCHUTZ VON LEBEN IM MEER

Die Wiederansiedlung der Europäischen Auster

Autorinnen: Corina Peter, Dr. Bernadette Pogoda
(Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Bodenschleppnetz-Fischerei und die nicht nachhaltige Entnahme der heimischen Europäischen Auster *Ostrea edulis* führten dazu, dass die einst weit verbreitete Art in einigen Regionen als inzwischen ausgestorben gilt. Als ökologische Schlüsselart hat sie jedoch viele positive Effekte für andere Pflanzen und Tierarten und leistet wichtige Ökosystemleistungen für ihre gesamte Umwelt. Nun tüfteln Wissenschaftler*innen daran, wie sich diese biogenen Strukturen, die Austern nach und nach bilden, bestmöglich wieder ansiedeln lassen. Auch die kontinuierliche Nachzucht der dafür nötigen Larven ist geplant.

- Seit Mitte des 20. Jahrhunderts gilt die Europäische Auster in der deutschen Nordsee als ausgestorben.
- Europäische Austern filtern bis zu 240 Liter Meerwasser pro Tag und entfernen dabei Schadstoffe aus dem Wasser.
- Eine Wiederansiedlung der Art wird unter anderem in der deutschen Nordsee getestet und stellt einen neuen naturschutzfachlichen Forschungsschwerpunkt dar.

Die Auster als Gründer-Art

Die Auster ist vielen Menschen vor allem in kulinarischem Sinne ein Begriff, allerdings zeigt sich ihr wahrer Wert nicht in den Küchen der Delikatess-Restaurants, sondern in der von ihr gebildeten Lebensgemeinschaft.

Durch ihre Vorliebe auf den Schalen der eigenen Artgenossen zu siedeln, bildet sie nach und nach über Generationen ein sogenanntes biogenes Riff. Diese Riffe ziehen eine Vielzahl anderer Lebewesen an und bieten ihnen einen Lebensraum. Die Auster steigert damit als Gründer-Art die Biodiversität im ganzen Ökosystem.

Das biogene Riff ist Siedlungssubstrat für die darauf wachsende Flora und für die mit ihm auf vielfältige Weise verbundene Fauna. Es bietet Lebensraum, Nahrung und Schutz für zahlreiche Wirbellose (wie zum Beispiel Seenelken und Krebse) sowie für diverse Fischarten. Außerdem dient das Austernriff als Kinderstube und Laichgrund für verschiedene Fischarten wie Plattfische, Grundeln oder Hechtartige.

Durch ihre natürliche hohe Filtrationsleistung von bis zu 240 Litern am Tag entfernen die Austern kleine Partikel und Schadstoffe aus dem Wasser und tragen somit zu einer Verbesserung der Wasserqualität bei. Dadurch kommt es zu einer lokalen Abnahme toxischer Algenblüten und verbesserten Wechselwirkungen zwischen den Prozessen des Meeresbodens und der Wassersäule („Zunahme der benthopelagischen Kopplung“). Dies alles unterstützt den Küstenschutz durch die Stabilisierung des Sediments.

Die Europäische Auster als bedrohte Schlüssel-Art

All diese Vorteile, die das Riff direkt und indirekt für seine Umwelt, aber auch für das menschliche Wohl bietet, lassen sich unter dem Begriff der Ökosystemleistungen bzw. -funktionen zusammenfassen. Da die Auster diese Leistungen erbringt, gilt sie als ökologische Schlüsselart in dem von ihr (mit)gebildeten Lebensraum Austernriff.

Leider sind Austernriffe einer der gefährdetsten Lebensräume weltweit: 85 Prozent der globalen Riffgründe sind heutzutage verschwunden. In einigen europäischen Ländern, unter anderem auch in Deutschland, wurden nun Renaturierungsprojekte gestartet, um dieses Ökosystem und den hohen ökologischen Wert, den es mit sich bringt, wiederherzustellen. Dabei sollen die Bestände der heimischen Europäischen Auster *Ostrea edulis* wiederhergestellt werden.

Neben der ökologischen Wertsteigerung für ihre Umgebung, die diese Art leistet, kann auch ein ökonomischer Mehrwert für den Menschen festgelegt werden. Dieser bezieht sich unter anderem auf den Mehrwert der erbrachten Ökosystemleistungen. Riffe zum Beispiel, die sich in einer Gezeitenzone befinden, besitzen allein durch die von ihnen geleistete Küstenschutzfunktion einen hohen Wert.

Diese Austernart gilt in ihrem gesamten natürlichen Verbreitungsgebiet entlang der Europäischen Atlantikküste sowie entlang der Küste des Mittelmeers und des Schwarzen Meers als stark bedroht. Im Jahr 2008 wurde *Ostrea edulis* deswegen als Schlüsselart mit besonderer ökologischer Bedeutung in die OSPAR-Liste der bedrohten Arten und Lebensräume aufgenommen.

Diese Liste wird von der OSPAR-Kommission, der 15 Staaten und die Europäische Union angehören, herausgegeben. Diese Liste legt dar, für welche Arten und Lebensräume länderübergreifende Schutzmaßnahmen besonders nötig sind.

Warum ist die Europäische Auster in der Nordsee ausgestorben?

In Deutschland war die Europäische Auster bis Mitte des 20. Jahrhunderts im Nord- und Ostfriesischen Wattenmeer, um Helgoland und in den Tiefen der südlichen Nordsee verbreitet. Dies belegen historische Fischereiaufzeichnungen.

Noch 1877 beschrieb Karl August Möbius den Begriff „Biozönose“ (Lebensgemeinschaft) am



Europäische Auster Foto: AWI/Solvin Zankl

Beispiel der Deutschen Austernbänke. In der Folgezeit wurden diese natürlich vorkommenden Bestände durch Überfischung stark dezimiert. Damit einher ging der Verlust dieses Lebensraums.

Vor allem die größeren Tiere aus der Austernpopulation wurden als Delikatesse entnommen. Diese produzieren aber die meisten Larven und dienen mit ihren Schalen als wichtiges Siedlungssubstrat für den Austernnachwuchs.

Nachdem sich der Fang der heimischen Auster nicht mehr lohnte, wurde die Austernfischerei in den 1920er Jahren eingestellt. Die Bestände haben sich dennoch bis heute nicht von den Eingriffen des Menschen erholt. Auch durch die ständige Störung des Seebodens, verursacht durch den Einsatz von Bodenschleppnetzen, können sich die Larven nicht festsetzen bzw. wird die beginnende Besiedlung sofort wieder verhindert. Die Europäische Auster gilt seit den 1950er Jahren in der Deutschen Nordsee als ausgestorben.

Wie kann die Wiederansiedlung der Europäischen Auster gelingen?

Europaweit werden nun Projekte gestartet, um Populationen dieser wichtigen Schlüsselart wieder anzusiedeln. Um gemeinsam an Problemstellungen zu arbeiten und Erfahrungen auszutauschen wurde daher 2017 die European Native Oyster Restoration Alliance, kurz NORA, gegründet.

In Deutschland steht die Wiederansiedlung der Europäischen Auster im Fokus der beiden Vorhaben RESTORE und PROCEED am Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung. Ziel ist es, 1) Methoden zur Renaturierung und ihre Umsetzung in der Deutschen Bucht zu erproben und zu entwickeln und 2) eine Versorgung mit den nötigen Jungaustern durch Aufbau und Optimierung einer Zuchtanlage am AWI Standort Helgoland umzusetzen.

RESTORE umfasst die Erprobung und Entwicklung wissenschaftlicher und technologischer Methoden, um eine Wiederherstellung der Europäischen Austernbestände in der deutschen Nordsee umzusetzen. Untersucht werden verschiedene Technologien zur Ansiedlung der Austern sowie das Wachstum und die Fitness der Tiere an möglichen Wiederansiedlungsstandorten. Als Fitness wird in der Forschung das Maß für die Anpassungsfähigkeit einer Art an die Umwelt bezeichnet.

2017 wurden Europäische Austern in Austernkäftigen an zwei Standorten im Offshore-Seegebiet nördlich der Insel Helgoland ausgebracht. An den jungen Austern wurden regelmäßig Wachstums- und Fitnessuntersuchungen durchgeführt. Die ersten Ergebnisse zeigen ein ausgezeichnetes Wachstum und einen guten Gesundheitszustand der heimischen Austern, bis hin zu geschlechtsreifen Tieren und erster Larvenproduktion.

Das vom BfN mit Mitteln des Bundesumweltministeriums geförderte Erprobungs- und Entwicklungsvorhaben läuft seit 2016 und wird fachlich durch die Abteilung Meeresnaturschutz des BfN betreut und in Kooperation mit diesem durchgeführt. Das Projekt basiert auf einer 2014 erstellten Machbarkeitsstudie des BfN zur potentiellen Wiederansiedlung der Europäischen Auster.

In der nächsten Projektphase wird ein Pilotriff errichtet, für dessen Standort das Naturschutzgebiet Borkum-Riffgrund ausgewählt wurde. Die Wiederansiedlung der einst in der deut-

schon Nordsee heimischen Austernart ist als Meeresnaturschutzmaßnahme anzusehen.

Um den Bestand der Art nachhaltig wieder aufzubauen, wurden zunächst naturschutzrechtliche, technologische sowie biologische Fragestellungen bearbeitet, um abschließende Empfehlungen für ein langfristiges Restaurationsprogramm zu ermöglichen.

Dies ist der nächste Schritt, um wichtige Forschungsfragen unter realen Bedingungen im Feld zu testen und zu beantworten. Dazu zählen Erkenntnisse über den Einfluss des Untergrundes, der Sedimentation, sowie vorhandener Räuber auf das Wachstum und das Überleben der Austern.

Es erfolgt eine grundlegende Untersuchung der Biologie und Ökologie der Tiere an diesem Standort. Zwar sind historische Austernvorkommen dort belegt, allerdings hat die Europäische Auster schon seit Jahrzehnten diesen sich stetig verändernden Lebensraum nicht mehr besiedelt.

Lebensgemeinschaft Austernbank: wie entsteht sie neu?

Aufgrund von bisherigen Forschungsergebnissen wird durch das Ausbringen der Austern eine sukzessive Besiedlung und damit Entstehung der Lebensgemeinschaft Austernbank erwartet. Die erste Phase der Besiedlung wird voraussichtlich durch schnell wachsende Erstbesiedler wie zum Beispiel Seeselken erwartet, gefolgt von mobilen kleineren Krebsen, Fischen, Weichtieren und Seesternen.

Durch das wachsende Nahrungsangebot folgen dann Räuber wie größere Fische und Krustentiere wie zum Beispiel Hummer und Taschenkrebse. Nach und nach bildet sich ein eigener Lebensraum, der auch als Kinderstube und Rückzugsmöglichkeit für verschiedene Fischarten dient. Die typische Artenvielfalt in der Biozönose (Lebensgemeinschaft) Austernbank bietet ein stabiles, dreidimensionales Habitat und steigert durch die Erbringung wichtiger

Ökosystemfunktionen und -leistungen den Wert des ganzen Ökosystems.

Woher sollen Saat-Austern kommen?

Da innerhalb Europas nur noch wenige Betriebe geeignete Saat-Austern dieser Art produzieren, umfasst das Vorhaben PROCEED den Aufbau einer Zuchtanlage auf Helgoland. Dort sollen ein gesunder Elterntierbestand und die Produktion von geeigneten Saat-Austern, also jungen und auf geeignetem Untergrund fest-sitzenden Austern, etabliert werden.

Begleitend dazu werden biologische und technologische Forschungsfragen auf diesem Gebiet bearbeitet und Erkenntnisse daraus unmittelbar angewendet. Ziel ist es, durch die ausreichende Versorgung von Saataustern ein langfristiges Restaurationsprogramm zu ermöglichen, um den Erhalt und die Steigerung der biologischen Vielfalt durch die Lebensgemeinschaft Austernbank zu sichern.

Zusätzlich wird neben der Forschung auch ein Wissenstransfer in die Öffentlichkeit aufgebaut. Die Austernbank wird hierbei als Beispiel genutzt, um die besondere und wichtige Rolle von ökologischen Schlüsselarten, der Biodiversität und wertvollen Ökosystemleistungen auch weiterführend für andere Lebensräume zu beschreiben und zu erklären.

Geplant sind eine interaktive Online-Wissensplattform, Ausstellungen im Erlebniszentrum Naturgewalten auf Sylt und dem Blue House Aquarium auf Helgoland, sowie speziell entwickelte Unterrichtsmaterialien, um ein allgemeines Verständnis für die einst heimische Art und die Notwendigkeit ihrer Wiederansiedlung zu schaffen.

Projektsteckbrief

Die Vorhaben RESTORE und PROCEED werden am Alfred-Wegener-Institut Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung in Bremerhaven und auf Helgoland durchgeführt. Das Projekt PROCEED wird im Rahmen des Bundesprogramms Biologische Vielfalt in dem Förderschwerpunkt „Ökosystemleistungen“ vom Bundesamt für Naturschutz (BfN) mit Mitteln des Bundesumweltministeriums gefördert (Laufzeit 2019 – 2025).

Es baut auf den Ergebnissen des laufenden Erprobungs- und Entwicklungsvorhabens RESTORE auf. Der DLR-Projektträger betreut das Projekt PROCEED im Rahmen seiner Tätigkeit als Programmbüro des BfN für das Bundesprogramm Biologische Vielfalt. Beide Projekte werden fachlich durch die Abteilung Meeresnaturschutz des BfN begleitet.

Quellen

- Beck M. W., Brumbaugh, R. D., Airoidi, L., Carranza, A., Coen, L. D., Crawford, C., ... Guo, X. (2011). Oyster Reefs at Risk and Recommendations for Conservation, Restoration, and Management. *BioScience*, 61(2), 107-116. doi:10.1525/bio.2011.61.2.5
- Gercken, J. & Schmidt, A. (2014). Aktueller Status der Europäischen Auster (*Ostrea edulis*) und Möglichkeiten einer Wiederansiedlung in der deutschen Nordsee. *BfN-Skripten*, 379.
- Pogoda, B. (2019). Current Status of European Oyster Decline and Restoration in Germany. *Humanities*, 8(1):9, 1-12. doi:10.3390/h8010009
- Smaal, A. C., Ferreira, J. G., Grant, J., Petersen, J. K. & Strand, Ø. (Hrsg.). (2019). *Goods and Services of Marine Bivalves*. Cham: SpringerOpen.

8. Biodiversität in allen Sektoren verankern

Einleitung

Wie lässt sich Biodiversität fördern? Ein zentraler Erfolgsfaktor ist die Übersetzung von Empfehlungen internationaler Umweltberichte und Vereinbarungen in die nationale Gesetzgebung bis hin zu Kommunen und planungsrechtlichen Grundlagen. Wenn es bei der Biodiversität hapert, liegt es häufig an Problemen bei diesem sogenannten „Mainstreaming“, der fehlenden Verankerung in wirtschaftlichen Prozessen. Ein vielversprechender Ansatz zeigt sich in Paris, bei dem ein neuer Biodiversitätsplan das gestaltungsrechtliche Gerüst der Stadt völlig umkrempelt. Das Beispiel zeigt aber auch, wie wichtig Bürgerbeteiligung ist, wenn Biodiversität zu einem zentralen Wert der Stadtentwicklung werden soll.

Weiterhin fragen wir in diesem Abschlusskapitel, wie gut die Biodiversitätsforschung in Deutschland vernetzt ist und welchen Einfluss sie auf Politik, Behörden und Wirtschaft hat. Und last but not least geht es ums Geld. Welche Finanzierungsinstrumente sind nötig, um Biodiversität zu stärken? Auch dieser nicht ganz unwichtigen Frage wollen wir uns widmen.

Themen-Überblick

- ▶ Der Bericht des Weltbiodiversitätsrats IPBES
- ▶ Der Weg von internationalen Umweltberichten in die deutsche Politik
- ▶ Mainstreaming: Biodiversität in nationalen Strategien verankern
- ▶ Mit seinem Biodiversitätsplan geht Paris neue Wege
- ▶ Der Schutz von Biodiversität braucht angepasste Politik- und Finanzierungsinstrumente
- ▶ Wie gut ist die deutsche Biodiversitätsforschung vernetzt?

BIODIVERSITÄT IN ALLEN SEKTOREN VERANKERN

Wie geht es nach dem globalen Bericht des Weltbiodiversitätsrats IPBES weiter?

Autorin: Dr. Elisabeth Marquard (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Der kürzlich vorgelegte globale Bericht des Weltbiodiversitätsrats zeigt eindrücklich, dass unsere Wirtschafts- und Konsumweise nicht nachhaltig ist und hohe Kosten auf zukünftige Generationen abwälzt. Wie geht es mit dem Weltbiodiversitätsrat nun aber weiter, nachdem er seinen globalen Bericht vorgelegt hat?

- Der globale IPBES-Bericht ist ein Weckruf.
- Seine ernüchternden Kernbotschaften wurden von etwa 130 Staaten verabschiedet.
- Eine Trendwende ist noch möglich, erfordert aber tiefgreifende gesellschaftliche Veränderungen.
- Es gilt außerdem, die IPBES-Ergebnisse in internationalen Abkommen zu berücksichtigen.
- IPBES wird in Zukunft noch stärker die Verknüpfungen des Biodiversitätsverlusts mit anderen Problematiken analysieren.

Die Aufgabe des Weltbiodiversitätsrats IPBES ist es, den Stand des Wissens zu Biodiversität und Ökosystemleistungen für Entscheidungsträgerinnen und Entscheidungsträger aufzubereiten. IPBES soll dabei aufzeigen, welche Konsequenzen die fortschreitende menschenverursachte Zerstörung der Natur hat und wie sie aufzuhalten ist. Durch die Arbeit von IPBES soll der Biodiversitätsverlust auf der politischen und gesellschaftlichen Agenda nach oben rücken, damit er als ein Problem wahrgenommen wird, das mindestens so bedrohlich und akut ist wie der Klimawandel.

Der Weckruf des Weltbiodiversitätsrats

Mit dem Globalen Zustandsbericht hat der Weltbiodiversitätsrat kürzlich eine umfassende Bestandsaufnahme zur Natur und unserem Umgang mit ihr vorgelegt. Die Kernbotschaften des Berichts sind niederschmetternd: Arten und Ökosysteme gehen weltweit mit hoher Geschwindigkeit verloren. Die bisher ergriffenen Maßnahmen reichen nicht aus, um diese

Entwicklung aufzuhalten. Dieser Verlust wird höchst wahrscheinlich weitreichende negative Auswirkungen für die zukünftige Lebensqualität sehr vieler Menschen haben. Eine Trendwende sei zwar noch möglich, hierzu müssten allerdings tiefgreifende gesellschaftliche Veränderungen eintreten, die insbesondere die Wirtschaftssysteme, einschließlich Produktionsweisen sowie „westliche“ Konsum-Gewohnheiten betreffen.

Der globale IPBES-Bericht sei ein „Weckruf“, sagte Bundesumweltministerin Svenja Schulze (SPD). Ihm waren fünf Regionale Berichte voraus gegangen, sowie mehrere thematische Berichte – zum Beispiel zur Degradierung und Wiederherstellung von Böden.

Alle IPBES-Berichte sollen nicht zuletzt dem internationalen Übereinkommen über biologische Vielfalt (Convention on Biological Diversity – CBD) nutzen. Sie fließen zum Beispiel in die Verhandlungen über einen neuen globalen Biodiversitäts-Fahrplan ein, den die CBD im Herbst 2020 auf ihrer 15. Vertragsstaatenkonferenz

beschließen will. Der Fahrplan soll den seit 2010 gültigen Strategischen Plan der CBD mit seinen 20 Aichi-Biodiversitätszielen ablösen (Krause et al., 2019).

Welchen drängenden Fragen sollte sich IPBES in den nächsten Jahren zuwenden?

Hierzu fasste die 7. IPBES-Vollversammlung im Mai 2019 den Entschluss, dass bis zum Jahr 2030 ein flexibles Arbeitsprogramm gilt. Das bedeutet, dass konkrete Aktivitäten im Sinne eines „rolling work programme“, erst schrittweise festgelegt werden, um auf aktuelle Entwicklungen reagieren und erst später aufscheinenden Wissensbedarf bestmöglich abdecken zu können.

Auf der Grundlage eines im Winter 2018/2019 von IPBES durchgeführten Konsultationsprozesses, an dem sich Mitgliedsstaaten, internationale Abkommen, UN-Organisationen und zivilgesellschaftliche Organisationen beteiligen konnten, wurde beschlossen, während der kommenden zwei bis fünf Jahre folgende Problematiken zu bearbeiten:

- Verknüpfungen zwischen Biodiversität, Wasser, Nahrung und Gesundheit,
- Ursachen des Biodiversitätsverlusts, Bedingungen für einen transformativen Wandel sowie Möglichkeiten, die 2050-Vision für Biodiversität zu erreichen,
- Einfluss und Abhängigkeit der Privatwirtschaft auf bzw. von der Biodiversität,
- Verknüpfungen zwischen Biodiversität und Klimawandel.

Zu diesen vier Themen wird der Weltbiodiversitätsrat umfassende Berichte erstellen, um jeweils das verfügbare Wissen aufzubereiten und zu bewerten. Dies geschieht zeitlich gestaffelt, als erstes soll die Arbeit zu den Bedingungen für einen transformativen Wandel und zur Verknüpfung von Biodiversität und Klimawandel beginnen. Für letzteres ist eine enge Kooperation mit dem Weltklimarat IPCC vorgesehen (IPBES, 2019, 22. Mai, S. 14).

Welche spezifischen Fragen die einzelnen Berichte in welchem Umfang adressieren, steht noch nicht fest. Dies werden eigens dafür gebildete Expertenteams erörtern; für die ersten drei der oben genannten Themen trifft dazu erst die nächste oder übernächste IPBES-Vollversammlung die finale Entscheidung. Für das letztgenannte Thema, also für die verknüpfte Betrachtung von Biodiversität und Klimawandel, wurde eine alternative Vorgehensweise beschlossen, um möglichst unverzüglich beginnen zu können. Auf diese Weise soll erreicht werden, dass das vorgesehene Produkt (das sog. „Technical Paper“) noch rechtzeitig vor den nächsten Vertragsstaatenkonferenzen der Klimarahmenkonvention und der Biodiversitätskonvention im Jahr 2020 vorliegt (CBD-COP 15 und UNFCCC-COP 26).

” Trotz der [...] Dringlichkeit des Problems finden die auf internationaler Ebene identifizierten Handlungsoptionen nur begrenzt Eingang in nationale Politikdebatten.

Daneben wird sich IPBES weiterhin dafür einsetzen, dass für das IPBES-Arbeitsprogramm relevante Kapazitäten aufgebaut werden (v. a. in Ländern des globalen Südens) und die Wissensgenerierung im Bereich Biodiversität und Ökosystemleistungen insgesamt unterstützt wird. Auch sollen politische Akteure effektiver über zur Verfügung stehende Instrumente und Methoden informiert werden.

Der Weltbiodiversitätsrat wird somit auch mit seinem nächsten Arbeitsprogramm dazu beitragen, die Zerstörung der Natur stärker ins öffentliche Bewusstsein zu rücken. Er will weiterhin die Debatte über drohende Konsequenzen, aber auch über die notwendigen Bedingungen für eine Trendumkehr wissenschaftlich unterstützen und vorantreiben.

Die positive Kernbotschaft des Weltbiodiversitätsrats

Der Globale IPBES-Bericht enthält auch folgende Kernbotschaft: Es liegt weiterhin in der Macht des Menschen, seine Lebensgrundlagen zu schützen und zu erhalten. Dies kann noch gelingen, wenn die Mehrheit der Menschen versteht, dass „das Aufhalten und Rückgängigmachen von Biodiversitätsverlust nicht einfach ein Umweltproblem ist, sondern eine ökonomische, entwicklungspolitische, sicherheitsrelevante, soziale und ethische Angelegenheit“, wie es der bisherige Vorsitzende von IPBES, Sir Robert Watson, ausdrückte (IPBES-7, 2019, Übers.: ESKP).

Rolle des NeFo-Projekts in Deutschland

Das im Zeitraum 2009–2019 vom BMBF geförderte Projekt „Netzwerk-Forum zur Biodiversitätsforschung (NeFo)“ hatte das Ziel, die Biodiversitätsforschung in Deutschland stärker inter- und transdisziplinär zu vernetzen und den Wissens-Politik-Dialog zu Biodiversitätsthemen zu unterstützen. Es trug durch seinen Informationsservice sowie zahlreiche Dialog- und Vernetzungsveranstaltungen maßgeblich dazu bei, den Weltbiodiversitätsrat unter deutschen Biodiversitätsexpertinnen und -experten bekannt zu machen und eine hohe und aktive Beteiligung an seinen Aktivitäten zu fördern (Geschke, 2019).

Durchgeführt wurde das Netzwerk-Forum durch das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), das Museum für Naturkunde Berlin – Leibniz-Institut für Evolutions- und Biodiversitätsforschung und (bis 2012) auch durch die AG Vegetationsökologie und Naturschutz an der Universität Potsdam.

Infokasten: Weltbiodiversitätsrat warnt – Artenvielfalt nimmt so schnell ab wie noch nie

Zu dem im Mai 2019 in Paris vorgestellten globalen Zustandsbericht des Weltbiodiversitätsrats (englisch: Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, IPBES) gibt es auch eine Kurzfassung für politische Entscheidungsträger. In diesem „Summary for Policymakers“ (SPM) werden wesentliche Aspekte des Weltbiodiversitätsberichts zusammengefasst und nachvollziehbar dargestellt. Selbst diese Zusammenfassung ist noch recht umfangreich, da sie sich bemüht, wesentliche Aspekte und deren wechselseitige Verflechtung darzustellen.

Der 2012 gegründete Weltbiodiversitätsrat ist eine Organisation unter dem Dach der Vereinten Nationen. Er leistet wissenschaftliche Politikberatung zur Erhaltung und nachhaltigen Nutzung der natürlichen Umwelt und insbesondere der biologischen Vielfalt auf internationaler Ebene. Mehr als 130 Staaten sind ihm beigetreten und mehrere tausend wissenschaftliche und nicht-wissenschaftliche Expertinnen und Experten haben seit seiner Gründung im Jahr 2012 an seinen Aktivitäten zur Stärkung des Wissens-Politik-Dialogs über Biodiversität und Ökosystemleistungen mitgewirkt.

In seinem globalen Zustandsbericht zeigt IPBES ein Paradoxon auf, das mit der Industrialisierung von Handwerk und Landwirtschaft in die Welt gekommen ist. Die industrielle Produktivitätssteigerung ermöglicht einerseits die Herstellung von erheblich mehr Verbrauchsgütern und Nahrungsmitteln. Dadurch kann eine wachsende Weltbevölkerung mit Nahrung versorgt werden.

Aber nicht nur bedingen vielfältige soziale Verwerfungen und politische Machtgefüge erhebliche Ungleichgewichte und Ungerechtigkeiten in der Verteilung dieser Güter. Vielmehr schädigen die Produktivitätsfaktoren „die Natur“ und damit auch die Lebensgrundlage der anwachsenden Menschheit. Der Weltbiodiver-

sitätsrat kommt in seiner Bewertung zu einer ernüchternden Einschätzung: „Während heute an den meisten Orten mehr Nahrung, Energie und Materialien als je zuvor an die Menschen geliefert werden, geht dies zunehmend zu Lasten der Fähigkeit der Natur, solche Beiträge auch zukünftig zu leisten. [...] Die Biosphäre, von der die gesamte Menschheit abhängt, wird [...] in einem beispiellosen Ausmaß verändert. Die Biodiversität – die Vielfalt innerhalb der Arten, zwischen den Arten und der Ökosysteme – nimmt schneller ab als je zuvor in der Geschichte der Menschheit.“ (Übers.: ESKP)

Laut IPBES haben wir es gegenwärtig mit einer ernsthaften Bedrohung der biologischen Vielfalt zu tun, die im Wesentlichen auf menschliche Einflüsse zurückzuführen ist. Die überwiegende Mehrheit der Indikatoren für Biodiversität weise einen „schnellen Rückgang“ auf. Menschliches Handeln bedrohe heute mehr Tier- und Pflanzenarten als jemals zuvor. Das betrifft sogar domestizierte Pflanzensorten und Säugetierrassen. Dazu heißt es im Wortlaut: „Dieser Verlust der Vielfalt, einschließlich der genetischen Vielfalt, stellt ein ernsthaftes Risiko für die globale Ernährungssicherheit dar, da er die Widerstandsfähigkeit vieler landwirtschaftlicher Systeme gegenüber Bedrohungen durch Schädlinge, Krankheitserreger und Klimawandel beeinträchtigt. [...] Darüber hinaus fehlt für viele Wildnisverwandten, die für die langfristige Ernährungssicherheit wichtig sind, ein wirksamer Schutz. Der Erhaltungszustand der Wildnisverwandten domestizierter Säugetiere und Vögel verschlechtert sich daher.“ (Übers. ESKP)

Um den Zugang zum globalen IPBES-Bericht für deutsche Leser zu erleichtern, hat das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung in Leipzig (UFZ) eine sehr empfehlenswerte und nochmals verdichtete deutsche Übersetzung der IPBES-Zusammenfassung für Entscheidungsträger veröffentlicht (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung, 2019).

Quellen

- Geschke, J. (2019). Wie gut ist die deutsche Biodiversitätsforschung vernetzt? In Earth System Knowledge Platform (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt* (S. 209-213). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. doi:10.2312/eskp.2020.1.8.6
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung. (Hrsg.). (2019). *Das „Globale Assessment“ des Weltbiodiversitätsrates IPBES Die umfassendste Beschreibung des Zustands unserer Ökosysteme und ihrer Artenvielfalt seit 2005 – Chancen für die Zukunft. Auszüge aus dem “Summary for policymakers”* (Stand: 6. Mai 2019). Leipzig, Germany: UFZ.
- IPBES. (2019). *Summary for policymakers of the global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* (hrsg. von S. Díaz, J. Settele, E. S. Brondizio E.S., H. T. Ngo, M. Guèze, J. Agard, A. Arneth, P. Balvanera, K. A. Brauman, S. H. M. Butchart, K. M. A. Chan, L. A. Garibaldi, K. Ichii, J. Liu, S. M. Subramanian, G. F. Midgley, P. Miloslavich, Z. Molnár, D. Obura, A. Pfaff, S. Polasky, A. Purvis, J. Razzaque, B. Reyers, R. Roy Chowdhury, Y. J. Shin, I. J. Visseren-Hamakers, K. J. Willis & C. N. Zayas). Bonn, Germany: IPBES secretariat.
- IPBES. (2019, 22. Mai). *Report of the Plenary of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on the work of its seventh session* (Paris, 29 April–4 May 2019).
- IPBES-7. (2019). Stakeholder Day and 7th Session of the Plenary of the Intergovernmental Platform for Biodiversity and Ecosystem Services. Summary of the Meeting. [enb.iisd.org/ipbes/7-plenary]. Aufgerufen am 02.09.2019.
- Krause, G., Happe, A.-K. & Scheve, J. (2019). Der Weg von internationalen Umweltberichten in die deutsche Politik. In Earth System Knowledge Platform (Hrsg.), *ESKP-Themenspezial Biodiversität im Meer und an Land. Vom Wert biologischer Vielfalt* (S. 193-195). Potsdam: Helmholtz-Zentrum Potsdam, Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ. 10.2312/eskp.2020.1.8.2

BIODIVERSITÄT IN ALLEN SEKTOREN VERANKERN

Der Weg von internationalen Umweltberichten in die deutsche Politik

AutorInnen: Dr. Gesche Krause, Dr. Anne-Kathrin Happe, Jan Scheve
(Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung AWI)

Der Transfer der Ergebnisse internationaler Umweltberichte in die nationale politische Praxis vollzieht sich nur zögerlich. Das Projekt INTERNAS soll diesen Transfer verbessern und verstetigen und nutzt dafür auch neu entwickelte digitale Wissens-Repräsentationen.

- Erkenntnisse aus den internationalen Umweltberichten finden nur begrenzt Eingang in die nationale Politik.
- INTERNAS bietet durch dialogorientierte Politikberatung Hilfen an und versucht, diesen Zustand zu verbessern.
- Dabei werden zunehmend digitale Wissensprodukte bedeutsam.
- Zwischenergebnisse zeigen, dass oftmals die mangelnde Konkretisierung der Handlungsoptionen für die nationale Politik ein Problem darstellt.

Internationale Umweltberichte schlagen Alarm

Aktuell erscheinen eine Reihe von internationalen Umweltberichten, wie etwa der globale Bericht des Weltbiodiversitätsrates IPBES, das World Ocean Assessment, oder der sechste Global Environment Outlook der Vereinten Nationen. Diese Publikationen bieten eine nie dagewesene Gesamtschau wissenschaftlicher Erkenntnisse zur Biodiversität und dem ökologischen Zustand der Erde.

Neben der Analyse und Bewertung der weltweiten Ökosysteme formulieren die Berichte auch politische Handlungsempfehlungen für eine zukünftige nachhaltige Nutzung.

Der Bericht des Weltbiodiversitätsrates weist dabei einen konkreten Bezug zu den UN-Nachhaltigkeitszielen (englisch: Sustainable Development Goals, SDGs) auf und dokumentiert eindrucksvoll, dass der Rückgang der Biodiversität die Lebensgrundlage der Menschen auf der Erde gefährdet. Ökologische Ressourcen

werden nicht nachhaltig genutzt. Zudem zerstört der derzeitige Landnutzungswandel im großen Ausmaß Lebensräume – etwa in der Land- und Forstwirtschaft oder durch Bebauung und Infrastrukturprojekte.

Der Bericht bietet ein umfassendes Bild aktueller Forschungsergebnisse. Die Autoren betonen, dass es einer tiefgreifenden Veränderung der menschlichen Lebens- und Wirtschaftsweise bedürfe, um diesem massiven Artenverlust Einhalt zu gebieten. Trotz der gesellschaftlichen Relevanz und der Dringlichkeit des Problems finden die auf internationaler Ebene identifizierten Handlungsoptionen nur begrenzt Eingang in nationale Politikdebatten.

Dialogbasierte Politikberatung

Das INTERNAS-Projekt der Helmholtz-Gemeinschaft ist am Alfred-Wegener-Institut (AWI) und am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) angesiedelt. Es verfolgt einen partizipativen und dialogorientierten Beratungsansatz, bei dem die wissenschaftlich fundierten Empfeh-

lungen der internationalen Umweltberichte in den deutschen Politikkontext unter Einbindung relevanter Akteur*innen transferiert werden.

Dabei werden vor allem Mitglieder der Bundes- und Landesparlamente, Vertreter*innen von Ministerien und Fachbehörden, sowie thematisch interessierte Akteur*innen der Zivilgesellschaft angesprochen. In der ersten Phase des Projekts (2018-2019) wurden in drei größeren Workshops und einer Fokusgruppe unter anderem die Themen Biodiversitätsmainstreaming und der Schutz und Nutzung der Nord- und Ostsee behandelt.

Transferprozesse verstetigen

INTERNAS erprobt, etabliert und standardisiert diesen Transferprozess, wobei der Fokus zunächst auf den Umweltberichten liegt, die einen Bezug zu den SDGs 14 (Leben unter Wasser) und 15 (Leben an Land) haben. Perspektivisch soll dieser Transferprozess auf andere Bereiche der Nachhaltigkeitsziele im Bereich Erde und Umwelt erweitert werden.

Gleichzeitig wird der Prozess genutzt, um im Rahmen einer Begleitforschung einen Beitrag zur Entwicklung von Kriterien und Indikatoren für gute Transferprozesse zu entwickeln, die zukünftig auch über das INTERNAS Projekt hinaus Anwendung finden können. Neben dem Transfer von Handlungsoptionen in die Politik sollen im Gegenzug gesellschaftliche Prioritäten und konkrete politische Fragestellungen in die Forschung zurückgespiegelt werden.

Digitale Wissensprodukte

INTERNAS baut auf eine Reihe von innovativen Wissensrepräsentations- und Informationstechnologien auf, die eine Grundlage für die Anwendung von Methoden aus der künstlichen Intelligenz und Maschinenlernen bilden. So werden einschlägige Begriffe und Schlüsselkonzepte aus den Veranstaltungsprotokollen und Befragungen, aber auch aus ausgewählten Zusammenfassungen in den Umweltberichten extrahiert und systematisch unter Verwendung

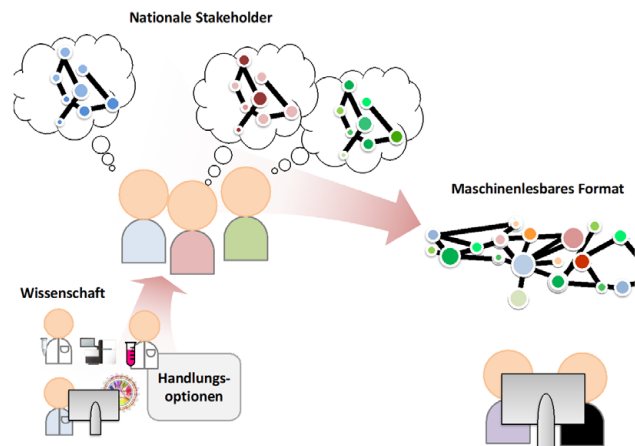


Abb. 1: Für die Erstellung von digitalen Wissensrepräsentationen (Ontologien) werden Schlüsselkonzepte aus Handlungsoptionen und Ergebnissen internationaler Berichte und den Diskussionen nationaler Stakeholder extrahiert. Diese Schlüsselkonzepte werden dann in ein maschinenlesbares Format überführt und so frei zugänglich und international nutzbar gemacht. Bild: INTERNAS/AWI

von Standardkonventionen der Wissensrepräsentation dargestellt (www.obofoundry.org).

Dadurch können die zentralen national genutzten semantischen Begriffe maschinenlesbar gemacht werden und mit anderen, über das Internet verfügbaren internationalen semantischen Begriffskategorien mit Umweltbezug, wie die Environmental Ontology ENVO und die Sustainable Development Goals Interface Ontology SDGIO, integriert werden. Durch diese digitalen Wissensprodukte wird damit ein Beitrag zu den FAIR-Datenprinzipien geleistet (FAIR = Findable, Accessible, Interoperabel and Reusable, d.h. Auffindbarkeit, Zugänglichkeit, Interoperabilität und Wiederverwendbarkeit).

Zwischenergebnisse

Die ersten Auswertungen zeigen, dass konkrete Inhalte internationaler Umweltberichte selbst bei interessierten Akteur*innen in Deutschland wenig bekannt sind, jedoch eine Vielzahl der in den Berichten vorgeschlagenen Maßnahmen in der einen oder anderen Form bereits auf nationaler Ebene diskutiert werden, oftmals aber ohne den größeren Kontext zu berücksichtigen.

Tatsächlich werden die in den Berichten aufgezeigten politischen Handlungsmöglichkeiten oft als zu vage wahrgenommen, sodass sie bislang nur sehr eingeschränkt für eine direkte Umsetzung auf nationaler Ebene nutzbar sind. Es zeigt sich, dass gute Beispiele aus anderen Ländern und Regionen besonders hilfreich für die Umsetzung in Politik und Praxis wären.

Insgesamt wird die themenspezifische Vernetzung in Rahmen von INTERNAS, beispielsweise im Rahmen von Workshops und Runden Tischen, als produktiv und wünschenswert bewertet. Der Einbezug vielfältiger Interessenträger bereichere die Diskussion. Nur durch einen langfristigen und iterativen Austausch relevanter Akteur*innen kann eine nachhaltige Politik zur Verbesserung der Biodiversität angestoßen werden.

Quellen

- Arp, R., Smith, B. & Spear, A. D. (2015). *Building Ontologies with Basic Formal Ontology*. Cambridge/MA, London: MIT Press.
- Buttigieg, P. L., Pafilis, E., Lewis, S. E., Schildhauer, M. P., Walls, R. L. & Mungall, C. J. (2016). The environment ontology in 2016: bridging domains with increased scope, semantic density, and interoperability. *Journal of biomedical semantics*, 7(57), 1-12. doi:10.1186/s13326-016-0097-6
- Umweltbundesamt. (2019). *Veröffentlichung des 6. Globalen Umweltberichts (GEO-6) 2019: Analyse der Implikationen für Deutschland* (Hintergrundbericht). Dessau-Roßlau, Germany: UBA.

BIODIVERSITÄT IN ALLEN SEKTOREN VERANKERN

Mainstreaming: Biodiversität in nationalen Strategien verankern

Autorin: Dr. Penelope Whitehorn (Karlsruher Institut für Technologie KIT)

Ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Förderung von Biodiversität ist die Verankerung von nationalen Strategien und Aktionsplänen in wirtschaftlichen Prozessen. Eine Vergleichsstudie des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU) am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) untersucht Fortschritte und Hemmnisse in 144 Staaten. Insbesondere in Europa gibt es Handlungsbedarf.

- Um den Rückgang der Biodiversität zu stoppen ist das Mainstreaming, also die Einbeziehung von Biodiversität in wirtschaftliche Prozesse entscheidend.
- Wichtige Sektoren sind dabei Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei, Tourismus, aber auch Energie, Infrastruktur, Fertigung und Verarbeitung.
- Im weltweiten Vergleich zeigt sich, dass insbesondere die afrikanischen Staaten beim Biodiversitäts-Mainstreaming vorne liegen, während es in Europa noch erhebliche Defizite gibt.

Die biologische Vielfalt erleidet weltweit dramatische Rückgänge. Der Weltbiodiversitätsrat schätzt, dass auf der Erde 1 Million Arten vor dem Verschwinden stehen. Mit dem Rückgang des Artenreichtums ist die Fähigkeit von Ökosystemen bedroht, diejenigen Dienstleistungen zu erbringen, die für die Menschheit wichtig sind und von denen sie abhängig ist. Dazu zählen zum Beispiel die Versorgung mit Nahrungsmitteln und sauberem Trinkwasser oder die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit. Die Integration von Belangen der biologischen Vielfalt in die nationalen Entwicklungspläne, Strategien und politische Ausgestaltung der verschiedenen Wirtschaftsbereiche ist entscheidend, um diesen Rückgang umzukehren. In der Fachsprache heißt dieser Prozess der Integration von Biodiversität in alle Lebensbereiche des öffentlichen Lebens bis hin zu nationalen Gesetzen „Biodiversity Mainstreaming“ bzw. „Mainstreaming von Biodiversität“.

Die Bedeutung des Biodiversity Mainstreamings wird durch das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Biodiversitätskonvention,

engl. Convention on Biological Biodiversity, CBD) und der damit verbundenen Aichi-Ziele anerkannt. Einzelne Länder können die Ziele der CBD durch ihre Nationalen Strategien und Aktionspläne zur biologischen Vielfalt umsetzen (engl. National Biodiversity Strategies and Action Plans, NBSAPs). Sie zielen unter anderem darauf ab, in den einzelnen Ländern die Integration der biologischen Vielfalt in die nationale Politik wichtiger Wirtschaftssektoren wie Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Fischerei und Tourismus zu unterstützen. Auf der Sitzung des Weltklimarates 2018 in Sharm El-Sheikh wurde als Erklärung verabschiedet, diese Sektoren um die Bereiche Energie, Infrastruktur, Fertigung und Verarbeitung zu erweitern.

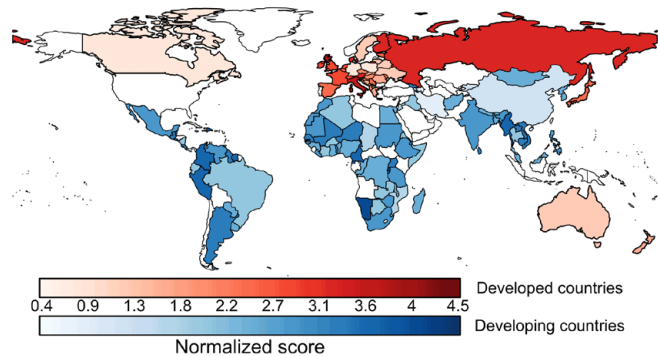
Frühere nationale Fortschrittsberichte zeigten bereits, dass der Prozess der Überführung der Biodiversitätsziele in nationale Regelungen nicht einfach ist. Als Hemmnisse treten in vielen Ländern die überwiegende Orientierung an kurzfristigen Vorteilen für Industrie und Gewerbe, die unklaren Entscheidungsfindungen sowie eine eingeschränkte Kommunikation

zwischen beteiligten Akteuren auf. Erschwerend kommt in Entwicklungs- und Schwellenländern häufig ein Mangel an finanziellen und zeitlichen Ressourcen hinzu, aber auch fehlendes Know-how. Positive Ansätze, um das Mainstreaming zu unterstützen, wurden zum Beispiel in Vietnam identifiziert, um die Vertrauensbildung in zertifizierte Palmölgewinnung oder Meeresfischerei zu fördern.

Aktionspläne der Staaten im Vergleich

Vor kurzem wurde von einem internationalen Forscher*innen-Team, eine rückblickende wissenschaftliche Analyse durchgeführt, um das Abschneiden von Regionen und einzelnen Ländern bei der Einbeziehung der biologischen Vielfalt in ihre jeweiligen nationalen Strategien und Aktionspläne seit 2010 zu überprüfen. An dieser Studie war auch das Institut für Meteorologie und Klimaforschung, Atmosphärische Umweltforschung (IMK-IFU) des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) beteiligt. Im Rahmen der Untersuchung wurden 144 Nationale Strategien und Aktionspläne zur biologischen Vielfalt anhand von fünf Kriterien ausgewertet, und auf Basis dieser Kriterien ein Indikator auf nationaler Ebene berechnet. Dies ermöglichte, den Grad des Mainstreamings länderübergreifend vergleichbar zu machen. Die Analyse sollte ein besseres Verständnis ermöglichen, welches Gewicht und Priorität die biologische Vielfalt auf nationaler Ebene hat und wie der NBSAP-Prozess als Instrument zur Einbeziehung der biologischen Vielfalt funktioniert.

Der Grundgedanke der Mainstreaming-Analyse ist, dass diese ausgearbeiteten nationalen Strategien und Aktionspläne als Input für andere Politikbereiche dienen und deren Ansatz zum Schutz der biologischen Vielfalt beeinflusst und verändert. Die Einbeziehung der biologischen Vielfalt in die sektorale Politik würde dann idealerweise eine Verhaltensänderung fördern, die wiederum zu einem verbesserten Zustand der biologischen Vielfalt führen würde. Die Forscherinnen und Forscher gehen davon aus, dass die biologische Vielfalt, wenn sie in



Normierte Werte für jedes Land. Rote Farben zeigen entwickelte Nationen und blaue Farben Entwicklungsländer an. Dunkle Töne zeigen höhere normierte Werte an. Länder, die nicht analysiert wurden, werden weiß dargestellt. Grafik aus: Whitehorn et al, 2019 / CC BY 4.0

den NBSAPs eindeutig in die einzelnen Wirtschaftssektoren integriert wird, potenziell wirksamer bei der Beeinflussung der sektoralen politischen Regelungen wäre.

Beteiligung gesellschaftlicher Gruppen als Erfolgsparameter

Die Ergebnisse der Analyse zeigen, dass im Vergleich Entwicklungsländer, insbesondere die afrikanischen, besser abschneiden. Das deutet darauf hin, dass es in diesen Ländern ein höheres Bewusstsein für die Bedeutung des Mainstreaming der biologischen Vielfalt gibt. Mit hoher Wahrscheinlichkeit rührt dies daher, dass am Entwicklungsprozess ein breites Spektrum an Interessengruppen beteiligt war. Diese Gruppen liegen in der Regel außerhalb der Regierung. Dazu zählen zum Beispiel Akteure der Zivilgesellschaft oder der private Wirtschaftssektor.

Aus der Forschung ist bekannt, dass die Beteiligung mehrerer gesellschaftlicher Gruppen für den Erfolg des Mainstreaming der biologischen Vielfalt von entscheidender Bedeutung ist. Ein integrativer Prozess schafft ein Gefühl von Eigenverantwortung. Dieses führt zu einem verstärkten Engagement aller beteiligten Interessengruppen sowie zu einer verstärkten Sensibilisierung für den Wert biologischer Vielfalt. Das

ist besonders relevant, wenn man bedenkt, dass die für den Verlust der biologischen Vielfalt verantwortlichen Wirtschaftssektoren wie Land- und Forstwirtschaft von einem breiten Spektrum von Akteuren außerhalb der nationalen Regierungen verwaltet werden.

Im Gegensatz dazu haben in der Analyse die entwickelten Länder, von denen sich die meisten in Europa befinden, schlechter abgeschnitten. Dort sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass es spezifische Angaben über den monetären Beitrag der biologischen Vielfalt zur jeweiligen Volkswirtschaft gibt. Dies deutet darauf hin, dass es in den entwickelten Ländern ein geringeres Bewusstsein für die Bedeutung der Einbeziehung der biologischen Vielfalt in alle Wirtschaftssektoren vorhanden ist als in den untersuchten Entwicklungsländern. Als positives Beispiel für die monetäre Bewertung von Biodiversität dienen die Seychellen und Peru. Auf den Seychellen betont der Nationale Aktionsplan, dass die biologische Vielfalt 35 Prozent der Staatseinnahmen, 38 Prozent der nationalen Beschäftigung und 60 Prozent des Bruttoinlandsprodukts (BIP) ausmacht. Auch in Peru hat Biodiversität eine hohe wirtschaftliche Bedeutung. Hier sind 22 Prozent der Volkswirtschaft mit Biodiversität verbunden.

Verankerung von Biodiversität in wirtschaftlichen Prozessen zentral für den Erfolg

Es muss betont werden, dass die Studie zur biologischen Vielfalt keine Aspekte der Integration konkreter Maßnahmen auf Unternehmensebene berücksichtigt hat. Die Nationalen Strategien und Aktionspläne spiegeln in erster Linie die politischen Absichten von Regierungen wieder, sind aber noch keine verbindlichen Erklärungen. Tatsächlich deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die NBSAPs ein eher schwaches politisches Instrument sind. Sie werden nur von einer Minderheit der Regierungen unterstützt und vor allem auf der Ebene der zuständigen Umweltministerien behandelt.

Die Erwähnung des Mainstreaming der biologischen Vielfalt innerhalb der NBSAPs ist oft weit gefasst und spezifiziert nicht die institutionellen und rechtlichen Anforderungen, die zur Erreichung der angestrebten Ziele erforderlich sind. Dieser Faktor, kombiniert mit dem Fehlen eines Koordinierungsmechanismus, schafft ein erhebliches Hindernis für die Umsetzung biodiversitätsfördernder Maßnahmen. Dadurch wird schnell übersehen, welche Chancen ein nachhaltiges Management zur Verbesserung von Biodiversität bietet. Beispielsweise betont der NBSAP in Belgien, dass landwirtschaftliche Diversifizierung die Nachfrage nach vielfältigen landwirtschaftlichen Produkten, Freizeitaktivitäten im ländlichen Raum sowie die Steigerung der Rentabilität der landwirtschaftlichen Betriebe fördern kann.

Trotz der Einschränkungen, denen die Studie unterliegt, hat sie gezeigt, dass in den Nationalen Strategien und Aktionsplänen vieler Länder die Grundlagen für die Einbeziehung der biologischen Vielfalt bereits gelegt wurden. Allerdings müssen die Industrieländer mehr tun, um den Wert der biologischen Vielfalt für ihre Produktionsbereiche anzuerkennen. Die stärkere normative Verankerung des Wertes von Biodiversität in Entwicklungsländern deutet auf eine stärkere Bindung dieser Länder an die Natur hin. Auch scheint ein höheres Bewusstsein für Wechselwirkungen zwischen Wirtschaft, Biodiversität und den damit verbundenen Ökosystemdienstleistungen zu bestehen. Weltweit gesehen gibt es in allen Ländern noch einen größeren Bedarf, wenn es darum geht, die Belange der Biodiversität in die jeweiligen Wirtschaftsprozesse zu integrieren. Dies würde einen Weg aufzeigen, um das Mainstreaming von Biodiversität auf globaler Ebene zu erreichen.

Quelle

- Whitehorn, P. R., Navarro, L. M., Schröter, M., Fernandez, M., Rotllan-Puig, X. & Marques, A. (2019). Mainstreaming biodiversity: A review of national strategies. *Biological Conservation*, 235, 157-163. doi:10.1016/j.biocon.2019.04.016

BIODIVERSITÄT IN ALLEN SEKTOREN VERANKERN

Natur in die Stadt – mit seinem Biodiversitätsplan geht Paris neue Wege

Autor: Oliver Jorzik (Earth System Knowledge Platform ESKP)

Grün ist an vielen Stellen in Paris ein rares Gut. Mit seinem ehrgeizigen Biodiversitätsplan 2018–2024 will die Stadt starke Impulse setzen, um biologische Vielfalt zu fördern und das Thema fest im Bewusstsein der Bevölkerung zu verankern. Dafür wird auch das Planungs- und Umweltrecht angepasst. Bei der groß angelegten Initiative für mehr Stadtgrün geht es auch um den Abbau von Wärmeinseln und eine Erhöhung der Widerstandsfähigkeit angesichts zunehmender extremer Wetterereignisse.

- Der neue Biodiversitätsplan von Paris vereinigt Bürgerbeteiligung und Biodiversitäts-Mainstreaming.
- Das Thema Biodiversität wird dabei fest im Planungs- und Umweltrecht verankert.
- Auch in Deutschland gibt es viele Positiv-Beispiele zur Förderung biologischer Vielfalt.
- Durch eine hohe Identifikation der Bevölkerung kann Biodiversität zu einem echten Standortfaktor werden.

Die französische Hauptstadt Paris ist mit knapp 22.000 Einwohnern pro Quadratkilometer eine der am dichtest besiedelten Städte der Welt. Zum Vergleich: Berlin weist aktuell eine Bevölkerungsdichte von 4.055 Einwohnerinnen und Einwohnern pro Quadratkilometer auf (Amt für Statistik Berlin-Brandenburg). Rund 2,2 Millionen Menschen leben in Paris. In der gesamten Metropolregion sind es mehr als 12 Millionen Menschen, von denen viele zum Arbeiten täglich in die Stadt pendeln. Hinzu kommen aktuellen Schätzungen zufolge nahezu 50 Millionen Touristen jährlich, die Paris zur meistbesuchten Stadt der Welt machen (Jahresbilanz: Paris meldet Besucherrekord). Wer Paris kennt, weiß, dass trotz großer Waldflächen wie dem berühmten Bois de Boulogne in vielen Bereichen der dicht bebauten Stadt üppiges Grün ein rares Gut ist. So gibt es in der Stadt nur rund 100.000 Straßenbäume (Lacroix, 2017, S. 38). Das sind ungefähr genauso so viele wie in der bevölkerungsmäßig deutlich kleineren baden-württembergischen Landeshauptstadt Stuttgart (Bäu-

me in der Stadt). Der Vergleich zeigt: Grün in Paris ist wertvoll und wird daher dringend gebraucht.

Nach Angaben von David Lacroix (2017), Leiter der Abteilung Pflanzenwissenschaft und -technologie, Bereich Grünräume und Umwelt der Stadt Paris, hat die Kommune den wachsenden Wunsch der Bevölkerung nach mehr Grün und Natur in der Stadt erkannt. Als unmittelbare Folge dieser gewachsenen Sensibilisierung der Bevölkerung für innerstädtisches Grün wurde für die Stadt bereits 2011 ein erster Biodiversitätsplan verabschiedet. Es zeigte sich jedoch in den Folgejahren, dass der Plan noch wesentliche Umsetzungsschwächen hatte. An vielen Stellen war er nur schlecht oder gar nicht operationalisierbar. In den Jahren 2014/2015 wurden im Haushalt der Stadt jedoch bereits zahlreiche Projekte und konkrete Maßnahmen zur Stadtbegrünung verankert. Die Mittel dafür lagen beim partizipativen Haushalt der Stadt Paris. Dieser macht fünf Prozent des Investitionshaushalts einer Wahlperiode aus.

Erfolgsrezept Bürgerbeteiligung: „Begrünungslizenzen“ für Städter

Zu den Maßnahmen, die seitdem initiiert wurden, gehören zum Beispiel die Schaffung mehrerer „grüner Straßen“, auf denen die Anwohner offiziell und mit Genehmigung der Stadt gärtnern können. Unter dem Motto „Réinventer Paris“ (deutsch: Paris neu erfinden) wurde ein Ideenwettbewerb gestartet, um neue Ansätze urbaner Landwirtschaft zu erproben, um dem wachsenden Wunsch der Stadtbewohner nach regional erzeugten Lebensmitteln besser nachzukommen und die Stadt von Transportverkehr zu entlasten. Die Stadt will damit neuen veränderten Konsumwünschen nachkommen und mit den Potentialen in Einklang bringen, die Urban Gardening und eine urbane Landwirtschaft bieten können. Diese neuen Landwirtschaftsprojekte drehen sich nicht nur um Obst- oder Gemüseanbau, sondern auch um die Biererzeugung inklusive Hopfenanbau in der Stadt oder innerstädtische Fischzucht.

Der starke partizipative Ansatz, auf den in Paris großen Wert gelegt wird, zeigt sich darin, dass an mehr als 200 Orten Genehmigungen für Begrünungen erteilt wurden, um zum Beispiel Baumscheiben zu begrünen oder Pflanztröge aufzustellen. 2.000 Bewohner erhielten einen speziellen „Begrünungsschein“, der ihnen erlaubt, ein kleines Stückchen Garten ganz offiziell zu bewirtschaften (2. Fachtagung Urban Gardening). Bei ihren Anstrengungen für mehr Stadtgrün erhalten Interessierte handfeste Unterstützung von der Stadt. So können in städtischen Baumschulen zu einem vergünstigten Preis Pflanzen, Zwiebeln und Samen gekauft werden. Es gibt auch zahlreiche Beratungsleistungen, Ratgeberbroschüren und Schulungen, um den vielen hundert Akteuren des grünen Stadtumbaus praxistaugliche Hilfestellungen zu geben.

Die Stadt will besonders bei den Flächen und Gebäuden vorangehen, die sich in Eigenbewirtschaftung befinden. So verzichtet Paris beim Grünflächenmanagement bereits seit mehreren Jahren vollständig auf Pflanzenschutzmittel



Vielfalt am Straßenrand: Mit dem Wildwuchs auf dem Seitenstreifen an Straßen kann die biologische Vielfalt zurück in die Stadt geholt werden. Auf diesen Streifen entsteht ein Rückzugsraum für mittlerweile selten gewordene Tier- und Pflanzenarten. Die Aufnahme dieses neu angelegten Wildstreifens wurde in Bad Cannstatt gemacht, dem ältesten Stadtteil Stuttgarts. Foto: Oliver Jorzik

und den Einsatz von Glyphosat. Dabei soll es aber nicht bleiben. Man will erreichen, dass künftig in jeder Schule und Kita ein Obst- oder Gemüsegarten entsteht. Damit die geplanten Maßnahmen an Fahrt aufnehmen, kommt es der Stadt neben der Beratung, der Bürgerbeteiligung und der Begrünung städtischer Einrichtungen laut einer Pressemitteilung der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau auf eine starke Vernetzung von Akteuren und Grundstücksbesitzern an (2. Fachtagung Urban Gardening).

Erhalt und Förderung der biologischen Vielfalt im Planungsrecht verankern

Was den neuen Biodiversitätsplan jenseits der vielfältigen Aktivitäten wirklich interessant macht: Er ist eng mit anderen Programmen verknüpft wie dem städtischen Klima- und Energieplan oder dem Plan zur Förderung von Bienenweiden, die bereits existieren. Das sogenannte Mainstreaming von Biodiversität sieht die Verankerung der biologischen Vielfalt in allen bestehenden Planungsvorschriften und Umweltplänen vor. So soll bis 2024 das Thema zu 100 Prozent in allen Umweltplänen enthalten sein. Damit erhält Biodiversität in der Stadt eine stärkere Rechtsgrundlage. Durch die Ver-

ankerung im Planungs- und Umweltrecht wird Biodiversität in den kommenden Jahren somit von einem Nice-to-have zu einem echten Must-have. Auf der Planungsebene geht die Stadt voran. So soll bis 2030 bei allen neu erstellten kommunalen Gebäuden ein Prozent der Bau- summe für Biodiversität reserviert werden.

Zudem sollen in die Planungen auch die Um- landgemeinden in der Metropolregion und des Großraums Paris einbezogen werden. Mit der Charta „Paris Action Biodiversité“ richtet sich Paris auch an alle lokalen Unternehmen, die an den Olympischen Spielen 2024 beteiligt sind. Die Charta muss von all diesen Unternehmen unterschrieben werden.

Auf der Webseite „Végétalisons Paris“ („Lasst uns Paris begrünen“, vegetalisons.paris.fr) werden die geplanten oder sich aktuell in der Um- setzung befindenden Projekte gesammelt und dokumentiert. So können sich gute Ideen wei- ter verbreiten und Erfahrungen untereinander ausgetauscht werden. Zudem können sich hier weitere Interessierte aus erster Hand bei den Initiatoren der Projekte informieren. Wenn sie neugierig geworden sind und bei einem Projekt mitmachen wollen, können sie Kontakt zu an- deren aufnehmen und sich vernetzen. Durch diesen neuen Ansatz der Bürgerbeteiligung sol- len die Einwohner von Paris zu Akteuren der Begrünung werden. Das schafft Identifikation und stärkt den sozialen Zusammenhalt. Die Be- wohner sind es selbst, die zu Gestaltern einer lebenswerten Stadt werden.

Artenschutz mit dem Abbau von Wärmeinseln in Städten verknüpfen

Die Motivlagen für mehr Grün in der Stadt ge- hen in Paris über die Förderung von Biodiversi- tät weit hinaus. Der Kampf gegen den Klima- wandel steht dabei ganz oben, da hierbei die Städte eine große Verantwortung haben. Wie in vielen anderen Städten Europas auch, geht es zunehmend um eine Erhöhung der Lebens- qualität oder um den Abbau innerstädtischer Wärmeinseln. Gerade das Thema Hitzeinseln entwickelt sich vor dem Hintergrund einer zu-

nehmenden Erderwärmung und der baulichen Nachverdichtung vieler Städte zu einem Top- Thema. So haben in Berlin Messungen in den Sommermonaten einen Temperaturunter- schied bis zu 12 Grad Celsius zwischen Innen- stadtbereichen und dem Umland gezeigt (Süd- deutsche Zeitung, 01.07.2019). Innerstädtische Hitze- bzw. Wärmeinseln entwickeln sich für Bewohner zu einem immer größeren Stressor, der auch schwerwiegende Rückwirkungen auf die Gesundheit haben kann, beispielsweise für Menschen mit Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Mit der Zunahme der Hitzeinseln kommt es zu unerwünschten Rückkopplungseffekten, wenn die aufgeheizten Häuser durch Klimaanlagen wieder heruntergekühlt werden müssen, was wiederum eine Erhöhung von CO₂-Emissionen nach sich zieht.

Aber auch die Themen Verletzlichkeit/Anfällig- keit (Vulnerabilität) und Widerstandsfähigkeit (Resilienz) spielen eine Rolle. So gibt es in vie- len Regionen der Welt eine messbare Zunahme lokaler kleinräumiger Starkregenereignisse, die für Städte eine immer größer werdende Gefahr darstellen. Als Reaktion darauf wandeln sich weltweit Städte zu sogenannten Schwamm- städten (englisch „Sponge Cities“) um. Man will mit den Schwammstadt-Initiativen den großen Regenmengen mehr Flächen zur Verfügung zu stellen, in denen das Wasser im Boden versickern kann und nicht zu einer Überlastung des Abwassersysteme und damit zu Überschwem- mungen führt. Bei diesen Stadtplanungen spielt Stadtgrün eine zentrale Rolle. Siehe hier- zu auch den ESKP-Artikel „Schwammstädte helfen bei Starkregen – die durchlässige Spon- ge City wird zum Vorbild“ (ESKP-Redaktion, 2018).

Auch Kommunen in Deutschland verzichten zunehmend auf Pestizide

Die Bemühungen für mehr Stadtgrün und die Sensibilisierung für das immer wichtiger wer- dende Gegenwartsthema Biodiversität be- beschäftigen auch viele Städte und Gemeinden in Deutschland. Der Bund für Umwelt- und Natur- schutz (BUND) informiert auf seiner Website,

dass in Deutschland mindestens 460 Städte und Gemeinden sich entschieden haben, bei der Bewirtschaftung der kommunalen Flächen auf den Einsatz des umstrittenen Herbizids Glyphosat zu verzichten, um Biodiversität zu fördern. Zu diesen Flächen zählen Parks, Friedhöfe, Beete und Kleingärten, aber auch Straßenbegleitgrün, Spielplätze sowie Spiel- und Liegewiesen in Freibädern.

In vielen Kommunen hierzulande sind die Potentiale für eine biodiversitätsfreundliche Umgebung aber noch wesentlich größer. Bis heute stehen nur selten auch diejenigen Flächen im Fokus, bei denen die Kommunen Eigentümer von landwirtschaftlichen Nutzflächen, Wiesen und Wäldern sind, die sie entweder selbst bewirtschaften oder verpachtet haben. Hier gibt es bundesweit enorme Reserven, um in Pachtverträgen einen Ausschluss von Insektiziden und Pestiziden zu verankern oder regulativ einzuschreiben. Dabei geht es auch darum, das Anlegen von Blühstreifen oder Wildflächen verbindlich festzuschreiben oder verbindliche Vereinbarungen bei der Bewirtschaftung von Nutzflächen zu treffen. Dies könnten Regelungen zur Fruchtfolge oder Ackerumwandlung auf kommunalen Böden sein, die landwirtschaftlich genutzt werden.

Auf der Webseite des Bündnisses „Kommbio – Kommunen für biologische Vielfalt“ findet sich eine Übersicht über Kommunen, die bereits Schutzprogramme zur Förderung von Biodiversität aufgelegt haben (Spreter, 2017). Dies betrifft zum Beispiel ökologische Landwirtschaftsprogramme, Biotop-Vernetzungsplanung, Artenschutzkonzepte, Uferrandstreifen-Programme, Obstwiesen- und Trockenmauerförderungsprogramme, Feuchtwiesen- und Streuobstwiesenprogramme oder spezielle Genehmigungsaufgaben in der Nähe von Naturschutzgebieten. Auf der Website des Kommbio-Bündnisses gibt es zudem zahlreiche eindruckliche Beispiele, wie sich auf kommunaler Ebene Biodiversitätsplanung in konkreten Maßnahmen und Projekten niederschlägt.

Potential für städtische Biotope ist beträchtlich

Stellvertretend für die vielen Aktivitäten, die bereits in allen Regionen der Bundesrepublik anzutreffen sind, sei auf eine kleinere Stadt verwiesen, die sich an der deutsch-niederländischen Grenze befindet. In Vreden kümmert sich die Kommune besonders um die Aufwertung städtischer Wegerandstreifen. Im Fokus steht hierbei die Fremdnutzung von Wegerandstreifen, die naturnah umgestaltet werden sollen, sodass aus verschwundenen Randstreifen wieder attraktive Blühstreifen entstehen.

Das Flächenpotential für die städtischen Saumbiotopie ist dabei beachtlich und wird allein in der kleinen Mittelstadt Vreden auf weit über 10 Hektar geschätzt, ausgehend von den bereits erfassten Wegerandstreifen. Auf der 5. Nachhaltigkeitstagung NRW im November 2018 wurde Bilanz gezogen. Demnach wurden in Vreden bislang 37.000 Quadratmeter an Wegerandstreifen ökologisch aufgewertet.

Auf diesen Flächen hat sich nach eigener Aussage von Stadt sowie dem Förderverein „Kultur Landschaft Vreden“ weitgehend wieder ein artreicher Bestand an heimischen Pflanzen und Insekten etabliert (5. Kommunale Nachhaltigkeitstagung NRW). Die neu entstandenen Biotope werden von der Bevölkerung „bewusst wahrgenommen und somit die Wertschätzung von Natur und Landschaft erhöht.“ Andere Kommunen wurden auf das Projekt aufmerksam, informieren sich in Vreden über die Vorgehensweise und wollen selbst aktiv werden. Dadurch entwickeln sich die Wildstreifen zu einer wirksamen Initiative mit Vorbildcharakter.

Beteiligungsprozesse für mehr urbanes Grün stärken Identifikation mit der Kommune

Es bewegt sich also etwas, nicht nur in Paris, auch in vielen Städten in Deutschland. Die bisherigen Erfahrungen zeigen: Je mehr Kommunen bei der Förderung von Biodiversität mitmachen, desto stärker wird das Thema in den

Köpfen der Bevölkerung verankert und mit positiven Assoziationen verbunden. Wie auch in Paris können in Vreden Interessierte aktiv teilhaben und teilnehmen – Bewohnerinnen und Bewohner der Stadt, Schulklassen oder Ehrenamtliche, die sich für das Thema einsetzen. Durch Partizipation bleibt Biodiversität als Thema vor Ort lebendig im Bewusstsein der Einwohnerschaft erhalten und führt zu gemeinsamen Aktivitäten. Auch wenn nicht immer alle mitmachen werden, so generiert Partizipation doch immer wieder neue frische Ideen, die von Unterstützern der Biodiversitätsinitiativen zugleich ausprobiert werden können. Am Ende eines solchen Beteiligungsprozesses kann auch so etwas wie Stolz auf die selbst geschaffenen Ergebnisse entstehen. Gelingt dies, kann sich langfristig die lokale Identifikation mit der Gemeinde erhöhen und Biodiversität zu einem echten Standortfaktor für junge Familien werden, die nach einem Wohnort mit hoher Lebensqualität suchen.

Zum Schluss noch ein kurzer Blick in die Schweiz, weil dort ebenfalls Besonderes passiert: Wer heute durch Zürich fährt, wundert sich als Besucherin oder Besucher aus Deutschland, wie viele Wildwiesen und blühende Wildecken es in der Stadt gibt. Dies ist kein Ergebnis leerer Kassen, sondern ein bewusster Weg, den die Stadt zur Förderung der Biodiversität eingeschlagen hat. Fragt man Bürgerinnen und Bürger in der Schweizer Metropole, wie sie zu dieser scheinbaren Unordentlichkeit der naturnahen Flächen stehen, spürt man ähnlich wie in Vreden bei vielen Menschen einen gewissen Stolz auf die Natur, die plötzlich an vielen Stellen der Stadt sichtbar wird. Und der Stolz zeigt Wirkung: Die hohe Identifikation mit den öffentlichen Wildflächen ist längst auf viele Privatgärten überschwappt. So gehört es heute in Zürich durchaus zum guten Ton, auch im eigenen Garten dauerhaft einen Streifen mit insektenfreundlichen Wildstauden anzulegen. Ein echter Bewusstseinswandel, der da im Gang ist.

Quellen

- 2. Fachtagung Urban Gardening: Die Sehnsucht nach Grün, die Wirklichkeit wird! (2019, 25. März). [Pressemitteilung der Bayerischen Landesanstalt für Weinbau und Gartenbau, LWG]. Abgerufen am 25.07.2019.
- 5. Kommunale Nachhaltigkeitstagung NRW: Zukunftsfähiges Handeln der nordrhein-westfälischen Städte, Gemeinden und Kreise. (2018). *Gemeinsam auf einem guten Weg Renaturierung der Wegeseitenränder im Bereich der Stadt Vreden* [www.lag21.de].
- Amt für Statistik Berlin-Brandenburg. (o.D.). Regionaldaten [www.statistik-berlin-brandenburg.de]. Abgerufen am 25.07.2019.
- Bäume in der Stadt. (o.D.). [Webseite der Stadt Stuttgart]. Abgerufen am 25.07.2019.
- Biodiversité. (o.D.). [Webseite der Stadt Paris]. Abgerufen am 25.07.2019.
- BMUB, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. (2017). *Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Dokumentation des 2. Bundeskongresses am 8. und 9. Mai 2017 in Essen*. Berlin, Germany: BMUB.
- BUND, Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland. (o.D.). *Pestizidfreie Kommunen: Es tut sich was*. Abgerufen 30. Juli 2019.
- ESKP-Redaktion. (2018). Schwammstädte helfen bei Starkregen – die durchlässige Sponge City wird zum Vorbild. *ESKP-Themenspezial Metropolen unter Druck. So werden Städte zukunftsfähiger* [themenspezial.eskp.de]. Aufgerufen am 24.07.2019.
- Große Temperaturunterschiede zwischen Stadt und Land. (2019, 1. Juli). *Süddeutsche Zeitung* [sueddeutsche.de]. Abgerufen am 25.07.2019.
- Jahresbilanz: Paris meldet Besucherrekord. (2018, 22. Februar). *fvw* [fvw.de]. Abgerufen am 25.07.2019.
- Lacroix, D. (2017). Le programme de végétalisation du bâti – Programm „Grün in der Stadt“ – Stadt Paris. In BMUB – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (Hrsg.), *Grün in der Stadt – Für eine lebenswerte Zukunft. Dokumentation des 2. Bundeskongresses am 8. und 9. Mai 2017 in Essen* (S. 38-40). Berlin, Germany: BMUB.
- Plan Biodiversité de Paris 2018-2024, Plan d'Actions. (o.D.). Abgerufen am 25.07.2019 von <https://www.paris.fr/actualites/un-nouveau-plan-biodiversite-pour-paris-5594>
- Radisson, L. (2018). La Ville de Paris adopte son plan biodiversité pour la période 2018-2024. *Actu-Environnement* [actu-environnement.com].
- Spreter, R. (2017). Biologische Vielfalt & Landwirtschaft. Ergebnisse der Mitgliederbefragung 2017 (14. November 2017 in Heidelberg). *Kommunen für biologische Vielfalt*. Abgerufen am 25.07.2019.
- Stadt Vreden. Wegrandstreifen. (o.D.). [Webseite der Kommunen für biologische Vielfalt, www.kommbio.de]. Abgerufen am 25.07.2019.
- Ohm, T. (2017, 19. Juli). Förderverein hat sich Großprojekt vorgenommen. *Münsterland Zeitung* [muensterlandzeitung.de]. Abgerufen am 25.07.2019.
- Ville de Paris. (2019). *Plan Biodiversité de Paris 2018-2024*. Abgerufen am 30.07.2019.
- [Webseite Végétalisons Paris]. Abgerufen am 25.07.2019 von <https://vegetalisons.paris.fr/vegetalisons/>

BIODIVERSITÄT IN ALLEN SEKTOREN VERANKERN

Der Schutz von Biodiversität braucht angepasste Politik- und Finanzierungsinstrumente

Autor: Dr. Julian Rode (Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung UFZ)

Wie findet man die geeigneten Instrumente, um allgemeine Biodiversitätsziele konkret umzusetzen? Hierzu wurde ein Leitfaden entwickelt, der gesellschaftlichen und politischen Akteuren das Vorgehen erleichtern soll.

- Lokale und regionale Akteure finden es häufig schwierig, allgemeine Biodiversitätsziele konkret umzusetzen.
- Es besteht ein Bedarf an Transferleistungen, die wissenschaftliche Erkenntnisse nutzerorientiert auf konkrete Problemlagen herunterbrechen.
- Um hier Hilfestellung zu geben, wurde ein Leitfaden entwickelt, der international eingesetzt werden kann (ESO-Leitfaden).

Um Biodiversität nachhaltig zu schützen und dem Biodiversitätsverlust zu begegnen, reicht es selten aus, mehr Information über die Entwicklungen oder ihre allgemeine gesellschaftliche Bedeutung bereitzustellen. Vielmehr müssen die an der Nutzung bzw. der Verschlechterung – in der Fachsprache Degradation genannt – beteiligten Akteure dazu gebracht werden, ihre Verhaltensweisen nachhaltig zu ändern. Welche Maßnahmen sind aber wirksam, um beispielsweise Landwirte zu biodiversitätsfreundlichen Praktiken, Fischer zu nachhaltigem Fischfang oder die Industrie zur Vermeidung von toxischen Abfällen zu bewegen?

Die internationale TEEB-Studie (TEEB, 2010, 2011) zeigt viele Beispiele auf, wie Politik- und Finanzierungsinstrumente die nötigen Anreize sowie die finanziellen und strukturellen Voraussetzungen für Verhaltensänderungen schaffen können. Sie zeigt aber auch, dass insbesondere in Entwicklungsländern nach wie vor große Defizite an politischen Maßnahmen und Instrumenten zum Biodiversitätsschutz bestehen, mit negativen Folgen für viele andere Nachhaltigkeitsziele wie Armutsbekämpfung, Nahrungssicherheit und Wasserversorgung.

Auch in Europa und Deutschland ist die Frage nach wirksamen und sozialverträglichen politischen Maßnahmen zum Biodiversitätsschutz nach wie vor ein großes Thema, man denke an die Diskussionen über die Ausgestaltung der europäischen gemeinsamen Agrarpolitik (GAP, siehe z.B. Brown et al., 2019).

Die Praxis benötigt Hilfe für die nutzer- und problemorientierte Übertragung von wissenschaftlichem Wissen

Die nebenstehende Aufzählung gibt einige Beispiele typischer Politik- und Finanzierungsinstrumente zum Schutz von Biodiversität (Tabelle 1). Aber welche Instrumente sind für konkrete Problemlagen in spezifischen (z.B. lokalen oder regionalen) Kontexten geeignet und wie sollten sie ausgestaltet und umgesetzt werden? Dieser Frage begegnet man allerorten bei Praxispartnern aus Politik, Management oder NGOs, die sich in Initiativen oder Projekten für Biodiversitätsschutz einsetzen.

Auch werden in der Praxis oft die Bewertung von Biodiversität und Ökosystemleistungen und die Veränderung von Anreizen zum Schutz dieser Werte durch Politik- und Finanzierungsinstrumente diskutiert.

instrumente verwechselt und deren jeweilige Möglichkeiten und Grenzen nicht gut genug verstanden. Bei der Bewertung geht es um die Darstellung der Werte von Ökosystemleistungen. Das kann sowohl in biophysischen Größen (z.B. als Berechnung der CO₂-Speicherung oder der Reduktion von Sedimentierung) als auch mit sozio-ökonomischen Indikatoren erfolgen. Wenn die Bewertung in monetären Größen erfolgt, also zum Beispiel wie viel Geld durch eine Ökosystemleistungen erwirtschaftet oder gespart wird, spricht man von ökonomischer Bewertung. In jedem Fall wird aber lediglich eine Information bereitgestellt (sog. „Bewertungsstudie“). Das führt aber nicht unbedingt direkt zu Verhaltensänderungen. Die wissenschaftliche Literatur, z.B. in der ökologischen Ökonomie und Umweltökonomik, befasst sich zwar ausführlich mit diesen Themen, die Erkenntnisse und Konzepte sind jedoch für Praktiker*innen in der Regel sehr schwer verständlich und kaum zugänglich.

Es besteht daher ein Bedarf an Übersetzungs- und Transferleistung wissenschaftlicher Erkenntnisse sowie die Herausforderung, diese nutzerorientiert auf konkrete Problemlagen und Kontexte zu übertragen. Eine solche beratende Transferarbeit an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis kann auch als transdisziplinäre Forschung (Lang et al., 2012) aufgefasst und konzipiert werden.

Die Methodik der „Ecosystem Service Opportunities“ (ESO) als Leitfaden für die Praxis

Abhilfe schaffen, sollen hier die „Ecosystem Service Opportunities“ bzw. der ESO-Leitfaden (Rode et al., o.D.). Die ESO-Methodik und ihre Aufbereitung in Form eines Praxisleitfadens wurden entwickelt, um dem Bedarf an Transfer- und Schnittstellenarbeit zu begegnen (Rode et al., 2016).

Der Leitfaden beschreibt ein schrittweises Vorgehen zur Identifizierung von lokalen Handlungsoptionen und geeigneten Instrumenten

Tabelle 1: Typische Politik- und Finanzierungsinstrumente im Überblick

- Subventionen bzw. Abschaffung schädlicher Subventionen
- Ökosteuern
- Zahlungen für Ökosystemleistungen
- Schutzgebiete
- Grüne Raum- und Entwicklungsplanung
- Eingriffs- und Ausgleichsregelungen
- Ökolabels
- Umweltstandards und Grenzwerte
- Integration von Umweltaspekten bei öffentlichen Ausschreibungen („Grüne öffentliche Beschaffung“)
- Offenlegung des ökologischen Fußabdrucks von Produkten oder Firmen
- Grüne Kredite
- Fischereiquoten
- Emissionsrechte und -märkte

(Schritte 2–4), sowie deren Ausgestaltung und Planung (Schritte 5–7). Die Aufgaben innerhalb der einzelnen Schritte werden in für Praktiker*innen verständlicher Form und Sprache erläutert und mit Hilfe von Beispielen veranschaulicht. Konkrete Tipps und Begleitmaterialien wie Templates zum Ausfüllen, Checklisten und Links zu zusätzlichen Informationsquellen helfen den Anwendern bei der Durchführung.

Ein besonderes Augenmerk gilt der partizipativen Herangehensweise. Es werden unterschiedliche Formen des Austauschs mit gesellschaftlichen Akteuren (z.B. in Workshops, Konsultationen, Fokusgruppen) vorgeschlagen. Begleitmaterial wie Leitfragen oder Workshop-Pläne unterstützen das Vorgehen.

Der konzeptionelle Kern der ESO-Methodik ist in den Schritten 3 und 4 abgebildet. Hier wird deutlich, dass die Analyse eine Ökosystemleistungsperspektive als Ausgangspunkt nimmt.

Die relevanten Ökosystemleistungen werden zunächst in Schritt 3 A qualitativ erfasst und ihr Bezug zu den Problemlagen vor Ort erarbeitet.

Danach wird der Bezug zu menschlichen Aktivitäten und Akteuren hergestellt (Schritt 3 B). Hierbei stehen folgende Leitfragen im Vordergrund: Wer leistet Beiträge zum Erhalt von Ökosystemleistungen, wer ist ihr Nutznießer und wessen Aktivitäten schaden der Bereitstellung von Ökosystemleistungen? In Anlehnung an ökonomische Grundprinzipien werden in Schritt 3 C die Handlungsoptionen („ES opportunities“) hergeleitet.

Danach werden die Handlungsoptionen mit geeigneten Politik- und Finanzierungsinstrumenten verknüpft. Dazu werden zuerst die vorhandenen Politik- und Finanzierungsinstrumente betrachtet, die den Schutz von Biodiversität und von Ökosystemleistungen fördern oder eventuell auch behindern (Schritt 4 A). In Schritt 4 B wird herausgearbeitet, mit welchen der existierenden oder neu zu schaffenden Instrumente die jeweiligen Handlungsoptionen umgesetzt bzw. unterstützt werden können. Der Schritt 4 C endete mit der Auswahl vielversprechender Handlungsoptionen und Instrumente, die im Anschluss mit Hilfe der Schritte 5 bis 7 des ESO-Leitfadens weiter ausdefiniert und geplant werden sollen.

Anwendung der ESO-Methodik

Der ESO-Leitfaden wurde zunächst im Rahmen eines Projektes in Thailand erstellt (Rode & Wittmer, 2015). Mittlerweile wurde die Methode im Rahmen weiterer Projekten internationaler Entwicklungszusammenarbeit in Mexiko, Mikronesien, Jordanien, Indien, Peru, Kolumbien und Costa Rica angewendet und dabei kontinuierlich weiterentwickelt. UFZ-Wissenschaftler*innen aus dem Department Umweltpolitik fungieren in diesen Projekten als wissenschaftliche Berater*innen für die lokalen Umsetzungspartner. Um Flexibilität und Nutzerfreundlichkeit zu verbessern, wurde der Leitfaden mittlerweile in eine online-Version überführt. Im Rahmen der lateinamerikanischen Anwendungskontexte wird derzeit eine spanische Version erstellt.

Der modulare Charakter der ESO-Schritte ermöglicht es, je nach Bedarf auch nur Teile der Methodik anzuwenden. In Indien – dort wurde die Methode in den Städten Kochi und Panaji angewandt – dienten lediglich die Schritte 2–3 der Identifizierung (Scoping) von Handlungsoptionen für Aktions- und Managementpläne zum urbanen Biodiversitätsschutz. In Peru (Region San Martin) wurden die Schritte 5–6 für die Entwicklung einer „grünen“ Kreditlinie für umweltfreundlichere Palmölproduktion angewendet, da der Fokus auf diesem Instrument dort bereits feststand.

Hingegen wurde in Thailand die gesamte Schrittfolge durchlaufen. So wurde im Süden des Landes in der Stadt Nakhon Si Thammarat die Entwicklung eines Zahlungsmechanismus für Naturschutz in einem Wassereinzugsgebiets angeleitet. Im Zentrum des Landes konnte erfolgreich ein Co-Managementplan für einen ökologischen Korridor zwischen zwei Nationalparks erarbeitet werden, die Teil des Khao Yai Waldkomplexes sind. Das Gebiet, das sich bis zur Grenze Kambodschas zieht, liegt östlich der Hauptstadt Bangkok und besitzt den Welterbestatus der UNESCO.

Tabelle 2: Analyseschritte des ESO-Leitfadens

- Vorbereitung und Organisation
- Kontext und Stakeholder verstehen
- Handlungsoptionen herleiten („ecosystem service opportunities“)
- Politik- und Finanzierungsinstrumente auswählen
- Instrumente spezifizieren
- Instrumente vereinbaren
- Implementierung planen

Quellen

- Acting on Ecosystem Service Opportunities – A Guideline. Overview of the step-by-step process. (o.D.). [www.es-opportunities.net]. Abgerufen am 23.08.2019
- Brown, C., Kovacs, E.K., Zinngrebe, Y., Albizua, A., Galanaki, A., Grammatikopoulou, I., Herzon, I., Marquardt, D., McCracken, D., Olsson, J. & Villamayor-Tomas, S. (2019). Understanding farmer uptake of measures that support biodiversity and ecosystem services in the Common Agricultural Policy (CAP). *Report prepared by an EKLIPSE Expert Working Group*. Centre for Ecology & Hydrology. Wallingford, United Kingdom.
- Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), ValuES. (o.D.). Acting on Ecosystem Service Opportunities. Guidelines for selecting and planning policy and financing instruments to conserve ecosystems and enhance sustainable livelihoods [www.es-opportunities.net]. Abgerufen am 21.08.2019.
- Lang, D., Wiek, A., Bergmann, M., Stauffacher, M., Martens, P., Moll, P., Swilling, M. & Thomas, C. (2012). Transdisciplinary research in sustainability science: practice, principles, and challenges. *Sustainability Science*, 7(1), 25-43. doi:10.1007/s11625-011-0149-x
- Rode, J., Wittmer, H., Emerton, L. & Schröter-Schlaack, C. (2016). 'Ecosystem Service Opportunities': a practice-oriented framework for identifying economic instruments in order to enhance biodiversity and human livelihoods. *Journal for Nature Conservation*, 33, 35-47. doi:10.1016/j.jnc.2016.07.001
- Rode, J. & Wittmer, H. (2015). *Acting on Ecosystem Service Opportunities – Guidelines for identifying, selecting and planning economic instruments to conserve ecosystems and enhance local livelihoods*. Helmholtz Centre for Environmental Research GmbH – UFZ, Leipzig.
- TEEB. (2010). *The economics of ecosystems and biodiversity: mainstreaming the economics of nature: a synthesis of the approach, conclusions and recommendations of TEEB*. London: Earthscan.
- TEEB. (2011). *The economics of ecosystems and biodiversity in local and regional policy and management*. London: Earthscan.

BIODIVERSITÄT IN ALLEN SEKTOREN VERANKERN

Wie gut ist die deutsche Biodiversitätsforschung vernetzt?

Autor: Jonas Geschke (Museum für Naturkunde Berlin, Netzwerk-Forum zur Biodiversitätsforschung Deutschland, Aktuell: Universität Bern, Institut für Pflanzenforschung)

Das Netzwerk-Forum zur Biodiversitätsforschung Deutschland (NeFo) hat mit der Methode der Sozialen Netzwerkanalyse die Qualität der Netzwerkarbeit in Deutschland zum Thema Biodiversität untersucht. Dabei wurde herausgefunden, welche Netzwerke noch isoliert von anderen arbeiten und wie stark die Vernetzungsarbeit von wissenschaftlichen Institutionen auch andere Bereiche wie Wirtschaft oder Behörden erreicht.

- Institutionalisierte Forschungsnetzwerke werden hierzulande im wesentlichen Maße von außeruniversitären Forschungseinrichtungen getragen.
- Zunehmend wandert die Biodiversitätsforschung aus dem Bereich der Wissenschaft in andere Sektoren.
- Mit der Methode der Sozialen Netzwerkanalyse erhält die Politik konkrete Hinweise, um Fördermaßnahmen fokussierter und damit wirksamer zu steuern.

Netzwerke der Biodiversitätsforschung

Der Großteil der in Deutschland an Biodiversität forschenden Institutionen ist nicht über institutionalisierte Forschungsnetzwerke miteinander verbunden. Zu den Mitgliedern institutionalisierter Forschungsnetzwerke zählen hierzulande vor allem außeruniversitäre Forschungseinrichtungen. Das ist das Ergebnis einer vom Netzwerk-Forum zur Biodiversitätsforschung Deutschland (NeFo) 2018 durchgeführten Netzwerkanalyse zur strategischen Weiterentwicklung der Biodiversitätsforschung in Deutschland, bei der auch die zurückliegenden Entwicklungen berücksichtigt wurden.

Die Studie sollte analysieren und sichtbar machen, welche Schwerpunkte NeFo an der Schnittstelle zwischen Biodiversitätsforschung, Politik und Praxis behandelt und wie sich die Biodiversitätsforschung in Deutschland aus Perspektive von NeFo innerhalb der letzten Dekade inter- und transdisziplinär entwickelt hat.

Darüber hinaus sollte sie die Möglichkeiten der Sozialen Netzwerkanalyse als Werkzeug zur Evaluierung von Netzwerkarbeit und Wissenschaftskommunikation ermitteln.

Im Rahmen der Studie wurde zum einen der NeFo-Forschungsatlas in Hinblick auf die institutionalisierte Forschungsvernetzung in der deutschen Biodiversitätsforschung analysiert. Mithilfe des Forschungsatlas können Kompetenzfelder und Einrichtungen der Biodiversitätsforschung in Deutschland recherchiert werden. Es handelt sich um eine umfangreiche Datenbank, in der die zum Thema Biodiversität forschenden Institutionen in Deutschland erfasst werden und nach relevanten Kriterien gefiltert werden können, wie zum Beispiel nach Lebensräumen, zu denen an den einzelnen Einrichtungen geforscht wird: aquatische Systeme, Berge, Böden oder Grasland.

Weiterhin wurden diejenigen Veranstaltungen im Hinblick auf ihre inter- und transdisziplinäre Vernetzungsfunktion untersucht, die von NeFo

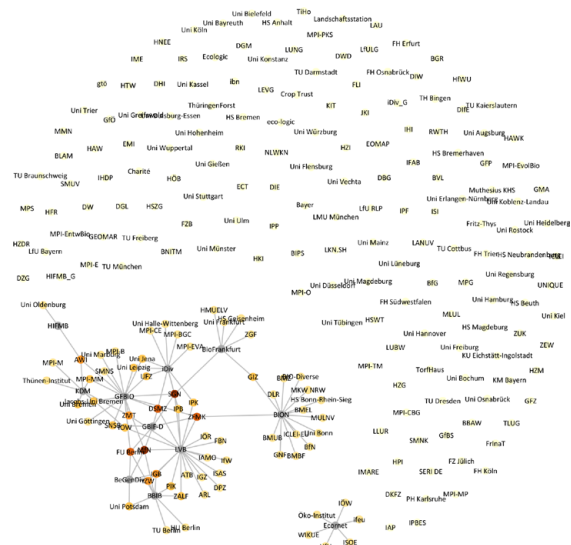


Abb. 1: Das Netzwerk der Institutionen des NeFo-Forschungsatlas und der dort aufgenommenen institutionalisierten Forschungsnetzwerke. Die Farbe der Institutions-Knotenpunkte ist abhängig von der Degree-Zentralität (= Anzahl der Mitgliedschaften in einem Forschungsnetzwerk) der jeweiligen Institution. Die Forschungsnetzwerk-Knotenpunkte sind grau eingefärbt. Grafik: Jonas Geschke / MfN

organisiert wurden. Hier ging die Studie zum Beispiel den Fragen nach, wie die Institutionen untereinander vernetzt sind oder wie die Vernetzung in andere Bereiche der Gesellschaft hineinwirkt, wie zum Beispiel in Richtung von Wirtschaft oder Verwaltung. Untersucht wurden insgesamt 37 Workshops, Fachgespräche, Foren, Konferenzen und Symposien. Diese Veranstaltungen werden im weiteren Text der Einfachheit halber „Workshops“ genannt. Sie fanden zwischen Februar 2010 und Juni 2017 statt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Studie kurz dargestellt. Zudem wird ein Ausblick gegeben, wie die Vernetzung der deutschen Biodiversitätsforschung tiefergehend strategisch analysiert werden kann und welche Möglichkeiten sich daraus für die Wissenschaft und Politik ergeben.

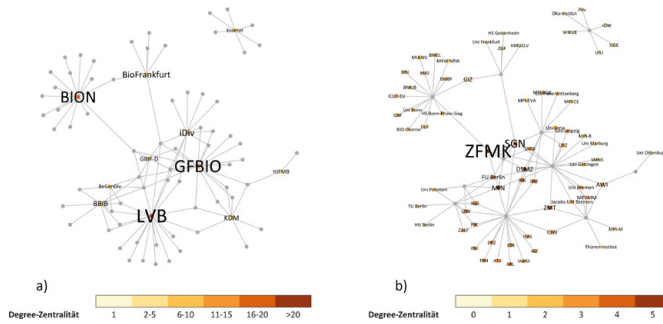


Abb. 2: Das Netzwerk der institutionalisierten Forschungsnetzwerke und ihrer Mitglieder mit Sicht auf **a)** die Forschungsnetzwerke und **b)** die Institutionen. Die Farbe der Knotenpunkte ist abhängig von der Degree-Zentralität (= Anzahl **a)** der Mitglieder und **b)** der Mitgliedschaften in einem Forschungsnetzwerk). Die jeweils anderen Knotenpunkte sind grau eingefärbt. Die Schriftgröße ist abhängig von der Betweenness-Zentralität der Knotenpunkte. Grafik: Jonas Geschke / MfN

Studienergebnisse auf Grundlage des NeFo-Forschungsatlas

Der Großteil der in Deutschland an Biodiversität forschenden Institutionen – basierend auf dem NeFo-Forschungsatlas und den in ihm aufgenommenen Forschungsnetzwerken – ist bislang nicht über institutionalisierte Forschungsnetzwerke miteinander verbunden (Abb. 1).

Bei näherer Betrachtung der über institutionalisierte Forschungsnetzwerke verbundenen Institutionen (Abb. 2) ist erkennbar, dass der Großteil der vernetzten Institutionen außer-universitäre Forschungseinrichtungen sind. Zudem stellt das Zoologische Forschungsmuseum Alexander Koenig (ZFMK) in Bonn einen sogenannten Broker zwischen dem großen Netzwerkcluster und dem Netzwerk Biodiversität in Bonn (BION) dar. Broker heißt, dass die Institution eine wichtig Brücke zu anderen Partnern darstellt, ohne welche die anderen Partner innerhalb des Netzwerks nur schwer zu erreichen wären.

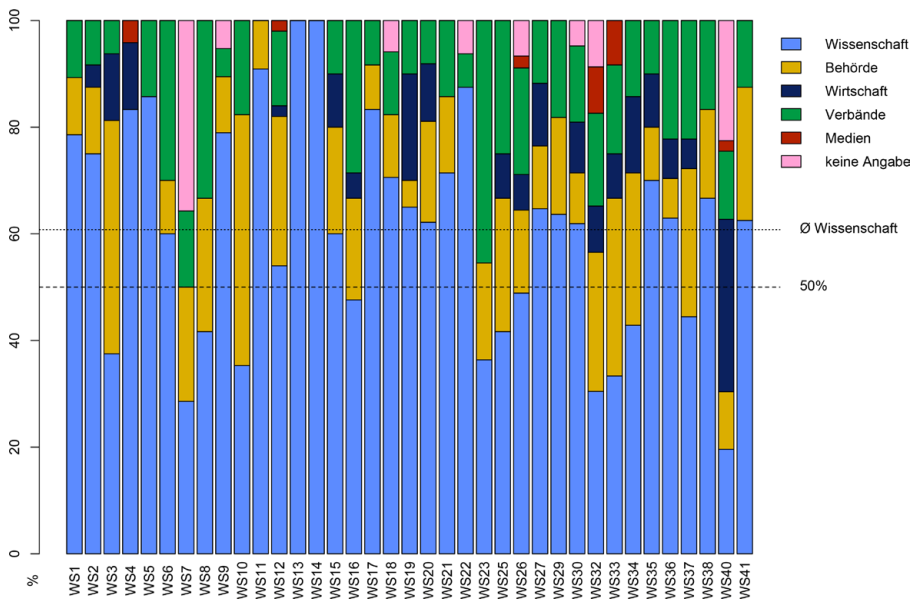


Abb. 3: Relativer Anteil der Institutions-Kategorien pro Workshop. Auf der x-Achse ist die zeitliche Abfolge der Workshops 1 bis 41 dargestellt, auf der y-Achse der relative Anteil (%) der zugeordneten Institutions-Kategorien Wissenschaft, Behörde, Wirtschaft, Verbände, Medien und keine Angabe. In zwei waagerechten Linien ist zur Orientierung die 50 Prozent-Grenze eingezeichnet sowie der durchschnittliche Wert der Kategorie Wissenschaft (60,8 Prozent). Die Workshops 24, 28, 31 und 39 wurden von NeFo initiiert, aber nicht organisiert. Grafik: Jonas Geschke / MfN

Die Studie zeigt weiterhin: Der Anzahl ihrer Mitglieder zufolge handelt es sich bei den zentralsten Forschungsnetzwerken neben BION um die Gesellschaft für Biologische Daten (GFBio) und den Leibniz-Verbund Biodiversität (LVB). Während diese Einrichtungen gut mit anderen verbunden sind, gibt es zum Beispiel auch das Forschungsnetzwerk Ecornet – das Ecological Research Network (Ecornet), das von den anderen Forschungsnetzwerken isoliert ist.

Studienergebnisse auf Grundlage der NeFo-Workshops

Um die inter- und transdisziplinäre Vernetzungswirkung der von NeFo organisierten Workshops zu untersuchen, wurde den teilnehmenden Institutionen jeweils eine der Kategorien Wissenschaft, Behörden, Wirtschaft, Verbände und Medien zugeordnet. Die zeitliche Betrachtung der an den Workshops teilnehmenden Institutionen zeigt, dass die von NeFo angesprochene

Biodiversitätsforschungscommunity bereits von Anfang an aus Akteuren verschiedener Sektoren bestand (Abb. 3). Über die Jahre hinweg nahm der Anteil wissenschaftlicher Institutionen jedoch ab, während die Anteile von Institutionen der Kategorien Wirtschaft und Verbände zunahm (Abb. 4).

Die NeFo-Workshops haben über den Untersuchungszeitraum hinweg vermehrt Praxisakteure in die Diskurse der deutschen Biodiversitätsforschung eingebunden. Damit wandert Biodiversitätsforschung zunehmend aus dem Bereich der Wissenschaft in andere Sektoren. Das heißt, sie wird zunehmend transdisziplinär. Ein prominentes Beispiel ist die Studie des Entomologischen Vereins Krefeld, mit der auf das Insektensterben aufmerksam gemacht wurde (Hallmann et al., 2017) und mit der die Diskussion um ein nationales Biodiversitätsmonitoring gesellschaftlich stark an Bedeutung gewann.

Ergebnis und Ausblick

Das Thema der Vernetzung steht zunehmend auf der Agenda von Konferenzen und der strategischen Weiterentwicklung von Institutionen. Die (Soziale) Netzwerkanalyse ist ein vielversprechendes Werkzeug, um bestehende Kooperationen zu analysieren und visualisieren, sowie Vernetzung über die Zeit hinweg zu evaluieren und strategisch auszurichten. Es zeigt sich, dass Workshops als vernetzende Maßnahme gut geeignet sind, um eigene Aktivitäten der Netzwerkarbeit und Wissenschaftskommunikation zu evaluieren. Hier kann die jahrelange Arbeit von NeFo entsprechend der Notiz eines Teilnehmers beim FONA-Forum 2019 (Abb. 5) zumindest für den Forschungsdiskurs als erfolgreich eingestuft werden.

Weiterführende Analysen von Workshops anderer Projekte sind notwendig, um das Bild und die Einschätzung von Netzwerken zu erweitern und zu vervollständigen. Als andere und technisch robustere Datengrundlage zur strategischen Analyse der Vernetzung der Biodiversitätsforschung in Deutschland können projektbasierte Zusammenarbeiten von Institutionen dienen. Damit könnte die Politik ihre Fördermaßnahmen fokussierter steuern, um beispielsweise Fachbereiche, die unterrepräsentiert sind, oder isolierte Forschungsinstitutionen besser integrieren. Zudem könnten Akteure aus der Wissenschaft und der Zivilgesellschaft wesentlich einfacher für sie interessante strategische Kooperations- und Ansprechpartner auffindig machen.

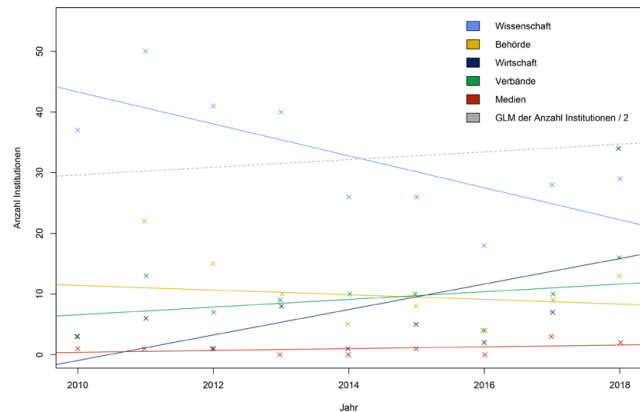


Abb. 4: Regressionsanalyse der absoluten Anzahl der Institutionen der Kategorien „Wissenschaft“, „Behörde“, „Wirtschaft“, „Verbände“ und „Medien“ bei den NeFo-Workshops.

Auf der x-Achse ist die zeitliche Abfolge dargestellt, auf der y-Achse die Anzahl der Institutionen. Die Trendlinien wurden mittels GLM berechnet. Die graue Trendlinie stellt das GLM der Gesamtanzahl teilnehmender Institutionen pro Jahr durch, wobei diese jeweils halbiert wurde, damit die Linie in vergleichbarer Skala liegt.

Grafik: Jonas Geschke / MfN

Forschungseinrichtungen und Netzwerke

BiodivERSA: BiodivERSA ist ein Netzwerk von nationalen und regionalen Förderorganisationen, die die gesamteuropäische Forschung im Bereich der biologischen Vielfalt und der Ökosystemdienstleistungen fördern und innovative Möglichkeiten für die Erhaltung und nachhaltige Bewirtschaftung der biologischen Vielfalt erkunden. BiodivERSA bietet den Rahmen, die eigene Förderpraxis mit einem Netzwerk von 35 staatlichen Forschungsförderorganisationen aus 23 EU-Mitgliedstaaten und assoziierten Ländern abzustimmen.

GBIF: Die internationale Initiative Global Biodiversity Information Facility (GBIF) hat sich zum Ziel gesetzt, wissenschaftliche Daten und Informationen zur weltweiten Artenvielfalt in digitaler Form über das Internet frei und dauerhaft verfügbar zu machen. Deutschland gehört zu den Gründungsmitgliedern der Global Biodiversity Information Facility (GBIF). GBIF-Deutschland (GBIF-D) arbeitet an der gezielten Zusammenstellung und Mobilisierung aller bundesweit geeigneten Sammlungs-, Forschungs-, Beleg- und Observationsdaten.

iDiv: Das Deutsche Zentrum für integrative Biodiversitätsforschung (iDiv) Halle-Jena-Leipzig ist ein Forschungszentrum der Deut-

schen Forschungsgemeinschaft DFG mit etwa 400 MitarbeiterInnen und Mitgliedern an den Hauptstandorten Halle, Jena und Leipzig. ForscherInnen aus 30 Nationen erarbeiten hier die wissenschaftliche Grundlage für den nachhaltigen Umgang mit Biodiversität. Am Konsortium beteiligt sind u.a. das Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ), das Leibniz-Institut für Pflanzengenetik und Kulturpflanzenforschung (IPK), das Max-Planck-Institut für Biogeochemie (MPI BGC) oder die Universität Leipzig und die Friedrich-Schiller-Universität Jena.

NeFo: Das Netzwerk-Forum zur Biodiversitätsforschung (NeFo) versteht sich als eine Plattform zur Unterstützung und Vernetzung der Biodiversitätsforschung in Deutschland sowie zur Intensivierung des Dialogs mit gesellschaftlichen Akteuren, insbesondere aus der Politik. NeFo unterstützt die deutsche Biodiversitätsforschung verschiedenster Fachrichtungen informativ und organisatorisch dabei, sich auszutauschen und aktiv in Debatten und Prozesse der Naturschutz- und Nachhaltigkeitspolitik einzubringen. NeFo wurde von 2009 bis 2019 vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert. Es wurde und wird auch weiterhin vom Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ sowie dem Museum für Naturkunde Berlin umgesetzt.

Quellen

- Geschke, J. & Vohland, K. (2018). *Die Vernetzung der deutschen Biodiversitätsforschung: Eine soziale Netzwerkanalyse aus Perspektive von NeFo* (NeFo-Studie. Netzwerk-Forum zur Biodiversitätsforschung Deutschland). Berlin, Germany. doi:10.7479/9zqs-aaa6
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., Stenmans, W., Müller, A., Sumser, H., Hörrn, T., Goulson, D. & Kroon, H. d. (2017). More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*, 12(10):e0185809. doi:10.1371/journal.pone.0185809

Was ist ESKP ?

Die **Earth System Knowledge Platform** (www.eskp.de) ist die Wissensplattform des Forschungsbereichs Erde und Umwelt der Helmholtz-Gemeinschaft.

Getragen wird ESKP vom **Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung (AWI)**, dem **Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)**, dem **Forschungszentrum Jülich (FZJ)**, **GEOMAR Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung Kiel**, dem **Helmholtz-Zentrum Potsdam – Deutsches GeoForschungsZentrum (GFZ)**, dem **Helmholtz-Zentrum Geesthacht – Zentrum für Material- und Küstenforschung (HZG)**, dem **Karlsruher Institut für Technologie (KIT)** sowie dem **Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ**.

Das Themenspezial-Format der Wissensplattform (themenspezial.eskp.de) bietet übergreifende Syntheseperspektiven zu jeweils einem besonderen Thema. Die vorliegende Publikation fasst erstmalig eine Themenspezial-Ausgabe in einer Gesamt-PDF zusammen. Online sind bislang außerdem die Themenspezial-Ausgaben „**Rohstoffe in der Tiefsee**“, „**Metropolen unter Druck**“ sowie „**Plastik in Gewässern**“ zugänglich.

Heft-DOI: [10.2312/eskp.2020.1](https://doi.org/10.2312/eskp.2020.1)

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