

5 WAS SOLL GETAN WERDEN? Aktuelle wissenschaftliche und politische Entwicklungen

Der Biodiversität mit ihrer großen Artenvielfalt verdanken wir viele Ökosystemleistungen wie die Produktion von Nahrung und Rohstoffen, Bindung von CO₂ (z.B. durch das Phytoplankton und die Wälder), die Reinigung des Wassers durch die Mikroorganismen, das Recycling der lebenswichtigen Stoffe und die Festlegung von Kohlenstoff in Böden und Sedimenten sowie sehr vieles mehr. Ohne all dieses wäre auch die Entwicklung der Menschheit mit einer Bevölkerung von über 7 Mrd. nicht möglich gewesen. Alle diese Funktionen werden als selbstverständlich hingenommen. Auch die Bestäubung der Pflanzen durch Insekten ist z.B. eine hervorragende Leistung zur Aufrechterhaltung der Biodiversität (für die Landwirtschaft). Es ist Pflicht aller Erdenbürger, nicht nur das Klima und die Umwelt sondern erst recht auch die Biodiversität mit all ihrer Artenvielfalt zu schützen. In diesem Teil des Buches wird am Beispiel des Schutzes der Meere, der Moore, der Regenwälder sowie von Küstenregionen gezeigt, was getan werden kann und muss. In der Forschung wird über eine noch intensivere Kopplung zwischen der Biodiversitäts- und Klimaforschung verstärkt diskutiert. All dies ist nur erfolgreich, wenn auch die allgemeine und naturwissenschaftliche Bildung in den Schulen und Universitäten unter Einschluss der lokalen und weltweiten Biodiversität und ihrer Veränderungen die ihr zustehende große Bedeutung erfährt.

5.1 Biodiversität, Ökosystemprozesse und Ökosystemleistungen

MARTIN ZIMMER & VÉRONIQUE HELFER

Biodiversität, Ökosystemprozesse und Ökosystemleistungen: Biodiversität ist per se wertfrei, sie erhält aber durch eine anthropozentrische Betrachtung von Ökosystemen und ihren Leistungen für die menschliche Gesellschaft eine ethische und ökonomische Bedeutung. Häufig werden einzelne charismatische Arten oder Lebensgemeinschaften mit hohem ästhetischen oder Erholungswert in den Vordergrund gestellt. So können große Beträge für den Schutz dieser Arten gespendet oder für das touristische Erleben dieser Lebensgemeinschaften ausgegeben werden. Schwieriger zu bewerten ist die Relevanz der Biodiversität für unterstützende, versorgende oder regulierende Ökosystemleistungen; v.a. die funktionale Diversität oder die Existenz von Gründer- oder Schlüsselarten scheint hier wichtig zu sein; und der Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemleistungen ist möglicherweise durch einen kritischen Schwellenwert der Biodiversität charakterisiert. Bedeutender als Biodiversität per se sind die Artzusammensetzung und Struktur der ökologischen Lebensgemeinschaft.

Biodiversity, ecosystem processes and ecosystem services: Biodiversity does not exhibit any value in itself but gains an ethical and economic value through an anthropocentric focus on ecosystems and their services provided to the human society. Cultural ecosystem services commonly focus on individual charismatic species or ecological communities with a high value for esthetics or leisure. Their economic value is high, because large amounts of money are given for the protection of these species or spent for touristic experience of these communities. The relevance of biodiversity for supporting, provisioning or regulating services remains more difficult to assess; here, it is mostly functional diversity or the presence of foundation or key species that is important. The relation between biodiversity and ecosystem services is, thus, possibly characterized by a critical threshold of biodiversity. More important than biodiversity per se are the species composition and structure of ecological communities of biodiversity.

Was sind Ökosystemprozesse und -leistungen?

Im Allgemeinen wird eine direkte Beziehung zwischen lokaler oder regionaler Biodiversität und Ökosystemleistungen (s. Box) für Nutzer angenommen. Die Datenlage hierzu zeichnet jedoch ein weniger deutliches Bild. Die Beziehung zwischen Biodiversität und Ökosystemprozessen ist nicht linear. Es wäre zu stark simplifizierend, davon auszugehen, dass eine höhere Biodiversität (meist verstanden als »Artenvielfalt«) in eine höhere Zahl und größere Stabilität von Ökosystemprozessen übersetzt wird. Anthropozentrisch aus Prozessen abgeleitete Ökosystemfunktionen – oder das Funktionieren (die Integrität) von Ökosystemen (s. Box) – hängen somit ebenfalls nicht direkt von der Biodiversität ab.

Biodiversität ist an sich als wertfrei zu betrachten (es existiert kein Bewertungsschema, das nicht eine anthropozentrische Betrachtung zugrunde legt) – sie verfügt allerdings über einen Eigenwert, der ihr vom Menschen zugeschrieben wird. Diese anthropozentrische Wertschätzung ist v.a. in kulturellen Ökosystemleistungen begründet: wir nutzen und schätzen »die Natur« bzgl. ihres Erinnerungswertes oder als Quelle der Erholung und Entspannung. Jedoch ist in europäisch-westlichen Zivilisationen sehr umstritten, ob der Biodiversität ein Wert zuzuschreiben ist (ESER et al. 2014). Es wird allerdings debattiert (z.B. DELIÈGE & NEUTELEERS 2014), dass Biodiversität um ihrer selbst willen, aus moralisch-ästhetischen Gründen schützenswert ist. Dem halten Andere (z.B. CIMON-MORIN et al. 2014) ent-

BOX

Biodiversität (BD – *biodiversity*): Vielfalt der belebten Welt, einschließlich (innerartlicher) genetischer Diversität, Artenvielfalt (Gemeinschaftszusammensetzung und -struktur) und Ökosystemvielfalt; taxonomische Diversität bezieht sich auf die Zahl von Arten (oder anderen taxonomischen Einheiten), während die heutzutage in der Ökologie und Ökosystem- oder Biodiversitätsforschung als wichtiger betrachtete funktionale Diversität die Vielfalt der ökologischen oder ökosystemaren »Funktionen« von Arten (oder Individuen) beschreibt.

Biotische Interaktionen (BI – *biotic interactions*): Organismen interagieren miteinander – sowohl inner- als auch zwischenartlich – z.B. in Konkurrenz-, Förderungs-, Prädations-, mutualistischen und parasitischen Beziehungen.

Dienstleister (SPU – *service-providing units*): Gruppen interagierender Organismen (Individuen, Populationen, Gemeinschaften), die gemeinsam die funktionale Grundlage für Leistung der Ökosysteme liefern.

Ökosystemprozesse (EP – *ecosystem processes*): physikalische, chemische und biologische Vorgänge (Aktivitäten, Reaktionen), die Organismen mit ihrer Umwelt verbinden, z.B. Produktion oder Dekomposition.

Ökosystemfunktionen (EF – *ecosystem functions*): Ökosystemprozesse können zu dem führen, was Menschen von Ökosystemen als Angebot erwarten; eine von vielen Funktionen von Ökosystemen ist die Bereitstellung von Gütern und Leistungen, die menschliche Bedürfnisse – direkt oder indirekt – befriedigen (DE GROOT 1992)

Ökosystemintegrität (*ecosystem-functioning*): Ökosystemprozesse garantieren gemeinsam das Funktionieren eines Ökosystems als Einheit, die Leistungen erbringt.

Ökosystemleistungen oder -dienstleistungen (ES – *ecosystem services*): Nutzen von Ökosystemen für den Menschen (oder für von Menschen genutzte Ökosysteme), die dazu beitragen, menschliches Leben sowohl möglich als auch lebenswert machen (COSTANZA et al. 1997; DÍAZ et al. 2006; LAYKE et al. 2012; VAN OUDENHOVEN et al. 2012; VO et al. 2012); unterstützend: z.B. Bodenbildung, Steuerung von Nährstoffkreisläufen und Energieflüssen; versorgend: z.B. Zurverfügungstellung von Rohstoffen, Nahrung oder Wasser; regulierend: z.B. Schutz vor Überflutung, Austrocknung, Verwüstung oder Krankheiten; kulturell: z.B. Möglichkeiten für Erholung, Ausübung von religiösen oder spirituellen Aktivitäten, oder andere nicht-materielle Nutzen.

Gründerarten (*foundation species*): Dominante Arten, die durch ihre Individuendichte und Biomasse einen großen Einfluss auf andere Arten – und somit die Gemeinschaftszusammensetzung und Biodiversität – haben (DAYTON 1972); Gründerarten sind häufig Primärproduzenten (Pflanzen).

Schlüsselarten (*keystone species*): Arten, die durch intensive zwischenartliche Interaktionen oder indirekte Folgen ihrer Aktivität einen großen Einfluss auf andere Arten – und somit die Gemeinschaftszusammensetzung und Biodiversität – haben (PAINE 1966; POWER et al. 1996); Schlüsselarten können selten sein und sind häufig Prädatoren.

Ökosystem-Ingenieure (*ecosystem engineers*): Einige Gründer- (oder selten Schlüsselarten) schaffen, verändern oder bewahren physikalische Habitats (und deren Eigenschaften) für sich selber und andere Arten, indem sie die abiotische Umwelt gravierend beeinflussen (JONES et al. 1994).

Flaggschiffarten (*flagship species*): prominente, attraktive, charismatische Tier- oder Pflanzenarten, die sich aufgrund ihrer Bekanntheit oder Beliebtheit als Sympathieträger in der Werbung für den Naturschutz eignen; häufig spielen sie eine untergeordnete Rolle für das »Funktionieren« des Ökosystems.

gegen, dass der Schutz von Biodiversität u.U. dem Wohlergehen lokaler menschlicher Gesellschaften entgegenwirken kann. Eine Ausrichtung von Schutzmaßnahmen an Ökosystemleistungen (unter Berücksichtigung der Biodiversität *per se*) dagegen würde den Naturschutz mit den Bedürfnissen der betroffenen Menschen in Einklang bringen. Die Autoren dieses Kapitels schließen sich der letztgenannten Meinung an.

Entsprechend sind auch Ökosystemprozesse *per se* wertfrei – erst durch eine anthropozentrische Betrachtung dieser Prozesse als »Ökosystemfunktionen« (*ecosystem functions*), die den von uns genutzten »Ökosystemleistungen« (*ecosystem services*) zugrunde liegen, wird eine bewertende Einteilung von Ökosystemen in solche, die »funktionieren« (*ecosystem-functioning*), und solche, die nicht funktionieren (also die erwarteten Leistungen nicht erbringen), möglich.

Aus ökosystem-theoretischer Sicht scheinen Systeme, die durch gut funktionierende interne Kreisläufe

weitgehend autark von anderen Systemen sind, in ihrer Funktionalität einerseits unabhängig, andererseits aber anfällig gegen Störungen zu sein: vernetzte Ökosysteme, die über die Subsidiarität von Organismen oder Nährstoffen in Verbindung stehen, können dem möglicherweise entgegenwirken und damit einen Wert bzgl. der Stabilität von Ökosystem- und übergreifenden Prozessen erhalten. Ökosysteme mit gesättigter Artenvielfalt werden ebenfalls häufig als wertvoll wahrgenommen, da sie als stabil gegen Störungen von außen gelten.

Biodiversität als Treiber von Ökosystemprozessen?

Biodiversität beinhaltet neben der Artenvielfalt auch die genetische Vielfalt innerhalb der Arten (intraspezifische Diversität) – aus funktionaler Sicht ist letztere ähnlich zu betrachten wie erstere: wenn eine Beziehung zwischen Diversität und Funktionalität besteht, erhöht die intraspezifische Diversität die Vielfalt organismisch

gesteuerter Prozesse und fördert damit potenziell das »Funktionieren« des Ökosystems. Im Folgenden werden wir uns auf eine Betrachtung der Artenvielfalt beschränken, weisen jedoch ausdrücklich darauf hin, dass innerartliche Vielfalt von ähnlicher Bedeutung sein kann. Insbesondere für Gründerarten (s. Box) könnte ein besseres Verständnis der intraspezifischen genetischen Diversität helfen, Ökosystemprozesse besser zu verstehen (WHITHAM et al. 2006).

Die Bedeutung der Biodiversität für das »Funktionieren« von Ökosystemen wird seit Jahrzehnten kontrovers diskutiert (z.B. SHEAR McCANN 2000). Zahlreiche Studien wurden durchgeführt, um eine Beziehung zwischen der Artenzahl und -vielfalt und Ökosystemprozessen oder -leistungen aufzudecken – und lieferten weitgehend widersprüchliche Befunde, je nachdem, welche Arten, Systeme oder Leistungen betrachtet wurden. Mit zunehmender Zahl von Arten, die sich in ihrer Ökologie und Physiologie unterscheiden, in einer Lebensgemeinschaft steigt die Komplexität von Prozessen und Interaktionen, die der Ökosystemfunktion zugrunde liegen (funktionale Diversität). Zugleich wächst die Wahrscheinlichkeit, dass Arten koexistieren, die einander ähneln und somit in ähnlicher Weise zu Ökosystemprozessen beitragen (funktionale Redundanz). Das (lokale) Aussterben einer Art könnte in einer diversen Lebensgemeinschaft also funktional dadurch aufgefangen werden, dass eine andere (ökologisch-physiologisch ähnliche) Art die freiwerdende Rolle für die funktionale Integrität des Systems übernimmt. Zugleich ist es in einer diversen Lebensgemeinschaft wahrscheinlicher, dass unterschiedliche (funktional redundante) Arten unterschiedlich auf Umweltveränderungen reagieren. Mit zunehmender Artenzahl steigt also wahrscheinlich die Stabilität oder Toleranz eines Ökosystems gegen Störungen – Biodiversität hat in diesem Konzept einen Versicherungswert für Ökosystemleistungen.

Eine Sonderstellung nehmen in diesem Zusammenhang gebietsfremde Arten (Neobiota) ein, die mittlerweile sowohl in anthropogen-geprägten (Garten-, Wald- und Ackerbau: z.B. Kartoffeln oder Tomaten) als auch natürlichen Lebensräumen zunehmend vertreten sind. Neobiota können u.U. (lokal) ausgestorbene Arten funktional ersetzen; wenn jedoch, wie häufig der Fall, spezifische Interaktionen mit anderen Arten für das »Funktionieren« des Ökosystems von Bedeutung sind, können Neobiota deren funktionale Rolle nicht übernehmen. Einige Neobiota erweisen sich zudem als invasiv und verdrängen einheimische Arten, tragen somit zur Destabilisierung des Systems bei. Andererseits trägt die Sättigung einer Lebensgemeinschaft mit artspezifischen »ökologischen Funktionen« entschei-

dend dazu bei, dass sich Neobiota nicht etablieren können. Der Verlust von funktionell wichtigen Arten könnte also den Weg für gebietsfremde Arten mit ähnlichen Eigenschaften ebnen.

Wichtiger als die reine Artenzahl sind die Eigenschaften koexistierender Arten bzw. deren Diversität (funktionale Diversität; s.o.). Zahlreiche Ökosysteme basieren in ihrer Struktur und Komplexität auf wenigen Gründerarten (s. Box) – häufig Pflanzen (z.B. Seegrass, Mangroven), die bestandsbildend sind und durch ihre Anwesenheit die Umwelt zugunsten der Ansiedlung und des Überlebens anderer Arten verändern. Gehen solche Ökosystem-Ingenieure (s. Box) verloren, können ganze Ökosysteme zusammenbrechen. Andererseits können auch seltene Arten die Beschaffenheit (und damit Funktionalität und Stabilität) eines Ökosystems tiefgreifend beeinflussen. Solche Schlüsselarten (s. Box) kontrollieren häufig als Prädatoren die Zusammensetzung der Lebensgemeinschaft und wirken so regulierend auf Ökosystemleistungen. Artenvielfalt garantiert also nicht unbedingt die ökologische Stabilität eines Systems, und es sind zahlreiche artenarme Systeme bekannt, die dennoch tolerant oder resilient gegen gemäßigte Umweltveränderungen sind und »funktionieren« (z.B. Seegrasswiesen der gemäßigten Breiten; Salzmarschen der nordamerikanischen Atlantikküste). Möglicherweise sind solche Ökosysteme jedoch anfälliger gegen den Verlust bereits weniger Arten – z.B. wird diskutiert, ob bei Unterschreiten eines system-spezifischen Schwellenwerts der Artenzahl die Funktionalität des Systems verlorengeht. Allerdings lässt sich ableiten, dass der Verlust unterschiedlicher Arten sich unterschiedlich auf Ökosystemprozesse und -leistungen auswirken wird.

Wirtschaftliche Bedeutung: Biodiversität und Ökosystemleistungen

Traditionelle subsistenzorientierte Kulturen hängen von der Vielfalt nutzbarer Ressourcen ab. Entsprechend scheint es einen Zusammenhang zwischen der Vielfalt unterschiedlicher Techniken zur Ressourcennutzung (zumeist Tier- oder Pflanzenprodukte) und der Vielfalt der Naturprodukte (Vielfalt von Ökosystemleistungen) zu geben. Die Beziehung zwischen Biodiversität und Ökosystemleistungen liegt hier auf der Hand.

Regionen mit hoher Biodiversität (v.a. in den Tropen und Subtropen) zeichnen sich häufig gleichzeitig durch eine hohe Zahl indigener traditioneller Bevölkerungsgruppen aus – die weitaus überwiegende Mehrzahl aller potenziell nutzbaren biologischen Ressourcen befindet in deren direktem Zugriff (VON HAHN 2004). Allerdings konnte ein direkter Zusammenhang zwischen biologischer und kultureller Vielfalt bislang nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Die intensivierte Nutzung von Naturprodukten als Nahrungsgrundlage hingegen hängt nur bedingt von der Artenvielfalt der Agrar-, Silvikultur- oder Aquakultursysteme ab. Tatsächlich sind moderne land- und forstwirtschaftlich genutzte Flächen oder Aquakulturen meist ausgesprochen artenarm – zumindest bezüglich der gezielt eingesetzten Arten. Allerdings hängen diese künstlichen Systeme von der externen Zufuhr von Nährstoffen und oft auch Wasser ab. Nicht zu vernachlässigen sind jedoch assoziierte und Folgearten (z.B. die Vielzahl von Organismen in Böden oder Sedimenten), die sich ohne menschliches Zutun ansiedeln, deren Bedeutung für das Funktionieren der genutzten Systeme aber zumeist unverstanden ist.

Fast die gesamte weltweite Produktion pflanzlicher Nahrungsmittel basiert auf wenigen Dutzend Arten, während tausende von Pflanzenarten essbar sind. Viele der derzeit landwirtschaftlich genutzten Pflanzen sind Neobiota. Gerade in Zeiten des Klimawandels und sich ausbreitender Krankheiten und Schädlinge scheint es riskant, die Ernährung der Weltbevölkerung auf ein derart schmales Fundament zu gründen. Zahlreiche dieser Arten profitieren in ihrer Fortpflanzung von der Vielfalt bestäubender Insekten; ein Rückgang der Diversität dieser letztgenannten wichtigen Ökosystemkomponenten (z.B. durch Pestizideinsatz oder Krankheiten) hätte schwerwiegende Folgen für die Nahrungsmittelproduktion.

Vermutlich sind zahlreiche – bislang wenig untersuchte oder gar noch unbekannte Arten – potenziell wichtig als Fundgruben für (Arznei-)Wirkstoffe, oder als Quelle für landwirtschaftliche Züchtung oder die Biotechnologie. Die wirtschaftliche Bedeutung des Verlusts dieser Arten ist schwierig abzuschätzen.

Eine Abschätzung der wirtschaftlichen Folgen des Biodiversitätsverlusts (hinsichtlich eingeschränkter Ökosystemleistungen) kann schwierig sein, da der Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemprozessen und -leistungen nicht linear ist (s.o.), sondern häufig durch Schwellenwerte charakterisiert ist: eine deutliche Abnahme im Leistungsangebot der Ökosysteme erfolgt häufig erst nach Erreichen dieser Kipp-Punkte (*tip-ping-points*), d.h. der anfängliche Verlust weniger Arten zeigt keine Wirkung, und erst, wenn eine untere Schwelle der Artenzahl oder funktionalen Diversität unterschritten wird, brechen einzelne oder alle Ökosystemleistungen zusammen. In vielen Fällen ist unser Verständnis des »Funktionierens« betroffener Ökosysteme noch völlig unzureichend für eine solche Abschätzung.

Ein interessanter Ansatz, der ggf. sogar unabhängig von einer Quantifizierung der tatsächlich angebotenen Leistungen ist, besteht darin, die Bereitschaft der direkten oder indirekten Nutznießer der Ökosystemleistungen, für diese zu bezahlen, abzuschätzen

(BAUMGÄRTNER 2007, BARKMANN et al. 2007). Sozial-ökologische Analysen und sozialwissenschaftliche Befragungen und Präferenzversuche werden angewandt, um das Nutzungsverhalten und die Bedeutung der Ökosystemleistungen für Landnutzer und Interessenvertreter (*stakeholders*) zu quantifizieren.

Folgen von Veränderungen der Lebensgemeinschaft

Aus den vorhergehenden Überlegungen lässt sich ableiten, dass häufig weniger die Biodiversität selbst entscheiden für das »Funktionieren« eines Ökosystems ist, sondern vielmehr die Artenzusammensetzung und Struktur der Lebensgemeinschaft. Zwar zeigt eine Vielzahl von Studien, dass eine Abnahme der Biodiversität sich in veränderten Ökosystemeigenschaften widerspiegelt. Häufig ist jedoch das Vorhandensein bestimmter Arten – Gründer- oder Schlüsselarten, Ökosystem-Ingenieure (s. Box) – entscheidend (s.o.), und das Hinzufügen weiterer Arten führt weder zu einer Förderung von Ökosystemprozessen noch zu einer Steigerung der Stabilität der Lebensgemeinschaft (z.B. TREPLIN et al. 2013, sowie darin zitierte Literatur). Wenn Gründer- oder Schlüsselarten betroffen sind, kann schon der Verlust weniger Arten zum Kollaps des Systems und dem Verlust wichtiger Ökosystemleistungen führen, während der Ausfall redundanter Arten möglicherweise keinen merklichen Effekt zeigt.

Neben veränderter Landnutzung (weltweite Abholzung von Wäldern und die Umwandlung natürlicher Ökosysteme in Landwirtschaftsflächen), der Belastung von Böden und Gewässern mit Stickstoff (und anderen Nähr- und Giftstoffen) durch Kunstdünger, Abwässer und die Verbrennung fossiler Energieträger und der Zunahme des Kohlendioxidgehalts der Atmosphäre (Folge: Ozeanversauerung), stellt der Klimawandel (v.a. Temperatur und Niederschlag, aber auch Winde, die sich auf die Verbreitung von Samen und juvenilen Stadien im Wasser und in der Luft auswirken) einen der größten Treiber von Veränderungen der Biodiversität dar. Zahlreiche Pflanzen- und Tierarten gelten als direkt oder indirekt durch den Klimawandel regional oder gar global vom Aussterben bedroht (URBAN 2015). Während die Bedrohung von Eisbären und Pinguinen durch das Abschmelzen der polaren Eismassen in den Medien und unter Wissenschaftlern kontrovers diskutiert wird, gilt das wärmebedingte großflächige Ausbleichen und Absterben von Korallen als Bedrohung für die Vielfalt der tropischen Fische, die in Korallenriffen leben (ein ökonomisch wichtiger Aspekt des Tauch- und Öko-Tourismus). Pflanzen und Tiere reagieren unterschiedlich und artspezifisch auf die immer wärmeren Winter und früher beginnenden Frühlingstemperaturen,

so dass zwischenartige Wechselwirkungen vom Klimawandel betroffen sind – der resultierende Verlust der zeitlichen Übereinstimmung kann sowohl für Fische (z.B. Kabeljau) als auch für Zugvögel dazu führen, dass Jungtiere nicht ausreichend Nahrung finden. Der Verlust einer Art hat häufig Konsequenzen für zahlreiche andere Arten, die potenziell von Bedeutung für Ökosystemprozesse sind. Allerdings werden einige Arten bezüglich ihrer Verbreitung und ihrer lokalen Konkurrenzstärke vom Klimawandel profitieren: Mediterrane Tier- und Pflanzenarten (z.B. der Bienenfresser, *Merops apiaster*, oder die südeuropäische Feuerlibelle, *Crocothemis erythraea*) werden zunehmend nördlich der Alpen gefunden und scheinen dort stabile Populationen zu bilden. So dehnen subtropische Mangrovenwälder derzeit ihre nördlichen (z.B. *Avicennia germinans* in Florida) oder südlichen (z.B. *A. marina* in Neuseeland) Verbreitungsgrenzen polwärts aus. Auch wärmeliebende Schädlinge (z.B. der Eichenprozessionsspinner, *Thaumetopoea processionea*) oder potenzielle Krankheitsüberträger (z.B. die Asiatische Tigermücke, *Aedes albopictus*) gehören zu den Arten, die vom Klimawandel zu profitieren scheinen. Die Folgen für die bislang vorherrschende lokale Flora und Fauna, deren Diversität und den davon abhängenden Ökosystemprozessen und -leistungen scheinen vorhersagbar, wurden aber bislang nur unzureichend untersucht.

Der Klimawandel kann zwar lokal oder regional zum Verlust einzelner Arten oder Artengruppen (sowie deren »Funktionen« im Ökosystem) führen, resultiert jedoch meist in einer Verschiebung (entlang der Nord-Süd-Achse oder von Höhengradienten) der Verbreitungsgebiete dieser Arten. Kleinräumig ist dies nicht vom Aussterben zu unterscheiden, global betrachtet jedoch sowohl ökologisch als auch ethisch klar vom Aussterben dieser Arten zu trennen.

Auch die Einführung gebietsfremder (»exotischer«) und invasiver Arten (Neobiota) wird in diesem Zusammenhang häufig als Ursache für Biodiversitätsverlust genannt – von offensichtlichen Auswirkungen auf lokale Lebensgemeinschaften (z.B. infolge der Ausbreitung des Drüsigen Springkrauts, *Impatiens glandulifera*, oder des Japanischen Staudenknöterichs, *Reynoutria japonica*) abgesehen, sind die tatsächlichen Folgen von Arteninvasionen auf die regionale Biodiversität in vielen Fällen ungeklärt. Während die häufigste Ursache für das Auftreten gebietsfremder Arten bislang das direkte – gezielt oder ungewollt – Einführen dieser Arten in neue biogeografische Regionen war, wird die o.g. Verschiebung von Verbreitungsgebieten infolge von Klimaveränderungen als Ursache für das erstmalige Vorkommen von Arten in neuen Lebensräumen mehr und mehr an Bedeutung gewinnen – allerdings nicht auf globaler Ebene, son-

dern lediglich innerhalb biogeografischer Regionen (s. Kap. 4.11 - BARBOZA & FRANZ - das Beispiel der Ostsee nach der letzten Kaltzeit). Bislang gebietsfremde Arten können somit – so lange sie nicht invasiv sind oder werden, weil Konkurrenten, Parasiten oder Fressfeinde fehlen – lokal oder regional sogar zu einer Erhöhung der Biodiversität beitragen. Welche Auswirkungen dies auf das Verschwinden oder die Einführung neuer Ökosystemleistungen hat, ist weitgehend unbekannt. Da häufig zwischenartige Wechselwirkungen die Treiber von Ökosystemprozessen sind, diese aber zwischen einheimischen und gebietsfremden Arten nicht immer gegeben sind, scheint eine Bereicherung lokaler Ökosysteme durch Neobiota insgesamt eher unwahrscheinlich. Ökologische Überraschungen (*ecological surprises*: KING 1995; PAINE et al. 1998) können jedoch zu unerwarteten Steigerungen der Ökosystemfunktionen führen.

Die (räumliche) Planung und das Management von Schutzgebieten und deren räumlichen Netzwerken zum Erhalt von Biodiversität und Ökosystemleistungen müssen diesen Veränderungen der Verbreitung und ggf. von Wanderbewegungen oder Fortpflanzungsverhalten oder -vorgängen Rechnung tragen. Vor allem solche Habitats müssen geschützt und vernetzt werden, die unter Berücksichtigung von Landnutzungs- und Klimaveränderungen sowie biotischen Interaktionen, als zukünftige Lebensräume für Gründer- und Schlüsselarten und Dienstleister prognostiziert werden. Wichtiger als taxonomische Artenvielfalt wird die funktionelle Diversität zukünftiger Lebensgemeinschaften sein.

Von größerer Bedeutung als die direkte (und nicht immer offensichtliche) Bedeutung der Biodiversität für Ökosystemleistungen ist möglicherweise die von der zwischenartigen und innerartigen Diversität abhängige Stabilität von Ökosystemen und ihrer Prozesse und Leistungen gegen anthropogene Störungen. Es besteht dringender Forschungsbedarf, damit wir die Beziehungen zwischen Biodiversität, Ökosystemprozessen und Ökosystemleistungen besser verstehen: Was bedeutet der Verlust der inner- und zwischenartigen Diversität von Gemeinschaften? Welche Folgen haben Verluste einzelner Arten mit besonderer Bedeutung (z.B. für Interaktionen mit anderen Arten) für die Struktur der Gemeinschaft und ihre damit verbundene Veränderung? Was sind die Konsequenzen eines – gewollten oder ungewollten – Hinzufügens neuer Arten in stabile, resiliente oder auch instabile Gemeinschaften?

Fazit

Der anhaltende Verlust der Biodiversität in vielen Lebensräumen weltweit infolge menschlicher Aktivitäten ist sowohl ethisch als auch funktional bedenklich. Auch wenn Biodiversität wertfrei ist, wird ihr vom Menschen

aus vielerlei Gründen große Bedeutung beigemessen. Insbesondere bezüg. genutzter Ökosystemleistungen scheint ein direkter Zusammenhang zwischen einzelnen Arten oder Lebensgemeinschaften und dem Wert von Ökosystemen für den Menschen zu bestehen. Charismatische Arten tragen häufig zur Wertschätzung bestimmter Ökosysteme für den Menschen bei, und deren Aussterben würde verbreitet als großer Verlust wahrgenommen – aus diesem Grund eignen sich diese Arten (z.B. Eisbären, Pandas, Wale oder Haie, Orchideen) hervorragend für das Werben für Naturschutz, auch wenn ihre ökologische Bedeutung nur gering sein mag. Die wirtschaftliche Bedeutung dieser Arten ist aber oft überdurchschnittlich hoch, da viele Menschen (in der westlich geprägten Welt) bereitwillig große Beträge für den Schutz dieser Arten spenden. Weniger eindeutig ist die Relevanz der Biodiversität für unterstützende, versorgende oder regulierende Ökosystemleistungen. Wichtiger als die taxonomische Diversität scheint hier möglicherweise die funktionale Diversität oder aber die Existenz von Gründer- oder Schlüsselarten zu sein. Während ein direkter Zusammenhang zwischen Biodiversität und Ökosystemleistungen möglicherweise nicht existiert oder zumindest nicht linear ist, sondern durch kritische Schwellenwerte charakterisiert ist, besteht weitgehende Übereinstimmung darüber, dass die Zuverlässigkeit des »Leistungsangebotes« bestimmter Ökosysteme durch die intra- und interspezifische Diversität der koexistierenden Organismen beeinflusst wird. Auch (natürlich) artenarme Systeme können jedoch zuverlässig Ökosystemleistungen erbringen und resilient auf Umweltveränderungen reagieren. Zahlreiche grundlegende Fragen zur Beziehung zwischen Biodiversität und Ökosystemleistungen sind noch weitgehend unbeantwortet, und gezielte Forschungsaktivitäten in diese Richtung sind dringend geboten.

Literatur

- BARKMANN, J. K., GLENK, H., HANDI, L., SUNDAWATI et al. (2007): Assessing economic preferences for biological diversity and ecosystem services at the Central Sulawesi rainforest margin – a choice experiment approach. In: TSCHARNTKE, T., C. LEUSCHNER, M. ZELLER, E. GUHARDJA & A. BIDIN (eds). Stability of tropical rainforest margins: Linking ecological, economic and social constraints of land use and conservation. Springer, Berlin: 181-208.
- BARTKOWSKI, B., N. LIENHOOP & B. HANSJÜRGENS (2015): Economic valuation of biological diversity - A critical review of valuation studies. *Ecological Economics* 113: 1-14.
- BAUMGÄRTNER, S. (2007): The insurance value of biodiversity in the provision of ecosystem services. *Natural Resource Modeling* 20: 87-127.
- CIMON-MORIN, J., M. DARVEAU & M., POULIN (2014): Ecosystem services expand the biodiversity conservation tool-

- box – A response to Deliége and Neuteleers. *Biological Conservation* 172: 219-220.
- COSTANZA, R., R. D'ARGE, R. S. DE GROOT, S. FARBER, M. GRASSO et al. (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253-260.
- DAYTON, P. K. (1972): Toward an understanding of community resilience and the potential effects of enrichments to the benthos at McMurdo Sound, Antarctica. In: PARKER B. C. (ed.). *Proceedings of the colloquium on conservation problems in Antarctica*. Allen Press: Lawrence, Kansas. 81-96.
- DE GROOT, R. S. (1992): Functions of nature: Evaluation of nature in environmental planning, management and decision making. Wolters-Noordhoff: Groningen.
- DELIÈGE, G. & S. NEUTELEERS (2014): Ecosystem services as an argument for biodiversity preservation: why its strength is its Problem – reply to Cimon-Morin et al. *Biological Conservation* 172: 218.
- DIÁZ, S., J. FARGIONE, F. CHAPIN & D. TILMAN (2006): Biodiversity loss threatens human well-being. *PLoS Biology* 4(8): e277.
- ESER, U., A.-K. NEUREUTHER, H. SEYFANG & A. MÜLLER (2014): Prudence, justice and the good life: a typology of ethical reasoning in selected European national biodiversity strategies. Bundesamt für Naturschutz, Bonn 2014.
- JONES, C. G., J. H. LAWTON & M. SHACHAK (1994): Organisms as ecosystem engineers. *Oikos* 69: 373-386.
- KING, A. (1995): Avoiding ecological surprise: Lessons from long-standing communities. *Acad Manage Rev* 20: 961-985.
- LAYKE, C., A. MAPENDEMBE, C. BROWN, M. WALPOLE et al. (2012): Indicators from the global and sub-global Millennium Ecosystem Assessments: an analysis and next steps. *Ecological Indicators* 17: 77-87.
- PAINE, R. T. (1966): Food web complexity and species diversity. *American Naturalist* 100: 65-75.
- PAINE, R. T., M. J. TEGNER & E. A. JOHNSON (1998): Compounded perturbations yield ecological surprises. *Ecosystems* 1: 535-545.
- POWER, M. E., D. TILMAN, J. A. ESTES, B. A. MENGE et al. (1996): Challenges in the quest for keystones. *BioScience* 46: 609-620.
- SHEAR MCCANN, K. (2000): The diversity–stability debate. *Nature* 405: 228-233.
- TREPLIN, M., S. C. PENNINGS & M. ZIMMER (2013): Decomposition of leaf litter in a U.S. saltmarsh is driven by dominant species, not species complementarity. *Wetlands* 33: 83-89.
- URBAN, M. C. (2015): Accelerating extinction risk from climate change. *Science* 348: 571-574.
- VAN OUDENHOVEN, A. P. E., K. PETZ, R. ALKEMADE, L. HEIN et al. (2012): Framework for systematic indicator selection to assess effects of land management on ecosystem services. *Ecological Indicators* 21: 110-122.
- VO QT, KUENZER, C., Q. M. VO, F. MODER et al. (2012): Review of valuation methods for mangrove ecosystem services. *Ecological Indicators* 23: 431-446.
- VON HAHN, A. (2004): Traditionelles Wissen indigener und lokaler Gemeinschaften zwischen geistigen Eigentumsrechten und der public domain. Springer: Berlin.
- WHITHAM, T. G., J. K. BAILEY, J. A. SCHWEITZER, S. M. SHUSTER et al. (2006): A framework for community and ecosystem genetics: from genes to ecosystems. *Nature Reviews Genetics* 7: 510-523.

Kontakt:

Prof. Dr. Martin Zimmer

Dr. Véronique Helfer

Leibniz-Zentrum für Marine Tropenökologie (ZMT), Bremen
martin.zimmer@leibniz-zmt.de

Zimmer, M. & V. Helfer (2016): Biodiversität, Ökosystemprozesse und Ökosystemleistungen. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. pp. 297-302. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.48.