

Photosynthetisch aktive Meeresorganismen: Phytoplankton produziert die Hälfte aller organischen Substanz.
Photosynthetically active marine organisms: Phytoplankton produces half of all organic substance.

Die Vielfalt zwischen den Arten

Helmut Hillebrand und Anja Fitter

Das Artensterben nimmt rasant zu – eine Nachricht, die die Biodiversitätsforschung auch über Wissenschaftsgrenzen hinaus bekannt gemacht hat. Doch der Forschungszweig darf sich nicht auf reine Bestandserhebungen beschränken. Er muss sich neu orientieren und interdisziplinär vernetzen. Die mikrobiologische Forschung geht hier mit gutem Beispiel voran.

Die Europäische Auster – stark gefährdet. Der Kabeljau in der Nordsee – nimmt in seinen Beständen immer mehr ab. Das gefleckte Sandröschchen – bis auf einen kleinen Bestand auf Norderney – ausgestorben. Erschreckend deutlich mehren sich die Anzeichen für das weltweite Artensterben. Nach Schätzungen der Vereinten Nationen hat sich die Aussterberate gegenüber dem fossilen Hintergrundwert um den Faktor 1.000 erhöht. Die Ursachen sind vielfältig: Die intensivere Nutzung der menschlichen Lebensräume, der globale Temperaturanstieg und das Einschleppen fremder Arten beschleunigen die Veränderung der heimischen Biodiversität. Während der Rückgang der Artenvielfalt in Landökosystemen vor unser aller Augen stattfindet, vollzieht sich in den Weltmeeren ein ähnlicher dramatischer Wandel im Verborgenen. Die Produktion marinen Phytoplanktons beispielsweise geht inzwischen, so die Prognose von Wissenschaftlern in der Zeitschrift *Nature*, um jährlich ein Prozent zurück. Nicht zu unterschätzen ist die Bedeutung dieser Entwicklung: Photosynthetisch aktiven Meeresorganismen produzieren nicht weniger als die Hälfte aller organischen Substanz weltweit.

Traditionell lag das Augenmerk der Biodiversitätsforschung im Wesentlichen auf der Erfassung der Arten in ihren Lebensgemeinschaften und ihrem Verbreitungsgebiet. Ein imponierendes Beispiel für solche Untersuchungen ist der Census of Marine Life, eine Studie, die das Nachrichtenmagazin *Der Spiegel* treffend als „Volkszählung im Meer“ charakterisiert hat. 2.600 Wissenschaftler aus rund 80 Ländern erfassten zehn Jahre lang die Lebensgemeinschaften in den Weltmeeren. Ziel war die Beantwortung der Fragen, was in den Ozeanen lebt, was bereits verloren gegangen und was in Zukunft überlebensfähig ist.

Biodiversitätsforschung kann sich allerdings mit solchen Bestandserhebungen nicht zufrieden geben. Denn die Frage nach den Konsequenzen des weltweiten Artenverlusts ist nicht allein durch quantitative Verfahren zu beantworten. Die Geschwindigkeit des Artenschwunds macht Entscheidungen notwendig, Entscheidungen über den Schutz von Ökosystemen, die gerade auch für den Menschen von essentieller Bedeutung sind. Solche Entscheidungen

Diversity Among Species

Species are dying out at a frightening pace – news that has made biodiversity research a well-known field beyond academic boundaries. However this field of research must not confine itself to recording populations. It must adopt a new approach and forge interdisciplinary networks. Microbiological research is setting a good example for how this can be achieved.

The European oyster – a highly endangered species. Cod in the North Sea – their numbers are steadily dwindling. The spotted rockrose – apart from a small population on the island of Norderney – is no longer to be found in Germany. The signs of species loss across the globe are multiplying at a frightening pace, and the causes are manifold: more intensive use of human habitats, rising global temperatures and the introduction of foreign species are all accelerating the changes in local biodiversity. While in terrestrial ecosystems the decline of biodiversity is visible for all to see, equally dramatic changes are also taking place out of sight in the oceans. According to scientists' estimates in Nature magazine, the production of marine phytoplankton, for instance, is declining at a rate of one percent per year. The impact of this trend should not be underestimated: these photosynthesising marine organisms produce no less than a half of all organic substance worldwide. Traditionally, biodiversity research has focused primarily on compiling records of the different species in their biotic communities and geographical distribution. An impressive example of this type of research is the Census of Marine Life. No less than 2,600 scientists from approximately 80 different countries spent ten years recording the biotic communities in the world's oceans. The goal was to find answers to the questions of what lives in our oceans, what has already been lost, and what is capable of surviving in the future.

Biodiversity research, however, cannot be content with simply counting populations, because the question of what consequences the

global loss of species will have cannot be answered by quantitative procedures alone. The speed with which species are disappearing calls for decisions – decisions about protecting ecosystems which are also of vital importance for mankind. A fundamental understanding of the interactions between organisms and ecosystem processes is indispensable for making such decisions. This means biodiversity research needs to adopt new approaches.

The term „biodiversity“ denotes multiple facets of ecological communities which cannot be adequately conveyed by merely counting and identifying the different species. The different organisms of an ecosystem are closely interconnected with each other and with the processes which define that system. All habitats are home to dominant and less dominant species, which have different functions and occupy different „niches“ within a system. These ecosystems are organized in highly complex ways and therefore react differently to disturbances. Although for a long time diversity was understood simply as a measure of variety which alters in reaction to changing environmental conditions, nowadays it is seen as a driving force behind different processes in ecosystems. The term „functional diversity research“ was coined to underscore the new challenge. This approach calls for an analysis of the substance and energy flows within ecosystems and of the stability of those systems as a function of the diversity of their biotic communities. This diversity encompasses intraspecific variations, the ability to adapt and dominance patterns among the different species.

Die Autoren The authors



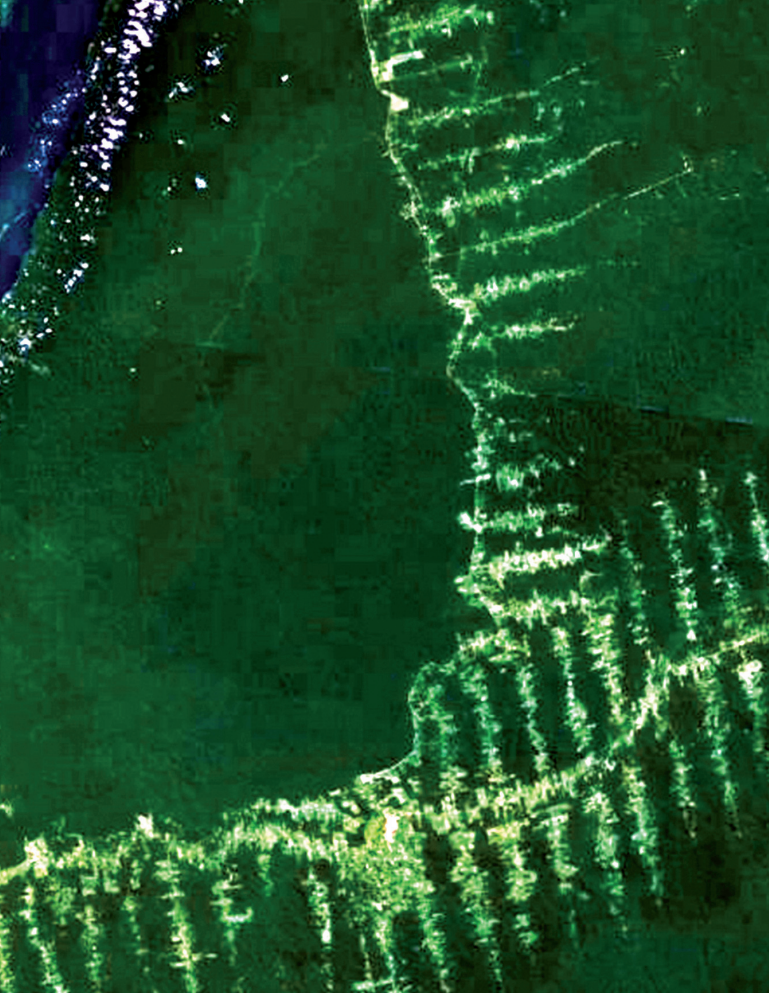
Prof. Dr. Helmut Hillebrand, seit 2008 Hochschullehrer für Planktologie am Institut für Chemie und Biologie des Meeres (ICBM), studierte in Oldenburg Biologie und promovierte 1999 an der Universität Kiel. Es folgte ein vierjähriger Forschungsaufenthalt am Institut für Limnologie an der Universität Uppsala (Schweden). Hillebrand war Juniorprofessor für Marine Ökologie an der Universität Kiel und ging 2004 als Hochschullehrer für Aquatische Ökologie an die Universität Köln. Seine Forschungsschwerpunkte sind die Regulationsmechanismen aquatischer Lebensgemeinschaften sowie die Bedeutung von Biodiversität für Ökosystemprozesse. Außerdem untersucht er die Nahrungsnetzbeziehungen im Pelagial aquatischer Ökosysteme in Bezug zur ökologischen Stöchiometrie.

Prof. Dr. Helmut Hillebrand has been lecturing on planktology at the University of Oldenburg's Institute for Chemistry and Biology of the Marine Environment (ICBM) since 2008. He studied biology in Oldenburg and earned his PhD at the University of Kiel in 1999. He went on to spend four years conducting research at the University of Uppsala's Institute of Limnology in Sweden. Hillebrand was Juniorprofessor for marine ecology at the University of Kiel and then from 2004 taught aquatic ecology at the University of Cologne. His main research interests are the regulation mechanisms of aquatic communities, as well as the importance of biodiversity for ecosystem processes. He also investigates the food web relationships in pelagic aquatic ecosystems regarding ecological stoichiometry.



Dr. Anja Fitter studierte Biologie an der RWTH Aachen und promovierte an der Universität Hamburg. Von 1994 bis 1997 war sie Wissenschaftliche Angestellte am ICBM und arbeitete dann als Fachredakteurin für die Deutsche Universitätszeitung *duz* in Bonn und den Georg-Thieme-Verlag. 2005 folgte die Mitarbeit in einem Projekt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) zur Rolle des mikrobiellen Nahrungsnetzes in benthischen Lebensgemeinschaften an der Universität Köln. Seit 2011 ist sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin der AG Planktologie am ICBM-Terramare und freiberuflich tätig.

Dr. Anja Fitter studied biology at the RWTH Aachen University and obtained her PhD at the University of Hamburg. From 1994 to 1997 she was PhD student research assistant at the ICBM, and then worked as a science editor for the German university magazine *duz* in Bonn and the Georg Thieme Verlag. In 2005 she joined a project by the German Research Foundation (DFG) on the role of the microbial food web in benthic communities at the University of Cologne. She started working as a research assistant with the Planktology Work Group at the ICBM-Terramare in 2011 and also does freelance work.



Satellitenbild von der Abholzung des Regenwalds: Die Geschwindigkeit des Artenschwunds macht Entscheidungen notwendig. Satellite photo showing the deforestation of tropical rain forests: The speed at which species are disappearing calls for decisions to be made.

können nur auf der Basis eines grundlegenden Verständnisses der Interaktionen zwischen Organismen und Ökosystemprozessen getroffen werden. Eine Neuorientierung der Biodiversitätsforschung ist also notwendig.

Hinter dem Begriff Biodiversität verbergen sich multiple Eigenschaften ökologischer Gemeinschaften, die durch die Anzahl und Identität verschiedener Spezies nur unvollkommen erfasst werden. In Ökosystemen stehen die Organismen in einem engen Verhältnis zueinander und zu den Prozessen, die das jeweilige Ökosystem ausmachen. Alle Lebensräume beherbergen dominante und weniger dominante Arten. Diese Arten erfüllen in den Systemen unterschiedliche Funktionen und besetzen verschiedene „Nischen“. Ökosysteme sind komplex organisiert und reagieren daher vielgestaltig auf Störungen.

Verstand man unter Diversität lange Zeit lediglich ein Maß für Vielfalt, die sich in Reaktion auf veränderte Umgebungsbedingungen wandelt, so wird sie heute als eine Triebkraft verstanden, die Prozesse in Ökosystemen steuert. Mit dem Begriff der „Funktionellen Diversitätsforschung“ soll die neue Herausforderung deutlich gemacht werden. Stoff- und Energieflüsse in Ökosystemen und deren Stabilität müssen nach diesem Ansatz in Abhängigkeit von der Vielfalt der Lebensgemeinschaften analysiert werden. Diese Vielfalt umschließt innerartliche Variationen, Anpassungsfähigkeit und Dominanzverhältnisse zwischen den Arten. Im Gegensatz zur traditionellen Biodiversitätsforschung trägt mikrobiologische Forschung diesen Zusammenhängen schon lange Rechnung, da hier der Artenbegriff nur eine untergeordnete Rolle spielt. Diversität von Mikroorganismen wird von der Mikrobiologie in der Hauptsache als Diversität von Prozessen verstanden. Sie ist zum Beispiel in den anaeroben – also sauerstofffreien – Zonen der Meere abhängig von chemischen Verbindungen, die den Bakterien zur Energiegewinnung zur Verfügung stehen. Und die Produkte solcher Stoffwechselprozesse

bilden die Energiegrundlagen für andere Mikroorganismen und bestimmen damit wiederum deren Diversität.

Funktionelle Diversitätsforschung

Ein derart funktioneller Ansatz wird von den Wissenschaftlern der Universität Oldenburg auch auf Lebensgemeinschaften höherer Organismen übertragen. Die Frage der Kopplung von Diversität und Ökosystemfunktion ist dabei ein Thema der ökologischen und evolutiven Grundlagenforschung. Ihre Beantwortung aber ist für die Nutzung und Nutzbarkeit von Lebensräumen durch den Menschen und das Management von Ökosystemen von lebenswichtiger Bedeutung. Für die funktionelle Diversitätsforschung sind diese Lebensräume keine in sich geschlossenen Systeme. So sind Zu- und Abwanderung von Organismen zwischen den verschiedenen Ökosystemen durchaus übliche Vorgänge. Und auch Nährstoffkonzentrationen in Böden und Gewässern unterliegen einer ständigen Veränderung durch Austauschprozesse. Diese natürlichen Prozesse werden zunehmend anthropogen verstärkt. Tiere und Pflanzen gelangen etwa auf Handels- und Reisewegen als so genannte Bioinvasoren in neue Lebensräume. Die Schifffahrt ist ein wichtiger Katalysator für solche Entwicklungen. Bekannt ist das Beispiel der Wasserhyazinthe: Sie überwuchert Wasserläufe, entzieht Böden wichtige Nährstoffe und nimmt heimischen Pflanzen das Sonnenlicht. Auch weniger potente Organismen führen zu Veränderungen von Lebensgemeinschaften. Die Konsequenz ist beinahe immer die Tendenz zu einer Homogenisierung der Ökosysteme und damit eine Verschiebung ursprünglicher Dominanzen.

Kann man die Verbreitungsmuster einer Bioinvasion identifizieren, dann lässt sich die Gefahr für die betroffenen Lebensräume besser einschätzen. Nur so wird es möglich, effektive Strategien gegen eine Bioinvasion zu entwickeln. Bereits eingeschleppte Arten allerdings lassen sich kaum noch bekämpfen, wenn sie einmal in neuen Lebensräumen Fuß gefasst haben.

Interdisziplinarität und Vernetzung

Will die Biodiversitätsforschung all diese Prozesse analytisch in den Blick nehmen, so muss sie sich interdisziplinär weiter entwickeln – und dies nicht nur im traditionellen Sinne. Neben Physikern, Chemikern und Mathematikern müssen auch Wissenschaftler der biologischen Teildisziplinen zusammen arbeiten. Für die Erforschung hochdynamischer Systeme müssen sich Evolutionsbiologen, Genetiker, terrestrische und aquatische Biologen miteinander vernetzen. Das Wattenmeer ist ein Paradebeispiel für ein lebensraumübergreifendes System, das ohne die Zusammenarbeit mariner und terrestrischer Ökologen in seiner Komplexität nicht zu erfassen ist. Es wird in der Zukunft nicht nur durch graduelle Veränderungen – wie den Anstieg des Meeresspiegels – beeinflusst werden, sondern auch vermehrt durch veränderte stochastische, d.h. unvorhersehbare Ereignisse wie gewaltige Stürme. Ein angemessenes Verständnis eines hochdynamischen Systems wie des Wattenmeeres ist nur zu erreichen, wenn marine und terrestrische organismische Biodiversitätsforschung und prozessorientierte Ökosystemforschung integriert werden.

Um Ursachen und Folgen des Artensterbens integrativ erforschen zu können, bedarf es neuer Wege in der Diversitätsforschung. Dabei werden beispielsweise organismische Ansätze der Ökologie und Evolution mit ökosystemaren Ansätzen der Biogeochemie vernetzt. Im Mittelpunkt steht die Frage, wie Stoff- und Energieflüsse durch Artenvielfalt beeinflusst werden. Eine Weichenstellung in diese Richtung bedeutet die Einrichtung eines institutsübergreifenden Schwerpunkts in der evolutiven und ökologischen Biodiversitätsforschung, wie ihn die Universität Oldenburg in den letzten fünf Jahren betrieben hat. Nur die Konzentration der verschiedenen Disziplinen an einem Ort erlaubt den direkten wissenschaftlichen Austausch und die Etablierung neuer Forschungsansätze.



Dramatischer Wandel in den Weltmeeren durch Artensterben: Auch Überfischung trägt dazu bei.
Dramatic changes brought about by species loss in the oceans: Overfishing also contributes to the problem.

In contrast to traditional biodiversity research, microbiological research has long since taken these interrelated factors into account, because here the concept of species plays only a secondary role. In microbiology, the diversity of microorganisms is for the most part understood as a diversity of processes. For instance, in anaerobic – or oxygenfree – zones of the oceans diversity depends on the chemical bonds available to bacteria for energy production. And the products of these metabolic processes provide the energy base for other microorganisms, and in turn determine their diversity.

Functional diversity research

A similarly functional approach is currently being applied by scientists at the University of Oldenburg to communities of higher organisms, too. Here, the question of coupling diversity and the function of ecosystems is the subject of basic ecological and evolutionary research. Answering this question is, however, of vital importance for the utilisation and usability of habitats by human beings and the management of ecosystems.

From the point of view of functional diversity research, these habitats are not closed systems. Therefore the migration of organisms from one ecosystem to another is a perfectly normal procedure. And the concentration of nutrients in soil and bodies of water is subject to constant change through exchange processes.

Human activity is increasingly intensifying these natural processes. For example, trade and travel are introducing animals and plants into new habitats as so-called bioinvasors. Sea travel is an important catalyst for such developments. The water hyacinth is a well-known example: it spreads rampantly in water-courses, depleting vital nutrients in the soil and shading native plants from sunlight. Less potent organisms can also bring about changes in a biotic community. The consequence is almost always a trend towards ecosystem homogenization, leading to a shift in the original dominance patterns.

Identifying bioinvasion patterns makes it easier to assess the threat

to the affected habitats. Only in this way is it possible to develop effective strategies to prevent a bioinvasion. For once a species has been introduced to a habitat and gained a foothold there, it is virtually impossible to remove.

Interdisciplinarity and integration

If biodiversity research aims to gain an analytic overview of all these processes it must become more interdisciplinary – and this not just in the traditional sense of incorporating physicists, chemists and mathematicians. Scientists of the different subdisciplines of biology must also work together. Evolutionary biologists need to collaborate with geneticists and terrestrial and aquatic biologists to research highly dynamic systems. The Wadden Sea is a classic example of a system that encompasses different types of habitat, and which in its complexity cannot be understood without collaboration between marine and terrestrial ecologists. In the future, the Wadden Sea mudflats will be affected not just by gradual changes, like rising sea levels, but increasingly also by altered stochastic, or in other words unpredictable events such as violent storms. An adequate understanding of highly dynamic systems such as mudflats can only be achieved by integrating marine and terrestrial organismic biodiversity research and process-oriented ecosystem research.

An integrative approach to studying the causes and consequences of species loss requires diversity research to embark on new paths. The organism-centred approach of ecology and evolution, for example, must be combined with the ecosystem-centred approaches of biogeochemistry. The key question is how biodiversity influences substance and energy flows. A step in this direction is to establish a crossinstitutional focus in evolutionary and ecological biodiversity research, as the University of Oldenburg has been doing for the past five years. Only by concentrating the different disciplines in one location can we achieve direct scientific exchange and establish new approaches to this field of research.