



Ewald Weber Warum wir ohne Vielfalt
nicht leben können



Biodiversität



EBOOK INSIDE



Springer

Biodiversität – Warum wir ohne
Vielfalt nicht leben können

Ewald Weber

Biodiversität – Warum wir ohne Vielfalt nicht leben können

Mit einem Geleitwort von
Michael Succow



Springer

Ewald Weber
Biodiversitätsforschung/Spezielle Botanik
Universität Potsdam
Potsdam, Deutschland

ISBN 978-3-662-55623-8 ISBN 978-3-662-55624-5 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-662-55624-5>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland 2018

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung: Frank Wigger

Einbandabbildung: skampixelle / stock.adobe.com, Konstantin Mezherits / stock.adobe.com, radub85 / stock.adobe.com, arinahabich / stock.adobe.com, DWP / stock.adobe.com, kyslynskyy / stock.adobe.com, bennymarty / stock.adobe.com, Stefan Körber / stock.adobe.com, Sarote / stock.adobe.com, JUAN GAERTNER/
SCIENCE PHOTO LIBRARY

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer ist Teil von Springer Nature

Die eingetragene Gesellschaft ist Springer-Verlag GmbH Deutschland

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

Geleitwort

Seit kaum mehr als 30 Jahren beschäftigen sich Wissenschaftler, vor allem Biologen und Ökologen, mit dem neu geprägten Begriff Biodiversität.

Der rasante Verlust der Lebensfülle auf unserem Erdball bewegt inzwischen aber immer mehr Menschen, das Thema ist „auf den Marktplätzen angekommen“!

Wir in unserem vom Klima bislang so gesegnetem Mitteleuropa bemerken das vor allem in unserer Kulturlandschaft.

Das Schwinden der noch Mitte des letzten Jahrhunderts so reichen Artenfülle auf Äckern und Wiesen, in den Wäldern, an Flüssen und Seen und in den Mooren hat alle Teile unserer Landschaft erfasst, ist nicht mehr zu übersehen.

Hauptgrund ist eine Agrarindustrie, eine Landwirtschaft, die insbesondere im Osten Deutschlands schon

mehr als ein Drittel der Kulturlandschaft überformt hat mit all ihren ökologischen, sozialen und auch moralischen Folgen!

Die Schuld dafür ist nicht beim tätigen Landwirt zu suchen, sondern Ausdruck eines Wirtschaftssystems, das meint, schrankenlos wachsen zu müssen, die Arbeitsproduktivität steigern zu müssen, getrieben von Gewinnmaximierung, also Profitgier. Investieren ist angesagt, egal ob das zu Schaffende sinnvoll ist, gebraucht wird, verantwortlich ist.

In einer Welt mit sich immer stärker abzeichnenden globalen ökologischen Grenzen ist das nicht mehr zu akzeptieren.

Die Vernunft sagt uns, das ist zukunftslos, zerstört nicht nur die Würde des Menschen, die soziale Gemeinschaft, sondern zerstört auch die Funktionstüchtigkeit der Natur, des Naturhaushaltes und damit unsere Lebensgrundlagen.

Der Zustand der Welt, die Verwundbarkeit der großen Ökosysteme dieser Erde, ihre in Teilen bereits irreversible Zerstörung, der soziale Zusammenbruch ganzer Kulturen – und das stets im Verbund mit Kriegen, Entwurzelung, Flüchtlingsströmen – zwingt uns, Fragen des Erhalts des Kapitalstocks Natur um unserer selbst willen so grundsätzlich zu stellen.

Die anthropogen ausgelöste Überschreitung der planetaren Grenzen, vor allem wissenschaftlich festgemacht beim globalen Biodiversitätsschwund, aber auch die inzwischen unbeherrschten Nährstoffflüsse bei Stickstoff und Phosphor, ihre Deposition in allen Ökosystemen drängen, umzusteuern.

Warum schreibe ich diese Gedanken als Geleitwort für ein Buch, das sich dem Thema Biodiversität widmet?

Der Untertitel des Buches bringt es auf den Punkt: weil wir ohne Vielfalt nicht leben können!

Beim Lesen einzelner Kapitel, bei der Beschäftigung mit der Gesamtanlage des Buches ist zu spüren, dass es dem Autor gelungen ist, dieses große aktuelle Thema in seiner ganzen Komplexität zu erfassen und zu vermitteln, anschaulich nachvollziehbar.

Im besten Sinne ist es gelungen, ein populärwissenschaftliches Buch zu erarbeiten, das viele Menschen erreichen kann, erreichen sollte, erreichen muss.

Noch weist dieser, unser blauer Planet – wohl einmalig im Weltall – eine noch längst nicht von der Wissenschaft annähernd erfasste Lebensfülle auf, die sich, würden wir nicht stören, ständig weiter entfalten, zunehmen würde.

Finden wir zurück zum organismischen Denken, zum Begreifen, dass das Zusammenspiel der einzelnen Teile eines Organs, eines Ökosystems in seiner unendlichen Artenfülle, der Erfolg des Lebens ist, der Erfolg der Evolution.

Wir müssen endlich begreifen, der für den Fortbestand unserer Zivilisation so notwendige ausgeglichene Naturhaushalt, der auch die Basis für die Entfaltung der Menschheitsentwicklung der letzten 10.000 Jahre, des Holozäns, darstellte, ist unübersehbar gestört. Dabei müssen wir uns ins Gedächtnis rufen, die Kondition des ökologisch gebauten Hauses Erde war eine durch evolutionäre Prozesse ausgelöste, immer größer werdende Lebensfülle, die auch Extreträume eroberte, immer wieder neue Arten und auch neue Ökosysteme entstehen ließ.

Dieser Prozess hätte noch lange anhalten können. Nur wenn wir die menschliche Gesellschaft als Teil der Natur,

der Biosphäre und als Organismus verstehen, werden wir einen Platz haben.

Und ich habe trotz alledem Hoffnung, denn immer mehr Menschen befassen sich mit dem Thema Nachhaltigkeit. Der Umgang mit dem Stückchen Erde, der Natur, die uns umgibt, wird uns dabei zum Maßstab.

Finden wir wieder zurück zum Leitbild einer harmonischen Kulturlandschaft, in der Nützlichkeit, Vielfalt und Schönheit eine Einheit bilden, zusammengehören.

Wenn wir wieder ein emotionales, ein unmittelbares Naturverhältnis zurückgewinnen, kann es gelingen, gegen die Denaturierung unserer Umwelt und für den Fortbestand des Natürlichen, des von der Natur Geschaffenen erfolgreich zu kämpfen.

Naturbildung, Naturberührung, Naturerfahrung kommt deshalb eine Schlüsselrolle zu. Dieses Umdenken kann und muss vor allem bei unseren Kindern beginnen.

Dafür hilfreich sind möglichst ökologisch ausgerichtete Gärten, Bauernhöfe in Wirtschaftsweisen des organischen Landbaus. Denn hier wird Leben befördert, hier darf sich Leben entfalten, hier wird kein Krieg gegen die Natur geführt, hier ist auch Wildwuchs zugelassen. All dies schließt tiefe Liebe zur Natur ein, aus Liebe wächst Achtung, Verantwortung, das Einsetzen für ihren Fortbestand, und dazu ist vor allem ganzheitliches Denken gefordert.

Dieses Buch wird dazu sehr hilfreich sein.

Mai 2017

Michael Succow
Michael Succow Stiftung
zum Schutz der Natur
Greifswald

Vorwort

Biodiversität ist ein vielschichtiges und unübersichtliches Thema – unübersichtlich im wahrsten Sinne des Wortes. Als ich das erste Mal in einem tropischen Regenwald stand, einem Hotspot biologischer Vielfalt, war ich überwältigt von der Fülle an Blattformen, Lianen und Geräuschen. Alles erschien wie in einem riesigen Durcheinander. Palmblätter mischten sich mit sehr großen und kleineren Laubblättern, überall hingen dicke Stränge von Luftwurzeln und Lianen, ein schummriges Licht beherrschte die Szene. Ab und zu flatterte ein Schmetterling vorüber, und die Zikaden lärmten, was das Zeug hielt.

Nicht minder faszinierend ist eine Wüste mit ihrer dürrtigen, dafür bizarren Artenvielfalt. Unser Planet hat so viele Gesichter, dass man sich manchmal auf verschiedenen Welten wähnt. Warum eine solche Vielfalt? Und warum ist sie einerseits bedroht, andererseits für uns

Menschen unerlässlich? Das sind die Leitfragen des vorliegenden Buches.

Das Thema ist in aller Munde, in den Medien präsent, und es gibt viele politische Aktivitäten dazu. Wir haben seit 2012 das IPBES (Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services) als Pendant zum Weltklimarat IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Viele Nationen haben eine Biodiversitätsstrategie ausgearbeitet, und die EU hat Biodiversitätsziele für 2020 und 2050 formuliert.

Ich gehe auf die politischen Aktivitäten nur am Rande ein. Mein Anliegen ist das Vermitteln von Hintergründen und spannenden Forschungsergebnissen. Biodiversität ist spannend und zugleich schwer vorstellbar. Ich möchte den Leserinnen und Lesern zeigen, was es mit dem Gegenstand auf sich hat und warum viele Forschende über den Schwund an biologischer Vielfalt besorgt sind.

Vor einigen Jahren fragte mich eine Studentin in einer Vorlesung zu Grundlagen der Pflanzenökologie, warum Biodiversität so wichtig sei. Ich stutzte einen Moment – immerhin kam die Frage aus dem Mund einer Biologiestudentin, die Ökologievorlesungen besucht hat –, doch dann fiel mir die Antwort gar nicht leicht. Die Frage ist, warum viele Arten besser sind als wenige, und das zu vermitteln ist eine schwierige Aufgabe. Ich hoffe, mit dem vorliegenden Buch zur Antwort beitragen zu können.

Ohne die Hilfe anderer wäre das Buch nicht zustande gekommen. Danken möchte ich folgenden Kolleginnen und Kollegen, Forschende und Lehrende, für ihre Auskunft zu laufenden Projekten und ihren Arbeiten: Susanne Abel, Russell Cox, Nico Eisenhauer, Johannes Frisch,

Thomas Goreau, Werner Härdtle, Jasmin Joshi, Claudia Koch, Alexander Kocyan, Petra Lindemann-Matthies, Matthias Plattner, Peter Raven, Erik Rodner, Göran Thor, Philipp Schubert, Wolfgang Wägele.

Biodiversität ist zu einem wichtigen Forschungsgegenstand der Lebenswissenschaften geworden. Sicher gibt es zahlreiche Forscher im In- und Ausland, die hervorragende Ergebnisse veröffentlicht haben, die ich in meinem Buch aber nicht berücksichtigen konnte. Bei ihnen bitte ich um Nachsehen.

Frédéric Danet, K.-H. Frommolt, Sinuhe Hahn, Jasmin Joshi, Randolph Manderbach und Christoph Scherber stellten freundlicherweise Fotos zur Verfügung.

Schließlich geht mein Dank an Frank Wigger vom Springer Spektrum Verlag, der von Beginn an großes Interesse an dem Buch zeigte. Stella Schmoll unterstützte mich professionell während der Erstellung des Manuskriptes.

Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verwende ich in diesem Buch überwiegend das generische Maskulinum. Dies impliziert immer beide Formen, schließt also die weibliche Form mit ein.

Potsdam
April 2017

Ewald Weber

Inhaltsverzeichnis

1	Was ist Biodiversität?	1
----------	-------------------------------	----------

Teil I Artenreichtum

2	Von neu entdeckten Arten	19
3	Wo gibt es am meisten Arten?	35
4	Wie viele Arten gibt es wirklich?	51
5	Biomonitoring – klassisch und modern	63

**Teil II Vielfalt von den Genen bis zu
Lebensgemeinschaften**

6	Persönlichkeiten bei Tier und Pflanze	83
7	Lebensräume und Schicksalsgemeinschaften	99
8	Wohlfühlbereiche und die Organisation der Natur	111

Teil III Wie entsteht Biodiversität?

9	Wozu umfallende Bäume gut sind	127
10	Warum vernetzt sein so wichtig ist	143
11	Meilensteine der Evolution	157

Teil IV Was nützt uns Biodiversität?

12	Schatzkammer Natur	173
13	Gesund dank Biodiversität	189
14	Die Natur als Dienstleistungsbetrieb	203
15	Biodiversität gibt Sicherheit und Stabilität	219

Teil V Der Verlust an Biodiversität

16	Willkommen im Anthropozän	233
17	Leben in einer überdüngten Welt	245
18	Verlorene Arten hinterlassen Lücken	259
19	Aussterben gestern und heute	277

Teil VI Wie können wir Biodiversität retten?

20	Die Wahrnehmung fördern	295
21	Artenschutz, Lebensraumschutz	307
22	Von Grund auf neu	325
	Nachwort	337
	Stichwortverzeichnis	341

Über den Autor



Ewald Weber ist Biologe und Sachbuchautor. Aufgewachsen in der Schweiz, studierte er an der Universität Basel Biologie und promovierte im Fach Pflanzenökologie. Anschließend verbrachte er drei Jahre in Kalifornien, wo er seine Forschungen vertiefte. Nach der Rückkehr lehrte und forschte er zunächst an der ETH Zürich; seit 2008 ist er an der Universität Potsdam tätig. Weber ist international für seine Forschung im Bereich der Biodiversität und Pflanzenökologie bekannt und hat dazu zahlreiche wissenschaftliche

Artikel veröffentlicht. Der engagierte und begeisterungsfähige Forscher wagt gerne auch den Blick über den Tellerrand seiner Disziplin. Er hat bereits mehrere Sachbücher zu botanischen und ökologischen Themen geschrieben und hält öffentliche Vorträge. Sein Anliegen ist dabei das Vermitteln von Zusammenhängen und von Naturgeschichte im weitesten Sinn. Er versteht es, komplexe Sachverhalte anschaulich zu erklären.

1

Was ist Biodiversität?

Im September 1986 fand in der amerikanischen Stadt Washington D.C. eine wissenschaftliche Tagung statt, die in den Medien für Aufsehen sorgte. Das Thema Biodiversität stand auf dem Programm, und die Tagung war vielleicht die erste Konferenz auf diesem Gebiet. Etwa sechzig Fachleute nahmen teil, etliche Biologen und Professoren verschiedener Universitäten, Landwirtschaftsexperten, Ökonomen, Direktoren botanischer Gärten, aber auch Philosophen und Vertreter verschiedener Behörden.

Unter den Rednern befanden sich illustre Persönlichkeiten, die heute allesamt hochbetagt sind und auf ein reiches Leben zurückblicken können, so etwa der US-amerikanische Insektenkundler und Evolutionsbiologe Edward O. Wilson, der mit seinen populärwissenschaftlichen Büchern in weiten Kreisen bekannt geworden ist. 1929 geboren, ist er immer noch aktiv. Er ist Träger des

Pulitzerpreises, des höchsten Literaturpreises der Vereinigten Staaten, und die Carl von Ossietzky Universität Oldenburg verlieh ihm den Ehrendoktor.

Wilson gab 1988 ein Buch mit dem Titel *Biodiversity* heraus, das die Ergebnisse der Tagung zusammenfasst und eine Sammlung höchst brisanter Aufsätze enthält. Der US-amerikanische Paläontologe und Evolutionsbiologe Stephen Jay Gould (1941–2002) meinte zu diesem Buch:

Dies ist das umfangreichste Buch, verfasst von den berühmtesten Leuten, das jemals zu einem der wichtigsten Themen unserer Zeit publiziert wurde.

Worüber wurde an jenen Septembertagen gesprochen, die als Geburtsstunden des Begriffs „Biodiversität“ gelten?

Ein Warnruf

Die Tagung diente weniger dem Austausch von Wissenschaftlern untereinander, als vielmehr dazu, die Öffentlichkeit auf eine besorgniserregende Entwicklung aufmerksam zu machen: die anhaltende Zerstörung der Natur, den Raubbau an natürlichen Ressourcen, insbesondere das Roden tropischer Regenwälder und den damit verbundenen Artenschwund. Eine Warnung wurde ausgesprochen, eine klare Botschaft, sich des Problems bewusst zu werden und Maßnahmen zu ergreifen. Es sind düstere Zahlen, die präsentiert wurden, und es fielen deutliche Worte. Die Experten wussten, wovon sie sprachen.

Edward Wilson führte aus, welch immenses Ausmaß das Abholzen tropischer Regenwälder angenommen habe und welch weitreichende Konsequenzen dies haben werde. Madagaskar mit seiner einzigartigen Flora und Fauna habe 93 Prozent des Waldes verloren. In Ecuador sei seit den 60er-Jahren 95 Prozent der Waldfläche gerodet worden, um Raum für Bananenplantagen und Siedlungen zu schaffen. Der atlantische Küstenwald Brasiliens, der den jungen Darwin nach seiner Ankunft 1832 so beeindruckte, sei zu 99 Prozent verschwunden. Mit dem Abholzen tropischer Regenwälder gehe ein Aussterben von Pflanzen- und Tierarten einher, das seinesgleichen suche.

Paul R. Ehrlich meinte, dass das Bevölkerungswachstum gestoppt werden müsste. Der emeritierte Biologieprofessor von der Stanford University in Kalifornien wurde 1932 geboren und beschäftigt sich intensiv mit Fragen der Überbevölkerung. Die Hauptgründe für den Verlust an Diversität seien nicht die direkte Ausbeutung von Ressourcen, sondern die Zerstörung von Lebensraum, die mit dem Wachsen der Bevölkerung und ihren Aktivitäten einhergehe. Er wies auch auf die Bedeutung von Artenvielfalt hin, auf die unzähligen von uns gar nicht wahrgenommenen Arten [1, S. 21, Übersetzung des Autors]:

Viele der weniger niedlichen, weniger spektakulären Organismen, die *Homo sapiens* auslöscht, sind für die Zukunft des Menschen wichtiger als die meisten der bekannten gefährdeten Arten. Die Menschen brauchen Pflanzen und Insekten weitaus mehr als Leoparden und Wale (was nicht deren Wertschätzung schmälern soll).

Norman Myers, ein britischer Naturschutzbiologe und Professor an der Oxford University, Jahrgang 1934 und Vater einer Marathonläuferin, präsentierte Zahlen zur Rodung tropischer Regenwälder. Jedes Jahr würden 76.000 bis 92.000 Quadratkilometer Regenwald abgeholzt werden. Von den einst 15 Mio. Quadratkilometer Regenwald weltweit seien noch etwa 9 Mio. übrig. Myers schrieb zahlreiche Essays zu verschiedenen Umweltthemen und prangert vehement die nichtnachhaltige Landwirtschaft der Industrienationen an.

Ariel Lugo vom U.S. Department of Agriculture hingegen wies darauf hin, dass die Zahlen zu Rodungen viele Ungenauigkeiten aufweisen würden und dass die regionalen Begebenheiten einen großen Einfluss auf die Abholzungsraten hätten. Was es brauche, seien genaue und verlässliche Erhebungen vor Ort.

Hugh Iltis, Jahrgang 1925, war dafür bekannt, kein Blatt vor den Mund zu nehmen, wenn es um die Zerstörung von Natur geht. „Im Namen von Wachstum, Fortschritt und Entwicklung und mit unglaublichem Selbstvertrauen vernichten wir Menschen die letzten unberührten Landstriche und stauen die letzten wilden Flüsse, ohne uns der unersetzlichen biologischen Schätze, die dabei zerstört werden, bewusst zu sein“ [2, S. 99, Übersetzung des Autors], meinte er auf der Tagung. Iltis ist Botaniker und emeritierter Professor an der University of Wisconsin in Madison. Er wuchs in Brünn auf und floh im März 1939 vor den Nazis, kurz vor deren Invasion in der Tschechischen Republik. Im Laufe seiner Karriere in den USA sammelte er auf zahlreichen Expeditionen in

Südamerika Pflanzen, unter anderem Wildformen von Mais und Tomate, die für die Züchtung von größtem Wert waren.

Der Meeresbiologe Carlton Ray hingegen stellte interessante Gedanken zur globalen Artenvielfalt an. Die Ozeane seien noch so unerforscht, dass möglicherweise noch Tausende Arten von Meeresorganismen zu entdecken seien, vor allem in der Tiefsee. Man würde ständig von Regenwäldern und vom Land reden und dabei übersehen, dass die Erde ein Wasserplanet ist. Er glaube aber, dass die Küstenbereiche genauso rasch verändert und degradiert werden wie tropische Regenwälder.

Michael Soulé, emeritierter Professor von der University of California, gilt als Mitbegründer der Naturschutzbiologie als Wissenschaftszweig. Er setzt sich mit der praktischen Umsetzung von Arten- und Lebensraumschutz auseinander. Soulé wurde 1936 in San Diego, Kalifornien, geboren und ist überzeugter Zen-Buddhist. Auf der Tagung machte er klar, dass es eines grundsätzlichen Wandels der Einstellung des Menschen gegenüber Natur und Wildnis bedürfe. Nur wenn die Menschen eine tiefe Beziehung zur Natur hätten, könne auch eine nachhaltige Lebensweise ohne Raubbau verwirklicht werden.

Das sind nur ein paar wenige Stimmen dieser Tagung. Wie aktuell sie aber doch sind! Damit ist auch klar: Im Vordergrund der Tagung stand nicht Biodiversität, sondern die Zerstörung der Biodiversität.

Peter Raven, ehemaliger Direktor der „Missouri Botanical Gardens“ im US-Bundesstaat Missouri, erinnert sich (Raven 2016, mündliche Kommunikation):

Bemerkenswert war, dass praktisch alle, die damals über das Thema arbeiteten, mit all seinen verschiedenen Aspekten, anwesend waren und Vorträge hielten. Das Wort ‚Biodiversität‘ und die ersten Schätzungen des modernen Massenaussterbens von Arten wurden erst ein paar Jahre früher entwickelt, um 1980, und das öffentliche Interesse an der Biosphäre stieg. Die Konferenz war für mich ein Höhepunkt und zeigte uns, dass wir einer sehr unsicheren Zukunft entgegensehen und dass wir etwas dagegen tun sollten. Eine wunderbare Erinnerung jetzt nach dreißig Jahren!

Ein Wort geht um die Welt

Das Kunstwort „Biodiversität“ erlebte seit 1986 einen riesigen Aufschwung. Der durch das Zusammenziehen von „biologische Diversität“ entstandene Begriff bekam eine politische, wissenschaftliche, umgangssprachliche und philosophische Bedeutung. Er kursierte in Zeitungen und Magazinen, wurde in Fernsehen und Radio verwendet. Plötzlich sprach die ganze Welt von Biodiversität und der Notwendigkeit ihres Schutzes. Das Übereinkommen über die biologische Vielfalt wurde ins Leben gerufen, das Jahr 2010 wurde zum Internationalen Jahr der Biodiversität ernannt, und die Vereinten Nationen haben die Jahre 2011 bis 2020 zur UN-Dekade für die biologische Vielfalt erklärt. Hintergrund sei der anhaltende Rückgang an Biodiversität in fast allen Ländern der Erde. Die Dekade solle die Bedeutung der Biodiversität für unser Leben bewusst machen und Handeln anstoßen. So steht es auf der Webseite der UN. Hat sich also seit 1986 nichts geändert?

Der Begriff „Biodiversität“ bekam von Anfang an eine doppelte Bedeutung. Zum einen als Gegenstand, als Umschreibung der Vielfalt des Lebens auf der Erde (Abb. 1.1). Zum anderen als ein schützenswertes Gut, das vom Zerfall bedroht ist.

Viele Menschen haben aber immer noch Schwierigkeiten mit dem Begriff. Was genau ist Biodiversität? Eine Umfrage der Europäischen Kommission aus dem Jahre 2015 zeigte, dass die Mehrheit der Bevölkerung Deutschlands nichts damit anfangen kann. Auf die Frage „Haben Sie jemals den Begriff Biodiversität gehört?“ wählten etwa 65 Prozent der Befragten aus den vorgegebenen Antworten „Ich habe nie davon gehört“ aus. Lediglich 17 Prozent meinten „Ich habe davon gehört und weiß, was er bedeutet“. Das



Abb. 1.1 Biodiversität umfasst alle Aspekte des Lebens, von der Vielfalt der Gene bis zur Vielfalt der Landschaften. (© Christian Bieri/stock.adobe.com)

ist erstaunlich. Offensichtlich ist nicht genau klar, was mit dem Begriff gemeint ist und was er für unseren Alltag bedeutet.

Vielleicht liegt das daran, dass das Wort eine banale Selbstverständlichkeit zu beschreiben scheint. Nämlich, dass die Natur vielfältig und abwechslungsreich ist. Das wissen wir doch, sobald wir laufen gelernt haben, in Wald und Wiese spielen und die Welt erkunden. Die Definition von „Biodiversität“ gemäß dem Übereinkommen über die biologische Vielfalt umschreibt im Grunde genommen die gesamte Vielfalt der gesamten lebendigen Welt. Was ist da der Unterschied zu „Natur“ oder „Biosphäre“?

Exkurs: Biodiversität und das Übereinkommen über die biologische Vielfalt

Am 5. Juni 1992 fand in Rio de Janeiro eine UN-Konferenz zu Umwelt und Entwicklung statt, auch als Erdgipfel oder Rio-Konferenz bekannt. Hier wurde das Übereinkommen über die biologische Vielfalt abgeschlossen und zur Unterzeichnung durch die Mitgliederstaaten ausgelegt. Den Text des Übereinkommens verfassten eine Gruppe von Experten, die sich in den vorangegangenen Jahren mehrmals trafen. Seit 1992 haben über 190 Vertragsstaaten das Abkommen ratifiziert.

Das Übereinkommen über die biologische Vielfalt oder kurz CBD (aus dem Englischen „Convention on Biological Diversity“) definiert Biodiversität wie folgt [3]:

Biologische Vielfalt bedeutet 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.

In Art. 1 werden die Ziele des CBD umschrieben:

Die Ziele dieses Übereinkommens, die in Übereinstimmung mit seinen maßgeblichen Bestimmungen verfolgt werden, sind die Erhaltung der biologischen Vielfalt, die nachhaltige Nutzung ihrer Bestandteile und die ausgewogene und gerechte Aufteilung, der sich aus der Nutzung der genetischen Ressourcen ergebenden Vorteile, insbesondere durch angemessenen Zugang zu genetischen Ressourcen und angemessene Weitergabe der einschlägigen Technologien unter Berücksichtigung aller Rechte an diesen Ressourcen und Technologien sowie durch angemessene Finanzierung.

Somit geht es nicht nur um den Erhalt der Biodiversität, sondern auch um deren Nutzung. In Art. 8 und 9 werden konkrete Maßnahmen aufgelistet, die ein Staat umsetzen sollte, um die Ziele des CBD zu erreichen. Sie umfassen nicht nur den Schutz von natürlichen Lebensräumen und von Arten, sondern auch das Sanieren geschädigter Lebensräume und die Erhaltung gefährdeter Arten in botanischen und zoologischen Gärten. Die Maßnahmen seien durch eine Vertragspartei „soweit möglich und sofern angebracht“ durchzuführen, was den Staaten eine erhebliche Freiheit im Tun und Lassen bei der Umsetzung der Ziele erlaubt.

Es ist durchaus sinnvoll, ein Wort für die Gesamtheit des Lebendigen zu haben. Eine nahezu sterile Eiswüste im Hochgebirge ist schließlich genauso grandiose Natur wie die Serengeti mit all ihren Tierherden. Zur Natur oder zur Biosphäre gehören hingegen nicht nur die Lebewesen, sondern auch die vielen nicht biologischen Dinge wie Gesteine, Luft und Wasser. Aber schauen wir doch einmal Biologen über die Schulter, wenn sie Biodiversität erfassen.

Zählrahmen, genetischer Fingerabdruck, Satellitenortung

Es ist ein warmer Junitag auf der Nenzlingerweide im Schweizer Jura. Wissenschaftler und ein paar Studierende suchen in der Magerwiese ihre Zählrahmen auf, weiße Quadrate von einem Meter Kantenlänge, die sie bereits vor ein paar Jahren ausgelegt und befestigt hatten. Danach knien sie sich auf den Boden und beginnen mit der Inventarisierung aller Pflanzenarten innerhalb der Rahmen. Das ist gar nicht so einfach, da muss man schon über eine gute Artenkenntnis verfügen, um die verschiedenen Gewächse auseinanderhalten zu können. Ist das hier nun der Hopfenklee oder der Feldklee? Und das Bestimmen der Gräser ist eine echte Herausforderung. Die Namen aller Pflanzenarten werden aufgeschrieben. Die Sonne brennt, und der Tag ist noch lang. Biodiversitätsforschung kann ganz schön anstrengend sein.

Am Freitag, dem 9. Mai 2014, fand im Schlossgarten Demerthin wieder einmal eine Stunde der Gartenvögel statt. Der Naturschutzbund Deutschland oder kurz NABU hatte alle interessierten Vogelfreunde eingeladen, zwischen 9 und 10 Uhr die Vögel zu erfassen, die sich im Schlossgarten aufhalten. Zahlreiche Laien fanden sich ein, junge Familien, ältere Ehepaare, Schüler. Sie schauten gespannt mit Feldstechern in die Bäume und trugen dazu bei, eine Liste aller Vogelarten zusammenzustellen. Es gab Preise zu gewinnen und viel Wissenswertes über Vögel zu erfahren. Das Erfassen von Biodiversität kann durchaus Spaß machen.

Was Laien wie Fachleute in den Beispielen vereint, ist das Erfassen der Artenvielfalt. Pflanzenarten in der Magerwiese, Vogelarten im Schlosspark. Stets geht es darum, sich ein Bild von der Artenvielfalt einer bestimmten Gruppe von Lebewesen zu machen. Solche Bestandsaufnahmen sind in der Forschung und im Naturschutz gang und gäbe. Sie sind unerlässlich, liefern sie doch die Grundlagen für die weitere Arbeit. Doch Biodiversität beinhaltet nicht nur Artenvielfalt.

Eine ganz andere Wirkungsstätte ist ein Labor, in dem Wissenschaftler in weißen Kitteln mit Pipetten und Probegläsern hantieren. Auf einem der Labortische steht ein teures Gerät, ein Sequenzierer. Er kann die DNA aufschlüsseln, die Reihenfolge ihrer Bausteine entziffern. Die Methodik der DNA-Sequenzierung hat in den letzten Jahrzehnten eine rasante Entwicklung hinter sich. Heute gehören DNA-Analysen zu Standardmethoden in der Medizin, der Kriminalistik und der Ökologie. Sauberkeit ist oberstes Gebot im Labor, denn die Gefahr einer Kontamination mit fremder DNA ist stets vorhanden. Die Laborantin trägt daher Plastikhandschuhe und bereitet die nächsten Proben vor.

Was wird im Labor gerade gemacht? Von einer Vielzahl von Pflanzen einer bestimmten Art wird die genetische Variation festgestellt. Wie unterschiedlich sind die Gene bei den Individuen? Ziel der Untersuchung ist festzustellen, ob der Bestand eine geringe oder hohe genetische Vielfalt aufweist. Von jedem pflanzlichen Individuum wird ein genetischer Fingerabdruck erstellt. Auch die Vielfalt an genetischen Individuen, den Genotypen, gehört zur Biodiversität.

Welch Gegensatz dazu stellen die Biologen des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg dar, die an einem regnerischen Tag in Stiefeln durch Wälder und Wiesen streifen. Sie sind mit GPS-Geräten ausgerüstet, genauen Karten des Gebietes und tragen vorgedruckte Formulare mit sich. Sie kartieren die Biotope, übertragen also das kleinräumige Nebeneinander der verschiedensten Lebensräume in eine Karte. Eine solche Biotopkartierung ist die Grundlage für Naturschutzmaßnahmen. Was die Biologen im Wesentlichen machen, ist das Zusammentragen der Vielfalt an Lebensräumen. Und die ist sehr hoch, geht weit über Wald, Wiese oder Bach hinaus. So unterscheiden sie bei der Vegetation eines Seeufers zwischen Rohrglanzgrasröhricht oder Schilfröhricht, um nur zwei zu nennen. Und Wald ist nicht gleich Wald, da existieren die verschiedensten Waldtypen, etwa Sternmieren-Stieleichen-Hainbuchenwald oder Blaubeer-Kiefern-Traubeneichenwald.

Die drei Beispiele repräsentieren die drei Komponenten von Biodiversität, wie sie in jedem Lehrbuch stehen: Artenvielfalt, genetische Vielfalt und Lebensraumvielfalt. Umgangssprachlich wird Biodiversität oft mit Artenvielfalt gleichgesetzt; je mehr Arten vorhanden sind, desto höher die Biodiversität.

Biodiversität und Biodiversitätsforschung

Die weichenstellende Veranstaltung in Washington bewirkte noch etwas anderes. Bisher setzten sich Feldbiologen und Ökologen kaum mit dem Gegenstand Biodiversität auseinander. Sie interessierten sich für die Lebensweise bestimmter Pflanzen- und Tierarten, für Stoffkreisläufe, für die systematische Einteilung der Arten, aber kaum für die Rolle von biologischer Vielfalt für den Naturhaushalt; geschweige denn dafür, wie die verschiedenen Organismen gemeinsam im Lebensraum existieren und die Biodiversität aufrechterhalten.

Seit 1986 änderte sich dies schlagartig, wie ein Blick in die wissenschaftliche Datenbank „Web of Science“ zeigt – ein unentbehrliches Instrument für jeden Forscher, das vom Medienkonzern Thomsen Reuters betrieben wird. Das Web of Science ist eine Zitationsdatenbank, in der man gezielt nach wissenschaftlicher Literatur suchen kann, und dies weltweit. Sämtliche Artikel, die in wissenschaftlichen Fachzeitschriften erscheinen, werden erfasst. Mittels Stichworten oder Namen von Autoren lässt sich herausfinden, welche Fachartikel etwa zu einer bestimmten Fischart vorhanden sind oder was der Kollege von der anderen Universität so alles publiziert hat in den letzten Jahren. Die wissenschaftliche Literatur ist indes so umfangreich geworden, dass niemand einen Überblick hat, selbst im eigenen engen Forschungsbereich nicht.

Ich mache also eine einfache Abfrage der Datenbank und suche alle Literaturzitate, die das Wort *biodiversity* im Titel des Fachartikels haben, und zwar für ausgewählte

Zeiträume. Das Ergebnis ist sehr aufschlussreich! Zwischen 1981 und 1985 wurde kein einziger Fachartikel mit diesem Stichwort veröffentlicht, von 1986 bis 1990 sind es immerhin vierzig Artikel. Dann folgt ein sprunghafter Anstieg. In den nächsten fünf Jahren sind es bereits 725 neue Artikel, zwischen 2001 und 2005 über zweitausend. Und in den Jahren 2011 bis 2015 wurden knapp über fünftausend Fachartikel zum Thema veröffentlicht.

Was geht hier vor? Natürlich hat der Anstieg auch mit der Zunahme an Wissenschaftlern zu tun. Dennoch ist Biodiversität offensichtlich zu einem Mainstream der Forschung geworden. Biodiversität hat sich zu einem der wichtigsten Forschungsthemen der ökologischen Grundlagenforschung gemausert. Etliche Abteilungen an Universitäten und Fachhochschulen beschäftigen sich mit Biodiversität. Was aber sind die großen und wichtigen Fragen?

Jeder Biologe, der darüber arbeitet, wird eine andere Antwort geben. Für mich sind es zwei Fragenkomplexe: Zum einen, wie ist es möglich, dass die enorme Artenvielfalt aufrechterhalten wird? Welches sind die Mechanismen, die eine hohe Biodiversität erzeugen, fördern und am Leben erhalten? Zum andern, wie beeinflussen wir Menschen mit unseren vielfältigen Tätigkeiten Biodiversität? Warum sterben zurzeit so viele Arten aus? Welche Auswirkungen hat der Verlust an Biodiversität für unsere Lebensräume? Daraus ergibt sich zwangsläufig auch die Frage nach Verbesserung. Was müssen wir tun, um den Artenschwund zu stoppen und wie kann Biodiversität dauerhaft geschützt werden?

Somit sind es genau dieselben Aspekte, die auf der Veranstaltung von 1986 zur Sprache kamen.

Ich behaupte, dass die Biodiversitätsforschung eines der spannendsten Gebiete der Ökologie ist. Bahnbrechende, aufregende und vollkommen unerwartete Zusammenhänge wurden in den letzten dreißig Jahren aufgedeckt. Die Methoden gehen heutzutage weit über Feldstudien mit Insektenkescher und Botanisierbüchse hinaus. Heute sind DNA-Analysen und Computermodelle genauso wichtig geworden wie experimentelle Ansätze in einem Versuchsgarten. Bunt und vielfältig ist die Biodiversitätsforschung, so wie die Natur selbst.

Damit sind die Themen der folgenden Kapitel bereits festgelegt. Zunächst möchte ich zeigen, wie die drei Komponenten der Biodiversität konkret aussehen. Wir werden uns dann mit den Mechanismen auseinandersetzen, die Biodiversität erzeugen und aufrechterhalten. Und selbstverständlich stellen wir uns der Frage, warum viele Biologen darüber besorgt sind, dass die Biodiversität am Schwinden sei. Dies ist eng mit der Frage verknüpft, welche Bedeutung Biodiversität für unseren Alltag hat.

Literatur

1. Ehrlich PR (1988) The loss of diversity. Causes and consequences. In: Wilson EO (Hrsg) Biodiversity. National Academic Press, Washington D.C.
2. Iltis H (1988) Serendipity in the exploration of biodiversity. What good are weedy tomatoes? In: Wilson EO (Hrsg) Biodiversity. National Academic Press, Washington D.C.

3. CBD (2017) Convention on biological diversity. <https://www.cbd.int/convention/articles/default.shtml?a=cbd-02>. Übersetzung des Autors. Zugriffen: 9. Aug. 2017

Weiterführende Literatur

4. EU-Umfrage zu Biodiversität. <http://de.statista.com/statistik/daten/studie/154256/umfrage/bekanntheit-des-begriffs-biodiversitaet-in-deutschland-und-der-eu/>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
5. Neßhöver C (2013) Biodiversität. Unsere wertvollste Ressource. Herder, Freiburg
6. Streit B (2007) Was ist Biodiversität? Erforschung, Schutz und Wert biologischer Vielfalt. Beck, München

Teil I

Artenreichtum

2

Von neu entdeckten Arten

Es ist kaum zu glauben, dass in unserer modernen Zeit mit all ihren technischen Errungenschaften immer noch das getan werden kann, was Entdeckungsreisende und Naturforscher des 17. und 18. Jahrhunderts in aller Welt taten: ausschwärmen und neue Lebewesen finden. Noch erstaunlicher ist, dass neben vielen neuen Arten an Kleintier und Mikroben immer noch spektakuläre Neufunde von Pflanzen und Tieren möglich sind, Schmetterlinge, Reptilien, Affen und Bäume – handfeste und augenfällige Lebewesen –, die noch niemand zuvor gesehen hat und der Welt bisher vollkommen unbekannt waren. Wir wissen noch gänzlich wenig über die Artenvielfalt auf unserem Planeten.

Exkurs: Was ist eine Art?

Die Frage fehlt in keinem Buch zum Thema Biodiversität und ist auch nach mehreren Hundert Jahren Naturforschung schwierig zu beantworten.

Definition vs. Konzept. In der Natur sehen wir Individuen, einzelne Bäume, Pilze oder Tiere. Wir ordnen diese einer Art zu, einem künstlichen Konzept, das auf einer Definition beruht. Bisher gibt es aber keine Definition, die für alle Organismengruppen gilt, von Bakterien bis zu Wirbeltieren. Die Lebewesen sind zu unterschiedlich in ihrem Aufbau und ihrer Funktionsweise. Die beiden wichtigsten Artkonzepte sind das morphologische und das biologische Artkonzept.

Morphologisches Artkonzept. Dies ist die klassische Einteilung in Arten aufgrund der Gestalt, Form und Färbung. Der Bauplan ist maßgebend, und alle Individuen mit denselben morphologischen Merkmalen gehören zur gleichen Art. Zwei Arten unterscheiden sich in mindestens einem Merkmal deutlich voneinander.

Biologisches Artkonzept. Eine Art umfasst nach diesem Konzept eine Gruppe von Individuen, die sich miteinander paaren können, mit anderen Gruppen (Arten) aber nicht. Zwischen den Arten besteht also reproduktive Isolation.

Nachteile der Konzepte. Beide Konzepte haben ihre Tücken. Das biologische Artkonzept ist bei vielen Pflanzenarten nicht sinnvoll, weil sie natürlicherweise Bastarde bilden. Das ist bei vielen Orchideen der Fall. Auch scheinbar eindeutige Tierarten wie Löwe und Tiger können lebensfähige Hybride bilden, auch wenn das in der freien Natur nicht geschieht. Die Schwierigkeit des morphologischen Artkonzeptes ist die Trennung zwischen zwei nahe verwandten Arten, die auch ähnlich gestaltet sind. Zudem zeigen viele Arten eine enorme Variation der Individuen; vor allem bei Arten mit einem großen Verbreitungsgebiet. So können Populationen im Norden ziemlich anders aussehen als Populationen im Süden. Biologen werden diesem Umstand durch eine Aufteilung der Art in sogenannte Unterarten gerecht.

Vereinfachte Sicht. In der Praxis und auch für dieses Buch genügt eine einfachere Sichtweise: Eine Art sind all diejenigen Individuen, die untereinander ähnlicher sind als die Individuen zweier Arten; die Nachkommen dieser Individuen sehen wiederum ähnlich aus.

Am Zoologischen Forschungsmuseum Alexander Koenig in Bonn erforscht die Arbeitsgruppe von Wolfgang Böhme schon seit Jahren die Reptilienfauna einer unzugänglichen Region in Peru. Claudia Koch ist Doktorandin in der Forschungsgruppe und war an etlichen Neuentdeckungen beteiligt, stets in Zusammenarbeit mit dem Centro de Ornitología y Biodiversidad in Lima, der Hauptstadt Perus.

„Bisher haben wir neun Arten aus der Trockenwaldregion in den peruanischen Anden beschrieben. Neben zwei Echsenarten und drei Arten an Blindschleichen gehören noch drei Geckoarten und ein wunderschöner Buntleguan dazu“, erklärt sie – eine Goldgrube für die junge Herpetologin und ihren Doktorvater, Professor Böhm. Oft genug sind die Forscher wie in den guten alten Zeiten mit Pferd und Maulesel in dem unwegsamen Gebiet unterwegs.

Aus den Pflanzen und Tieren, die alleine in den letzten zehn Jahren neu entdeckt wurden, ließe sich eine spannende Ausstellung gestalten, und die Besucher wären von der Vielfalt fasziniert. Da ist etwa der winzige Frosch namens *Paedophryne amauensis*, sieben bis acht Millimeter lang, den Biologen im feuchten Laub am Boden des Regenwaldes auf Papua-Neuguinea gefunden hatten. Er gilt als das kleinste Wirbeltier der Welt.

Bei den Pflanzen ist eine der bekanntesten neu entdeckten Arten die Wollemie (*Wollemia nobilis*) aus den Blue Mountains in Australien. Der urtümliche Baum zählt zu den Nadelgehölzen und erreicht vierzig Meter Höhe. Doch weil er gut versteckt in den unzugänglichen Canyons wächst und nur wenige Exemplare existieren, wurde erst 1994 ein Ranger auf den Baum aufmerksam. Manche neu entdeckte Pflanzenart ist auffällig, sie wächst nur an unzugänglichen Stellen (Abb. 2.1).



Abb. 2.1 Forscher fanden im Jahr 2002 in den Bergen Indonesiens eine neue Azaleenart, *Rhododendron heterolepis*. Der Strauch wächst zwischen 2500 und 3100 ü. d. M. (Foto: Frédéric Danet)

Alles in allem werden jedes Jahr etwa 13.000 neue Arten beschrieben. Besonders viele Neuentdeckungen verzeichnen Gliedertiere wie Insekten, Spinnen und Tausendfüßer aus den Tropen oder Lebewesen der Ozeane. An der Entomologischen Abteilung der amerikanischen Smithsonian Institution in Washington arbeitet Terry Erwin schon lange über die tropische Insektenwelt. Er hatte unzählige neue Arten an Käfern entdeckt, beinahe täglich. In einem Fachartikel aus dem Jahr 2002 stellt er gleich 29 neue Käferarten aus Costa Rica vor.

Manchmal werden neue Arten gar nicht auf abenteuerlichen Expeditionen gefunden, sondern in den Kellern von Museen und anderen Institutionen mit wissenschaftlichen Sammlungen, die noch niemand genau durchgesehen hatte.

Versteckt in Regalen und Kellern

Im Falle von Pflanzen meint Robert Scotland von der University of Oxford in England, dass viele noch zu entdeckende Arten in den Herbarien bereits vorhanden seien. Sie seien also bereits auf früheren Expeditionen gesammelt, getrocknet und auf Papier aufgezogen worden, nur hätte noch niemand die Belege genau angeschaut und die Pflanzen bestimmt. Der Biologe nennt einen interessanten Fall einer Pflanze namens *Strobilanthes frondosa*. Die Art wurde 1994 beschrieben, doch gesammelt wurde sie siebenzig Jahre früher in Burma. Scotland geht davon aus, dass viele weitere Arten eine solch lange „Latenzzeit“ zwischen Entdeckung und Beschreibung aufweisen; er schätzt, dass

etwa die Hälfte der noch zu beschreibenden Pflanzenarten bereits gesammelt wurde und in Schachteln und Kisten auf ihre Entdeckung warten. Ein weiteres Beispiel ist eine winzige Veilchenart aus den Anden Südamerikas, die ein amerikanischer Botaniker in den frühen 1960er-Jahren sammelte und anfänglich für eine andere Art hielt. Erst dreißig Jahre später untersuchte ein Doktorand von ihm die Funde eingehend und kam zum Schluss, dass es sich bei dem Gewächs um eine neue Art handeln müsse.

Auch in den Kellerräumen des Naturkundemuseums Berlin schlummern wissenschaftliche Sammlungen, die in den letzten 200 Jahren aus der ganzen Welt zusammengetragen wurden. Noch längst sind nicht alle Objekte gesichtet und katalogisiert. Die Insektensammlung des Museums umfasst 15 Millionen Objekte und gehört damit weltweit zu den größten ihrer Art. Sie ist ein Fundus und für die Erforschung der Insektenvielfalt unentbehrlich. „Allein aus dem Bestand der Käfersammlung werden jedes Jahr einige Dutzend neue Arten beschrieben“, meint Johannes Frisch, Kurator der Käfersammlung am Naturkundemuseum Berlin (Frisch 2017, mündliche Kommunikation).

Doch zurück zu Neufunden in der freien Natur. Viele neue Arten wurden in den letzten Jahren in denjenigen Lebensräumen gefunden, die für uns Landtiere ohne technische Ausrüstung unzugänglich sind.

Fundgrube Tiefsee

Die meisten Neufunde an Arten und sicher auch viele der spektakulärsten stammen aus den Ozeanen, vor allem aus der Tiefsee. Das ist einem riesigen Forschungsprojekt zu verdanken, dem Census of Marine Life, das 2010 abgeschlossen wurde. Die Eckdaten beschreiben das Unternehmen am besten. Insgesamt beteiligten sich 2700 Wissenschaftler aus über 80 Ländern daran, die 540 ozeanografischen Expeditionen durch alle Meere durchführten. Die Forscher sammelten und untersuchten über 30 Mio. Proben. Die Kosten beliefen sich auf etwa 650 Mio. US-Dollar.

Die Ziele waren hochgesteckt. Die Forscher wollten herausfinden, wie viele Arten in den Ozeanen leben, wie diese verbreitet sind und mit welcher Häufigkeit sie vorkommen. Die Wissenschaftler untersuchten alle Organismen, von Bakterien bis zu Walen, von der Meeresoberfläche bis zum Meeresgrund, vom Nordpol bis zum Südpol. Es ist die umfangreichste biologische Inventarisierung, die jemals stattgefunden hatte; für die Meeresforschung war das Projekt ein Meilenstein.

Während der zehn Jahre langen Laufzeit des Projektes förderten die Biologen wirklich Erstaunliches zutage. Die Ergebnisse bestätigten, was der Meeresbiologe Carlton Ray 1986 auf der Tagung in Washington sagte – nämlich, dass die Ozeane eine überbordende Artenvielfalt aufweisen würden. So entdeckten die Forscher insgesamt über 6000 neue Arten, teils bizarre Lebewesen, die sich niemand vorstellen konnte. Tintenfische, Quallen, Krebse, aber auch

unzählige kleine und kleinste Organismen. Pedro Martínez Arbizu, Meeresbiologe und Professor am Forschungsinstitut Senckenberg in Wilhelmshaven, meinte, dass in den Tiefen der Ozeane vielleicht 10 Mio. verschiedene Arten vorkommen.

Noch im 20. Jahrhundert galt der Ozeanboden als eine leblose Wüste. Niemand konnte sich vorstellen, dass da unten ganze Ökosysteme existieren. Das änderte sich erst mit dem Beginn der Erforschung der Tiefsee; dass es so lange dauerte, liegt an den technischen Herausforderungen. Eine der ersten großen Entdeckungsreisen war die Challenger-Expedition, eine britische Forschungsreise, in der man von 1872 bis 1876 etwa 130.000 Kilometer zurücklegte. Das Schiff – die HMS Challenger – wurde bestens ausgerüstet. Es gab Schleppnetze an Bord, sehr lange Seile, um Proben aus der Tiefe holen zu können, einen großen Vorrat an Alkohol für das Konservieren der Organismen. An Bord befand sich ein Labor mit Mikroskopen, Gläsern, Bestimmungsbüchern und Instrumenten. Im Deutschen Museum München steht ein prächtiges Modell des Forschungsschiffes und gibt eine Vorstellung davon, wie die Wissenschaftler ihre Funde seziierten und untersuchten. Die Expedition förderte insgesamt etwa 4700 neue Arten zutage. Die Verarbeitung und Auswertung der Proben nahm zwei Jahrzehnte in Anspruch.

Was aber geschieht nun mit einer neu entdeckten Art, sei es nun ein Tier, eine Pflanze, ein Pilz oder eine Mikrobe? Irgendwie muss der Fund der Welt und insbesondere der Wissenschaft mitgeteilt werden, und das Kind braucht einen Namen.

Species nova

Wer ein Lebewesen entdeckt, das auf keine der bisher veröffentlichten Beschreibungen passt, hat möglicherweise eine neue Art vor sich. Bevor ein Wissenschaftler eine Erstbeschreibung verfasst, hat er sehr viel Kleinarbeit zu erledigen. Er wird seinen Fund genau untersuchen, Form, Gestalt und Färbung mit den anderen bereits beschriebenen Arten des Verwandtschaftskreises vergleichen. Schließlich möchte er sicher sein, dass es sich wirklich um eine neue, noch nicht beschriebene Art handelt. Also heißt es, die Literatur durchzusehen, wissenschaftliche Sammlungen zu durchforsten und sicherzustellen, dass die Gestalt des Neufundes anders ist und tatsächlich eine *species nova* vorliegt. Die Gefahr eines Irrtums ist groß, denn das gefundene Tierchen könnte einfach ein ungewöhnliches Exemplar sein. Gerade bei artenreichen Gruppen wie Käfern oder Fischen ist es wichtig, genau hinzusehen.

Sind alle Vorabklärungen getroffen, und der Fund ist wirklich eine neue Art, erfolgt die wissenschaftliche Erstbeschreibung in einer geeigneten Fachzeitschrift. Dabei stellt sich auch die Frage, wo die Art in die bestehende Klassifizierung der bekannten Arten angeordnet werden soll. Gehört der Neufund einer bereits vorhandenen Gattung an, oder soll er besser in eine neue Gattung gestellt werden? Oder sieht er so andersartig aus, dass es sich gar um eine neue Familie handelt? Das ist die Aufgabe der Taxonomie.

Die Beschreibung neu entdeckter Arten folgt genauen Regeln, die in internationalen Codes der Nomenklatur festgelegt sind. Zwei Dinge sind bei einer

Erstbeschreibung besonders wichtig. Zum einen braucht es einen Beleg, auf die sich die Artbeschreibung bezieht, zum anderen einen wissenschaftlichen Namen, der bei der Erstbeschreibung der Art aufgeführt wird.

Die Belege für eine neue Art nennen Wissenschaftler Typusexemplare. Sie zeigen sich in ganz unterschiedlicher Form, je nach Art des Organismus: Gläser, mit Formalin gefüllt, in dem Exemplare eines Tieres aufbewahrt werden, wie im Falle der neuen Echsen aus Peru. Bei Pflanzenarten sind es meist Papierbögen, auf denen ein getrocknetes und gepresstes Exemplar aufgezogen wurde, kurz und gut, ein Herbarbogen. Im Falle von Fossilien sind es meist Teile einer Pflanze oder eines Tieres als Versteinerung, bei Bakterien sogar Lebendkulturen oder wenigstens tiefgefrorene Kulturen.

Früher war es Sitte, Erstbeschreibungen neuer Arten in lateinischer Sprache zu verfassen. Das ist heutzutage nicht mehr nötig und kann auch niemand mehr verstehen, der wissenschaftliche Name bleibt aber lateinisch.

Hauptsache, es klingt lateinisch

Bei der wissenschaftlichen Namensgebung genießen Forscher heute eine ziemliche Freiheit. Hauptsache, der Name klingt lateinisch und folgt den Sprachregeln des Lateinischen bezüglich Deklination und Endung. Die Namen brauchen indes nicht aus dem lateinischen Wortschatz zu stammen. Viele wissenschaftliche Artnamen sind dem Griechischen entlehnt oder latinisierte Wörter aus anderen Sprachen einschließlich dem Englischen. Das führt

manchmal zu Problemen, denn was ist die korrekte Aussprache der Pflanze namens *Impatiens edgeworthii*?

Exkurs: Die wissenschaftliche Namensgebung

Ein lateinischer Artname besteht stets aus zwei Wörtern, eines für die Gattung und eines für die Art selbst – das sogenannte Artepithel. Dieses System der zweiteiligen Namensgebung geht auf den schwedischen Naturforscher Carl von Linné (1707–1778) zurück, der selbst etliche Arten beschrieb. Vor ihm war die Bezeichnung der damals bekannten Arten alles andere als einheitlich; viele Arten wurden mit langen lateinischen Floskeln benannt. Zusätzlich zum eigentlichen Namen wird die Abkürzung der Autoren angegeben, die als erste die betreffende Art beschrieben hatten. Die Autorenkürzel werden im täglichen Gebrauch oft weggelassen.

So heißt die Rotbuche wissenschaftlich *Fagus sylvatica* L. Es ist Standard, die Namen kursiv zu schreiben. *Fagus* bezeichnet die Gattung und *sylvatica* die Art innerhalb dieser Gattung. Nur beide Wörter in Kombination sind eindeutig, denn es gibt zum Beispiel auch noch eine Segge namens *Carex sylvatica*. Das „L.“ steht für Linné, der den Baum als Erster beschrieb.

Die Wahl der Namen ist Sache der Erstbeschreiber einer neuen Art. Meist werden Wörter herangezogen, die das Aussehen oder die Farbe des Organismus beschreiben, etwa *rotundifolia* für runde Blätter, oder der Name ist an eine berühmte Persönlichkeit angelehnt wie in *Darwinia* oder *Goethea*. Oder der Name gibt einen Sachverhalt wieder. So wählten Claudia Koch und ihr peruanischer Kollege Pablo Venegas für eine der neu entdeckten Echsenarten den Namen *Ameiva nodam* – ein geplanter

Staudamm bedroht den Lebensraum der Echse, und so verbreitet sie unmissverständlich die Botschaft „no dam“, kein Damm!

Nicht immer ist die Wahl nachvollziehbar, und unter den wissenschaftlichen Namen finden sich etliche, die ein Schmunzeln oder gar Unverständnis hervorrufen. *Charis matic* ist ein Schmetterling aus dem Amazonasgebiet, der aber inzwischen einen anderen Namen bekommen hat. Die neue Pilzart, die 1987 am Berg Olymp in Griechenland gefunden wurde, erhielt den Namen *Zeus olympius*. Wäre Zeus darüber zornig geworden? Hingegen kann Arnold Schwarzenegger stolz auf den schwarzen Käfer sein, den Terry Erwin 2002 zusammen mit 28 weiteren neuen Arten beschrieb und dem er den Namen *Agra schwarzeneggeri* gab. Mein Favorit unter den belustigenden Namen ist hingegen eine kleine Landschnecke, die in den Wäldern auf Fiji gefunden wurde. Ich habe keine Ahnung, warum sie *Ba humbugi* getauft wurde. Nicht nur bei Ornithologen beliebt und in der zoologischen Namensgebung erlaubt sind Doppelnamen; Gattungs- und Artnamen nutzen dasselbe Wort. So lautet der wissenschaftliche Name des Krabbentauchers *Alle alle*. Diese Vögel nisten zu Millionen an den Felsküsten des hohen Nordens. *Boops boops* hingegen heißt die Gelbstriemenbrasse, ein Meeresfisch des östlichen Atlantik.

Wie der britische Pilzkundler John Wright in seinem Buch amüsant feststellt, findet sich unter den wissenschaftlichen Namen viel Ungereimtes, Skurriles und Abstruses. Doch alles in allem sind das Ausnahmen, denn immerhin existieren über 1,5 Mio. verschiedene

wissenschaftliche Namen. Und kann man's den Biologen verdenken, wenn sie mit Kreativität und Phantasie zu Werke gehen?

Warum sind wissenschaftliche Namen so wichtig? Weil nur sie weltweit einheitlich sind. Lokalnamen ergeben in der Umgangssprache durchaus Sinn, nützen aber einem Biologen im Ausland nichts. So versteht ein Amerikaner kaum das Wort „Sal-Weide“, weil er den Baum unter dem Namen „hoary willow“ kennt. Ein Chinese hingegen kann mit beidem nichts anfangen, denn für ihn heißt der Baum 黃花柳 (ausgesprochen als „huang hua liu“). Der wissenschaftliche Name *Salix caprea* L. aber ist eindeutig und in der Kommunikation überall verwendbar.

DNA: neue Erkenntnisse und viel Durcheinander

Ich erinnere mich an eine mündliche Prüfung im Fach Botanik während meiner Studienzeit. Ich bekam eine Vase voller Wildblumen vorgesetzt und musste die Arten benennen, auch die Familien, zu denen sie gehören. Darunter befand sich auch das Gewöhnliche Leinkraut, eine häufige Pflanze mit länglichen und gelben Blüten. Mir bereitete es keine Mühe, die Arten anzusprechen und zu sagen, dass das Gewöhnliche Leinkraut ein Rachenblütengewächs ist.

Heute wäre das falsch. Die Pflanze zählt nun zu den Wegerichgewächsen, obwohl sie ganz und gar nicht wie ein Wegerich aussieht. Wie kommt das? Die taxonomische

und systematische Forschung führte durch die neuen Techniken der DNA-Sequenzierung zu vielen neuen Erkenntnissen über den Verwandtschaftsgrad vieler Arten. Das zeigt, dass die Klassifizierung der Arten und ihre systematische Stellung stets verbessert und verfeinert werden kann. Ziel ist schließlich, möglichst nahe an die wirklichen Verwandtschaftsverhältnisse heranzukommen und die Arten im Stammbaum des Lebens an der richtigen Stelle einzuordnen. So wurde die einst große Familie der Liliengewächse in etliche kleinere und neue Familien aufgeteilt. Die Küchenzwiebel ist kein Liliengewächs mehr, sondern ein Lauchgewächs.

Die Erbgutanalyse hat schon längst Einzug in die Systematik und Ökologie gehalten und ist zu einem wichtigen Instrument geworden. Die Methode ist mit einem Vaterschaftstest vergleichbar. Man vergleicht den chemischen Aufbau der Erbsubstanz zweier Proben und schaut, wie ähnlich oder wie verschieden sie sind. Jeder Mensch hat eine einzigartige Zusammensetzung der Gene, von einigen Zwillingen abgesehen. Bei ihnen sind alle Gene genau gleich. Mit Zusammensetzung ist die Abfolge der Bausteine auf dem Riesenmolekül DNA gemeint, dem Träger der Erbinformationen. Die Reihenfolge der Bausteine wird entziffert, die DNA wird sequenziert. So lässt sich der Verwandtschaftsgrad zweier Personen aufzeigen oder beweisen, dass die DNA-Spur auf dem Tresor vom Täter stammt.

Der Grad der Verschiedenheit und der Aufbau der DNA kann auch zum Identifizieren von Arten herangezogen werden. Jede Art hat charakteristische Abfolgen der Bausteine auf der DNA, die durch Sequenzieren aufgezeigt

werden kann. In der Praxis werden nur winzige Bruchstücke der gesamten DNA analysiert, sogenannte genetische Marker.

Diese Technik ist ein Wundermittel für Biologen, die seit einigen Jahren zu erstaunlichen Ergebnissen führt und die klassische Taxonomie mitunter über den Haufen wirft. So hatten Wissenschaftler der Senckenberg-Gesellschaft das Erbgut der Giraffe einmal genau angeschaut und erhebliche regionale Unterschiede festgestellt. Populationen im Süden des Verbreitungsgebietes etwa haben eine andere Zusammensetzung als nördliche Populationen. Die Unterschiede sind so groß, dass die Forscher es für gerechtfertigt halten, von vier Giraffenarten zu sprechen. Das ist doch revolutionär: Wir haben statt nur einer Art an Giraffe plötzlich deren vier! Freilich hatten Zoologen schon früher bemerkt, dass sich verschiedene Populationen der Giraffe im Aussehen etwas unterscheiden, daher sprachen sie von mehreren Unterarten, gleichsam regionalen Sippen.

Weiterführende Literatur

1. Boenigk J, Wodniak S (2014) Biodiversität und Erdgeschichte. Springer Spektrum, Heidelberg
2. Census of marine life. <http://www.coml.org>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
3. Fennessy J, Bidon T, Reuss F, Kumar V, Elkan P, Nilsson MA, Vamberger M, Fritz U, Janke A (2016) Multi-locus analyses reveal four giraffe species instead of one. *Curr Biol* 26:2543–2549

4. Forscher entdecken immer mehr bizarre Kreaturen. Die Welt. <http://www.welt.de/wissenschaft/article6470228/Forscher-entdecken-immer-mehr-bizarre-Kreaturen.html>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
5. Spicer J (2006) Biodiversity. A beginner's guide. Oneworld, Oxford
6. Wägele J (2016) DNA-Barcoding ermöglicht den universellen und effizienten Zugang zu Artenwissen. Biol unserer Zeit 46:267
7. Wright J (2014) The naming of the shrew. A curious history of Latin names. Bloomsbury, London

3

Wo gibt es am meisten Arten?

Eine Reise von Bergen in Norwegen über St. Petersburg bis zum Ural und dem Westsibirischen Tiefland folgt in etwa dem sechzigsten Breitengrad auf der Nordhalbkugel. Eine eintönige Reise, was die Landschaften anbelangt. Die Route von rund 6500 Kilometern durchquert den borealen Nadelwald, auch Taiga genannt. Die Fichte beherrscht die Szene und bildet endlose Wälder mit moosigem Untergrund, unterbrochen von baumfreien Mooren und im Menschenzeitalter freilich auch von Feldern, Ortschaften und Straßen. Die Wälder sind artenarm. Der Bewuchs besteht meist aus einer einzigen Baumart, dazu gesellen sich ein paar Zwergsträucher und krautige Pflanzen auf dem Waldboden. Weiden und Erlen säumen die Flüsse. Auch die Tierwelt ist nicht gerade vielfältig. Vielleicht erblicken wir Braunbären, deren Verbreitung in Eurasien mit dem borealen Nadelwald übereinstimmt.

Wie abwechslungsreich wird die Reise, wenn wir die Route um neunzig Grad drehen und entlang des achten Längengrades Ost von Bergen aus nach Süden vordringen! Die Strecke reicht bis zur Hafenstadt Calabar in Nigeria. Wir überqueren in der Nähe des Monte Rosa die Alpen und erleben dabei die verschiedenen Höhenstufen, von der Laubwaldstufe der Niederungen über die Nadelwaldstufe – welch Ähnlichkeit mit dem borealen Nadelwald! – zu den baumlosen Alpenmatten. Auf der Alpensüdseite begegnen uns viele neue Pflanzenarten, während andere zurückbleiben. Erreichen wir das Mittelmeergebiet, heißt uns eine überaus artenreiche und wiederum andere Flora willkommen. Zwergpalmen, Orchideen, Pistazien und viele andere Pflanzen wachsen in Fels und Flur. Solch einem Wandel der Flora, ein Wechsel der Artenzusammensetzung der Pflanzendecke, würden wir auf der Reise immer wieder begegnen. Auch die Insekten- und Vogelarten variieren. In Nordafrika überqueren wir das Atlasgebirge, und dann kommt ein Artenloch: die Sahara – eine Wüste, die zwischen Meer und Tropenwald liegt, in keiner Weise leblos, aber von nur wenigen besonders hartgesottenen Lebewesen bewohnt.

Insgesamt durchläuft die Reiseroute elf Vegetationszonen, auch knapp die artenreichste von allen, den tropischen Regenwald.

Einfalt in der einen Richtung, Vielfalt in der anderen. Biogeografen und Naturforscher waren schon immer fasziniert von so unterschiedlichen Erscheinungsbildern der Natur in verschiedenen Regionen. Biodiversität ist alles andere als gleichmäßig über den Globus verteilt! Wenige Arten im hohen Norden, überaus viele Arten im

Tropengürtel – weshalb ist der Artenreichtum so unterschiedlich? Gibt es geografische Trends und Zusammenhänge mit dem Klima oder anderen Faktoren? Das sind Fragen, denen ich in diesem Kapitel nachgehen möchte. Dabei geht es um großflächige und globale Betrachtungen, nicht um kleinräumige Muster.

Die Erde, ein Flickenteppich

Durch die Art und Weise, wie der Erdball im Weltraum sich selbst und seine Runden um die Sonne dreht, treffen die Sonnenstrahlen in der Mitte der Kugel beinahe senkrecht auf. Die Intensität der Strahlung ist daher am Äquator am höchsten. Zu den Polen hin wird der Einfallswinkel immer flacher; Intensität und Energiegehalt der Strahlen werden geringer. Das muss unweigerlich zu Klimazonen führen, vom polaren bis zum tropischen Klima. Die Pflanzendecke richtet sich danach und zeigt je nach den klimatischen Bedingungen ein charakteristisches Aussehen. So wachsen im Klima des borealen Nadelwaldes keine Laubbäume, weil sie für ihren Energiehaushalt eine längere Wachstumszeit brauchen als Nadelbäume. Nur die überaus frostharten Nadelhölzer können sich hier behaupten. Nördlich des Nadelwaldgürtels ist es selbst den Nadelbäumen zu kalt, weshalb wir die baumlose Tundra vorfinden; ein Grasland mit Zwergsträuchern und Flechten. Südlich der Taiga ist es für Laubbäume warm genug, und wir befinden uns im Reich von Rotbuche und Eichen.

Die Taiga ist das größte zusammenhängende Waldgebiet der Erde und eine von vielen Vegetationszonen; eine vorbildliche zudem, denn sie zeigt sich auf einer Weltkarte

als Band, das zwischen dem fünfzigsten Breitengrad und dem Polarkreis auf der Nordhalbkugel verläuft – also parallel zum Äquator, wie es sich gehört.

Insgesamt unterscheiden Biogeografen rund dreißig verschiedene Vegetationszonen. Eine Weltkarte, auf der diese mit unterschiedlichen Farben eingetragen sind, lassen die Erdoberfläche ein bisschen wie ein zusammengeschusterter Flickenteppich erscheinen. Die wenigsten Vegetationszonen verlaufen so schön bandförmig parallel zu den Breitengraden wie die Taiga. Dennoch lassen sich Trends erkennen, die schon Naturforscher des 18. und 19. Jahrhunderts bemerkten. Es gibt einen Zusammenhang mit der geografischen Breite, die Vegetationszonen bilden eine Abfolge vom Nordpol oder Südpol zum Äquator hin und zeigen den Einfluss der Klimazonen. Nadelwald existiert nur im hohen Norden, da auf der Südhalbkugel die entsprechende Landfläche fehlt. Feuchtsavanne und Regenwald finden sich nur im Tropengürtel.

Weil die Landmasse auf fünf Kontinente und zahlreiche Inseln verteilt und die Erdoberfläche zudem alles andere als regelmäßig ist, werden die meisten Vegetationszonen zu Flecken statt zu Bändern. Ozeane zwischen den Kontinenten, Gebirgszüge, aber auch die Bodenbedingungen sorgen dafür, dass die Vegetation ein unregelmäßiges Muster zeigt.

Trends und Hotspots

Eine Karte mit den Vegetationszonen verrät noch nichts über die Artenzahl. Welche Zonen oder Regionen haben am meisten Arten, und was sind die Gründe? Welche Faktoren

bestimmen die Artenzahl eines Gebietes? Das sind die Fragen, mit denen sich die analytische Biogeografie beschäftigt.

Mir ist im Zuge meiner Recherchen in der Fachzeitschrift *Nature* ein älterer Artikel aus dem Jahre 1987 begegnet. Die beiden Forscher David Currie und Viviane Paquin wollten wissen, wie die Baumvielfalt in Nordamerika verteilt ist. Dazu teilten sie die USA und Kanada in insgesamt 336 Quadrate ein und zählten anhand von Verbreitungsdaten, wie viele Baumarten in jedem Quadrat vorkommen. Eine mühsame Kleinarbeit mit Karten, denn vor dreißig Jahren gab es noch keine umfangreichen Datenbanken, digitalisierten Karten und leistungsfähige Computer. Auf dem Schreibtisch legten die Forscher ihre Karten übereinander und sammelten so ihre Daten. Das Ergebnis ist ziemlich aufschlussreich: Die Baumvielfalt zeigt zwei Gebiete mit besonders hohen Werten. Das eine liegt im Westen der USA, im Norden Kaliforniens. Hier wachsen etwa achtzig verschiedene Arten. Die größte Baumvielfalt befindet sich aber im Südosten der USA, etwas oberhalb von Florida. Die Auszählung ergab 180 Arten in einem Quadrat. Überlagert wird das Muster von einem allgemeinen Trend zunehmender Artenvielfalt von Nord nach Südost. Auf einer Linie von der Hudson Bay zum Südrand der Appalachen – einer Strecke von etwa 4000 Kilometern – steigt die Anzahl Baumarten von weniger als 2 auf 180 Arten an.

Der Südosten der USA ist subtropisch, und dass die Artenzahl stark zunimmt, je näher man dem Äquator kommt, ist eines der stabilsten Muster in der Biogeografie. Das konnten auch Wissenschaftler des Nees-Instituts für Biodiversität der Pflanzen in Bonn zeigen. Das Institut

ist der Universität Bonn angegliedert und ist an verschiedenen Forschungsprojekten beteiligt, so auch am Projekt „Biodiversity in Change“, das seit 2001 läuft. Maßgeblich trugen der nun emeritierte Professor Wilhelm Barthlott und seine Mitarbeiter zu diesem Projekt bei; sie erstellten eine Weltkarte pflanzlicher Biodiversität von hoher Genauigkeit. Da lassen sich fünf Regionen erkennen, die alle in den Tropen liegen und in denen über 5000 Pflanzenarten in einer Fläche von 100 mal 100 Kilometern gefunden werden; dies entspricht 10.000 Quadratkilometern. Diese fünf Zentren globaler Biodiversität sind die Berge in Costa Rica, die Ostseite der Anden in Ecuador und in Bolivien, der atlantische Regenwald an der Ostküste Brasiliens, das nördliche Borneo sowie Neuguinea. Alle fünf Gebiete zusammen machen nur 0,2 Prozent der globalen Landfläche aus, beherbergen aber ein Viertel aller bekannten Pflanzenarten der Erde; dies entspricht 63.000 Arten. Zum Vergleich: Norddeutschland hat einen Wert von 1000 bis 1500 Pflanzenarten pro 10.000 Quadratkilometer.

Meine bisherigen Ausführungen beziehen sich meist auf Pflanzenarten. Die Artenvielfalt von Tierarten verhält sich jedoch ähnlich, auch hier sind die Tropen ein Biodiversitätshotspot. Der geografische Trend ist derselbe; so nimmt die Anzahl von Brutvögelarten in Nord- und Mittelamerika kontinuierlich von Alaska bis Costa Rica zu.

Erklärungsversuche

In den Tropen erreicht die Biodiversität den absoluten Höhepunkt; hier versammeln sich unüberblickbar viele Arten auf engstem Raum. Am ehesten würden wir das in

den Wäldern bemerken. In den ausgedehnten Nadelwäldern Nordeuropas sehen wir meist nur eine einzige Baumart, die Fichte. In Mitteleuropa auf guten Böden bildet natürlicherweise die Rotbuche reine Buchenwälder. In den tropischen Regenwäldern aber gehört fast jeder Baum, den wir erblicken, einer anderen Art an. Und die Tierwelt! Alexander von Humboldt und sein Reisebegleiter Aimé Bonpland waren von der tropischen Üppigkeit und Fremdartigkeit überwältigt, als sie 1799 Venezuela erreichten. „Er werde von Sinnen kommen, wenn die Wunder nicht bald aufhören“ [1, S. 77], meinte Bonpland nach den ersten paar Wochen Aufenthalt.

Warum gibt es in den Tropen so viele Arten?

Die Frage hat schon manchem Biogeografen und Ökologen Kopfzerbrechen bereitet. Die einfachste Erklärung wäre, dass in den Tropen ein günstigeres Klima herrscht als im hohen Norden mit seinen kalten Wintern. Pflanzliches Wachstum kann hier das ganze Jahr über stattfinden, und die Sonne liefert wegen ihres hohen Standes mehr Energie als außerhalb der Tropen. Doch das Leben zeigt eine unermüdliche Besiedlung sämtlicher noch so unwirtlicher Gegenden, von heißen Wüsten bis zu Extremstandorten in der Antarktis oder der Tiefsee. Dies kann also nicht der Grund dafür sein, dass sich in nördlichen Gefilden weniger Arten gebildet haben als in der Nähe des Äquators.

Eine andere Theorie geht von der Landfläche aus. Rein flächenmäßig betrachtet, gibt es im Tropengürtel mehr Land als im Norden oder Süden. Mehr Fläche bedeutet mehr Raum für Arten, also können mehr Arten existieren. Dies alleine erklärt freilich nicht die immens hohe lokale Artenvielfalt, die in den Tropen vorzufinden ist.

Oder liegt es daran, dass die Evolution in den Tropen mehr Zeit hatte als im hohen Norden? Immerhin gab es während den letzten 2,6 Mio. Jahren ungemütliche Eiszeiten auf der Nordhalbkugel, die viele Arten auslöschten. Die Tropen blieben davon verschont, obwohl die Ausdehnung der Regenwälder schrumpfte. Der Artbildungsprozess konnte daher in den Tropen lange Zeit ungestört ablaufen, so die Theorie. Vielleicht sei auch der Artbildungsprozess selbst schneller, weil sich die Organismen schneller fortpflanzen bei den ganzjährig hohen Temperaturen und sich deshalb schneller evolutiv verändern können, so eine andere Theorie. Die Veränderungen auf der DNA, die Mutationen, gelten als die Grundvoraussetzung für den Mechanismus der Evolution.

Vermutlich spielen alle diese Gründe eine Rolle. Ein weiterer wird uns in Kap. 10 beschäftigen, die gegenseitige Beeinflussung der Arten selbst.

Eines ist klar: Die Biodiversität auf der Erde ist komplex strukturiert.

Warum Koala und Dingo in einem eigenen Reich leben

Eine Karte mit der globalen Artenvielfalt oder mit den Vegetationszonen verrät nichts über einen weiteren wichtigen Aspekt der Biodiversität, die Frage nämlich, welche Arten vor Ort anzutreffen sind. So ist in der Neuen Welt grundsätzlich alles anders. Auch wenn die Anzahl der Arten eines Stückchens Wiese in Europa und

Nordamerika gleich sein kann, die Arten selbst sind vollkommen andere! Obwohl es sich um dieselbe Vegetationszone handelt, findet man andere Bewohner vor. Ich finde es immer wieder faszinierend, in den Rocky Mountains zu botanisieren und die dortigen Gebirgsblumen zu bewundern. Da wächst kein Edelweiß, keine Alpenrose oder Bayerischer Enzian wie in unseren Alpen, dafür Bartfaden, Großblütiger Hundszahn oder Lewisie. Trotz des ähnlichen Erscheinungsbildes der Pflanzendecke sind die Arten nicht dieselben.

Daher sprechen Biogeografen von Florenreichen und Faunenreichen. Südamerika gehört zur *Neotropis*, Australien mit seiner bizarren Pflanzen- und Tierwelt zur *Australis*. Der größte Teil Afrikas und Teile Asiens zählen zur *Paläotropis*. Zwischen den Reichen sind die Unterschiede in der Artenzusammensetzung so markant, dass sich eine solche Einteilung geradezu aufdrängt. Australien ist das beste Beispiel dafür, denn auf dem fünften Kontinent leben sehr viele Arten von Pflanzen, Säugetieren, Reptilien und Fröschen, die nicht mit anderen Arten vergleichbar sind und nur hier vorkommen. Alles in allem sind es etwa 80 Prozent der australischen Arten, die ausschließlich dort beheimatet sind. Schnabeltier, Koala, Ameisenigel, Dingo und zahlreiche Eukalyptusarten sind einige wenige Beispiele.

Nicht immer sind die Unterschiede zwischen zwei Floren- oder Faunenreichen so auffällig und leicht zu bemerken. Wer im Regenwald Ecuadors Blätter von Bäumen sammelt und dasselbe in einem afrikanischen Regenwald tut, wird kaum Unterschiede bemerken, so ähnlich sind

die Blattformen. Doch es gibt so gut wie keine gemeinsamen Baumarten.

Alles, was ich bisher angesprochen habe, steht in direktem Zusammenhang mit den Verbreitungsgebieten von Arten. Welche Art wo vorkommt und warum, das bestimmt die lokale Artenvielfalt und das Erscheinungsbild der Vegetation. Die Gebiete, in denen eine Art zu Hause ist, zeigen ebenfalls eine erstaunliche Vielfalt.

Weltenbummler oder Einsiedler

Der Gegensatz könnte nicht größer sein. Der Wanderfalke (*Falco peregrinus*) lebt in allen Erdteilen außer der Antarktika und gilt als die am weitesten verbreitete Vogelart. Ein echter Kosmopolit, der sich überall wohlfühlt. Welch ein Gegensatz zum Hawaii-Akepakleidervogel (*Loxops coccyneus*). Der sehr seltene Vertreter der Kleidervögel bewohnt nur Big Island der Hawaii-Inseln, und dort ausschließlich Wälder in höheren Lagen. Auf den benachbarten Inseln kommt er nicht vor.

Zwei Vögel, zwei Vertreter desselben Tierstammes und zwei extreme Beispiele der Verbreitung von Arten: Das Verbreitungsgebiet ist eine genauso wichtige Eigenschaft einer Art wie die Färbung des Gefieders oder die Form des Schnabels. Die meisten Pflanzen, Tiere und andere Organismen bewegen sich bezüglich ihrer Verbreitung irgendwo zwischen den Extremen. Kleine Verbreitungsgebiete finden sich oft bei Arten, die auf Inseln leben und dort entstanden sind. Sind es auf den Hawaii-Inseln die Kleidervögel, finden sich auf den Galapagosinseln die

Darwinfinken, die ebenfalls nur dort vorkommen. Biogeografen sprechen von endemischen Arten, wenn ihre Verbreitung eng begrenzt ist. Endemische Arten finden sich nicht nur auf ozeanischen Inseln. Auch in den Alpen bewohnt so manche Pflanze wie etwa das Bunte Läusekraut (*Pedicularis oederi*) nur ein kleines Gebiet. Endemisch für Australien sind auch die Arten, die ich oben aufgezählt habe – auch sie leben in einem begrenzten Raum, wenn auch in einem sehr großen.

Was zeichnet ein Verbreitungsgebiet aus? Jede Art braucht bestimmte Lebensbedingungen wie lokales Klima, Bodenverhältnisse, Wassertemperatur, Nahrungsangebot, das Vorhandensein von geeigneten Nistplätzen, Überwinterungsplätzen. Kurz und gut, es muss alles vorhanden sein, was für ein gutes Leben notwendig ist. Das Verbreitungsgebiet ist gleichsam die Heimat der Art. Nicht überall sind die Bedingungen für eine bestimmte Art günstig. Das Verbreitungsgebiet umgrenzt das geografische Gebiet, in denen die Art leben kann und in welchem sie natürlicherweise vorkommt. Letzteres ist von größter Bedeutung, denn viele Arten könnten sehr wohl außerhalb ihres Verbreitungsgebietes leben. Das zeigen all die Pflanzen- und Tierarten, die der Mensch in andere Erdteile brachte und sich dort munter vermehren und ausbreiten. So wurden Ratten und Löwenzahn nur unter dem Einfluss des Menschen zu Kosmopoliten. Es gibt aber viele natürliche Grenzen, die Arten daran hindern, sich weiter auszubreiten. Meere, Gebirge oder Trockengebiete können nicht ohne Weiteres überwunden werden.

Verbreitungsgebiete lassen sich auf einer Karte darstellen, indem alle Fundorte einer bestimmten Art

eingetragen werden. Die Punkte können mit einer Linie umrissen werden, und schon ist das Verbreitungsgebiet als Fläche dargestellt.

Das Spannende ist, dass die Form von Verbreitungsgebieten überraschend und unverständlich sein kann. Oft genug ist das Verbreitungsgebiet nicht eine zusammenhängende Fläche, sondern zersplittert, löchrig oder zweiteilig. So wie bei der Großen Königslibelle (*Anax imperator*), die mit etwa 10 Zentimeter Flügelspannweite zu den größten Insekten Europas gehört. Bei den Männchen ist der Hinterleib leuchtend blau gefärbt, bei den Weibchen grünlich. Das Verbreitungsgebiet des Insektes umfasst neben Europa auch Kleinasien und Teile Nordafrikas – ein zusammenhängendes Gebiet. Warum aber die Art auch im südlichen Afrika angetroffen wird, ist unerklärlich. Dazwischen und in der Neuen Welt kommt die Libelle nicht vor. Viele Pflanzenarten unserer Alpen wachsen auch im hohen Norden am Rande der Arktis, wie der Gegenblättrige Steinbrech (*Saxifraga oppositifolia*), im Tiefland fehlen sie. Solche arktisch-alpinen Pflanzenarten besitzen ein zweiteiliges Verbreitungsgebiet, genauso wie Arten, die sowohl in Europa als auch in Nordamerika vorkommen.

Die meisten Arten haben ein kleines Verbreitungsgebiet

Mich interessiert noch etwas ganz anderes. Dazu möchte ich eine statistische Übung durchführen und die Größenverteilung von Verbreitungsgebieten ansehen. Sie kennen

doch Häufigkeitsverteilungen? Nehmen wir ein paar Schulklassen und notieren uns die Körpergröße aller Schüler. Das sind Daten für eine Auswertung. In einer Grafik können wir darstellen, wie viele Kinder in verschiedene Größenklassen fallen, angefangen von den Kleinsten bis zu den Größten. Das Bild ist eine klassische Glockenkurve: Die meisten Kinder haben eine Größe, die in etwa dem Durchschnittswert entspricht.

Ganz anders verhält sich die Größe von Verbreitungsgebieten. Die meisten Arten haben ein kleines Verbreitungsgebiet. Nur ganz wenige Arten sind weit verbreitet und fallen in die Rubrik der Weltenbummler. Dieses Muster zeigt sich bei allen Organismengruppen, egal ob Bäume, Vögel oder Fische betrachtet werden (Abb. 3.1). Es zeigt sich auch bei der Betrachtung einzelner Kontinente. Dabei handelt es sich um ein stabiles Muster, das einem

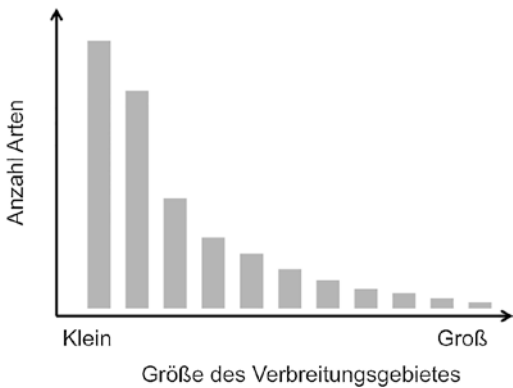


Abb. 3.1 Die Größenverteilung von Verbreitungsgebieten folgt stets demselben Muster: Die meisten Arten haben ein kleines Verbreitungsgebiet

Naturgesetz gleichkommt. Übrigens verhält es sich mit dem Einkommen genauso: Die meisten Menschen haben ein kleines bis mäßiges Einkommen und nur wenige gehören zu den Superreichen.

Die Größe des Verbreitungsgebietes ist das eine, die Häufigkeit der darin lebenden Art das andere. Nicht alle Arten sind so zahlreich vorhanden wie Löwenzahn oder Haussperling. Der Sonnentauch ist eine weitaus seltenere Pflanze als Löwenzahn, und der Anblick eines Eisvogels lässt die Herzen der Vogelbeobachter höher schlagen. Die Häufigkeit einer Art hat mit der Anzahl der Individuen pro Flächeneinheit zu tun. Das ist mit der Einwohnerzahl vergleichbar. In Island leben im Durchschnitt 3,2 Einwohner pro Quadratkilometer, in Deutschland sind es 230 Einwohner. Allerdings sind Durchschnittswerte tückisch, denn die Einwohnerdichte in Reykjavik oder Berlin ist sicher höher als im Umland. Es hängt also immer von der Skala ab, die betrachtet werden soll.

Dennoch, mit den Häufigkeiten einer Art verhält es sich genauso wie mit den Verbreitungsgebieten: Die meisten Arten sind eher selten und nur wenige wirklich allgegenwärtig.

Das hat praktische Konsequenzen für den Arten- und Naturschutz: Wenn die meisten Arten nicht häufig sind und nur ein kleines Verbreitungsgebiet bewohnen, führt etwa das Roden riesiger Flächen tropischen Regenwaldes unweigerlich zum Auslöschen einer immens großen Anzahl von Arten, und die Bestände schrumpfen auf einen kleinen Rest zusammen.

Ein dynamisches Gebilde

Die Natur, die wir da draußen sehen und erleben, ist eine Momentaufnahme, einer von vielen möglichen Zuständen. Das Bild wird sich ändern, so wie es sich in der Vergangenheit dauernd geändert hat. Auch Verbreitungsgebiete unterliegen einer ständigen Dynamik. Als die Eiszeiten die Szene beherrschten, war Nordeuropa von Gletschern höher als der Eiffelturm bedeckt; da konnte kein Kraut wachsen und kein Vogel singen. Erst als die Temperaturen wieder anstiegen, konnten sich Pflanzen und Tiere allmählich wieder ausbreiten – ihre Verbreitungsgebiete dehnten sich aus.

Ein Verbreitungsgebiet wird von so vielen verschiedenen Faktoren beeinflusst, dass Biogeografen mitunter die größten Schwierigkeiten haben, sie zu verstehen und ihre Entwicklung aufzuzeigen. Am leichtesten zu verstehen sind unüberwindbare Barrieren, die ein Verbreitungsgebiet begrenzen. Keine Alpenpflanze schafft es, ihre Samen über den Atlantik zu bringen, den amerikanischen Kontinent zu durchqueren und in den Rocky Mountains schließlich eine neue Bleibe zu finden. Theoretisch könnten viele Alpenblumen in den amerikanischen Gebirgen wachsen. Distanz und Isoliertheit lassen dies aber nicht zu. Sehr oft sind es auch biologische Sachverhalte, die eine Art in ihrem Wohngebiet halten: So sind viele Insektenarten auf die Anwesenheit bestimmter Pflanzenarten als Nahrungsgrundlage angewiesen.

Gestalt und Größe eines Verbreitungsgebietes spiegelt aber auch die Geschichte und Evolution der Art wider.

Eine junge Art hat sich vielleicht noch nicht weit ausbreiten und alle möglichen Lebensräume besiedeln können. Umgekehrt existiert eine Art, die gerade am Aussterben ist, vielleicht nur noch in einem kleinen Gebiet.

Literatur

1. Wulf A (2015) Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur. Bertelsmann, München

Weiterführende Literatur

2. Beierkuhnlein C (2007) Biogeographie: Die räumliche Organisation des Lebens in einer sich verändernden Welt. Eugen Ulmer, Stuttgart
3. Biodiversity in Change. <http://lotus-salvinia.de/index.php/en/biodiversity>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
4. Storch D, Gaston KJ (2004) Untangling ecological complexity on different scales of space and time. *Basic Appl Ecol* 5:389–400

4

Wie viele Arten gibt es wirklich?

Wie rasch und dramatisch sich doch die Zeiten ändern. Als Carl von Linné in den Jahren 1766 und 1767 die 12. Auflage seines berühmten Werkes *Systema Naturae* schuf, kannten die Gelehrten rund 7700 Pflanzenarten und 6200 Tierarten. So viele Arten hatte der schwedische Naturforscher beschrieben und in dem Werk dokumentiert. Das war der damalige Wissensstand. Seither musste die Anzahl bekannter Pflanzen- und Tierarten stets nach oben korrigiert werden. Wie wir im zweiten Kapitel gesehen haben, hält dieser Trend immer noch an.

Wenn ständig neue Arten gefunden werden, wie hoch ist dann die tatsächliche Anzahl der Arten auf unserem Planeten? Versuche, den wahren Artenreichtum zu schätzen, gab es seit den 1980er-Jahren. Die methodischen Ansätze und Überlegungen sind dabei so unterschiedlich, dass sie zwangsläufig zu verschiedenen Ergebnissen führen müssen.

Wir haben also zweierlei Arten: Solche, die beschrieben wurden und bekannt sind, und solche, die unentdeckt im Dschungel oder auf einsamen Bergen wachsen oder herumkrabbeln. Für mich ist eine der großen Überraschungen der modernen Biologie, dass wir immer noch nicht wissen, mit wie vielen Arten von Pflanzen, Pilzen und Tieren wir unseren Planeten teilen, von den Mikroben ganz zu schweigen. Um einiges profaner drückt es der britische Zoologe Robert May aus. Es sei ein bemerkenswertes Zeugnis menschlichen Narzissmus, dass wir die Anzahl Bücher in der US Library of Congress am 1. Februar 2011 mit genau 22.194.656 beziffern könnten, dass wir aber nicht einmal ansatzweise wüssten, mit wie vielen verschiedenen Arten von Pflanzen und Tieren wir unseren Planeten teilen. Nun, meine Ausführungen in Kap. 2 haben gezeigt, warum eine genaue Bezifferung nie möglich sein wird. Aber May hat natürlich Recht, wir wissen nicht einmal, ob es 5 oder 50 Mio. Arten sind.

Wie viele Arten aber kennen wir zurzeit?

Eine vorläufige Volkszählung

Die neuesten Übersichten zur globalen Artenvielfalt gehen von 1,8 bis 1,9 Mio. beschriebenen Arten aus (Tab. 4.1). Eine oft zitierte Studie hat der Australier Arthur Chapman verfasst; er hatte wahrscheinlich endlose Stunden damit verbracht, die Fachliteratur zu durchkämmen und für jeden Tierstamm, jede Pflanzenordnung und jede Pilzgruppe die aktuellsten Daten zusammenzutragen. Was bei den veröffentlichten Zahlen auffällt, ist der große

Tab. 4.1 Wie viele Arten leben in Deutschland und auf der Welt? [3]

Artengruppe	Artenzahl in Deutschland	Artenzahl weltweit
<i>Wirbeltiere</i>		
Säugetiere	104	5513
Vögel	328	10.425
Kriechtiere	13	10.038
Lurche	22	7302
Fische und Rundmäuler	197	32.900
<i>Wirbellose</i>		
Insekten	33.305	1.000.000
Krebstiere	1067	47.000
Spinnentiere	3783	102.248
Weichtiere und andere Wirbellose	5963	156.002
Einzeller	3200	8118
Tiere gesamt	47.982	1.379.546
<i>Pflanzen</i>		
Samenpflanzen	2988	270.000
Farnpflanzen	74	12.000
Moose	1053	16.000
Algen	5328	30.400
Pflanzen gesamt	9443	328.400
<i>Flechten und Pilze</i>		
Flechten	1946	18.000
Pilze	12.092	100.420
Arten insgesamt	71.463	1.826.366

Unterschied zwischen Land- und Meeresorganismen. Aus den Ozeanen wurden bisher etwa 195.000 Arten beschrieben – ein kleiner Anteil aller bekannten Arten!

Was an der Tabelle auffällt, sind die wenigen Rekordhalter in Sachen Artenzahlen: Auf Platz eins stehen die Insekten. Sie dominieren die Welt, was die Artenvielfalt betrifft. Daher meinten die Biologen Thomas Eisner und Edward Wilson: „Ob wir uns dessen voll bewusst sind oder nicht, wir menschlichen Wesen sind eingetaucht in eine Welt der Insekten.“

Bei den Wirbeltieren überragen die Fische alle anderen Tierstämme; bei den Pflanzen leben wir eindeutig im Zeitalter der Samenpflanzen, also der Nadelhölzer und eigentlichen Blütenpflanzen. Moose, Farne, Schachtelhalme und dergleichen sind längst nicht so artenreich.

Wie viele Arten gibt es in Deutschland? Eine Zählung ergab die erstaunlich hohe Zahl von etwa 71.500 Arten. Die Verteilung der Arten auf die verschiedenen Tierstämme und Pflanzengruppen gleicht dabei der globalen Verteilung. Die heimische Artenvielfalt macht uns aber auch etwas anderes deutlich. Die meisten Arten kennen wir gar nicht und werden sie wohl auch nie zu Gesicht bekommen. Wahrscheinlich werden wir auch nie etwas mit ihnen zu tun haben.

Mit Dreisatz und Rauch in eine neue Dimension

Erste Ansätze zur Ermittlung der wirklichen Anzahl vorhandener Arten bestimmter Tierstämme bedienen sich eines einfachen Dreisatzes. So stellten die beiden Wissenschaftler

Nigel Stork und Kevin Gaston folgende Überlegung an: In England leben 67 verschiedene Arten an Tagfaltern, das sind die tagaktiven Schmetterlinge. Hinzu kommen etwa 22.000 weitere Insektenarten – Wildbienen, Fliegen, Blattläuse, Käfer und weitere Insektengruppen. Zwei Zahlen, die zueinander ins Verhältnis gesetzt werden können. Die Tagfalter machen in England 0,3 Prozent aller britischer Insekten aus. Weltweit sind etwa 15.000 bis 20.000 Arten von Tagfaltern bekannt. Also müsste die Anzahl von Insektenarten insgesamt zwischen 4,9 und 6,6 Mio. Arten liegen.

Die Überlegung ist einfach und nachvollziehbar, doch an einer Stelle hakt es. Sie geht davon aus, dass der relative Anteil an Tagfaltern in der Insektenwelt überall gleich hoch ist, in England wie im Rest der Welt. Das ist jedoch unwahrscheinlich. Warum etwa sollte in den Tropen der Anteil gleich hoch sein? Der englische Naturforscher und Insektenkundler Henry Walter Bates (1825–1892) berichtete 1892 aus Brasilien, dass er während eines nur einstündigen Spaziergangs über 700 Schmetterlingsarten sammeln konnte. Da dürfte es doch insgesamt noch sehr viel mehr Insektenarten geben?

Einen anderen Ansatz verfolgte der Entomologe und Tropenbiologe Terry Erwin von der Smithsonian Institution. Er hat sein Leben den Insekten Panamas verschrieben, vor allem den Käfern, und zahlreiche neue Arten entdeckt. 1982 veröffentlichte er einen kurzen Fachartikel, in welchem er Überlegungen zur Artenvielfalt von Gliedertieren in den Tropen anstellt. Gliedertiere, das sind neben Insekten auch Spinnen, Asseln, Tausendfüßer, Milben und Krebse. Erwin zählte ein paar Jahre zuvor die Anzahl der Käferarten, die auf einer bestimmten Baumart

des Regenwaldes in Panama gefunden werden. Der Baum trägt den wissenschaftlichen Namen *Luehea seemannii* und ist ein Malvengewächs. Er wird etwa 40 Meter hoch. Erwin hätte genauso gut eine andere Baumart wählen können, er wusste aber, warum er sich auf nur eine Art konzentrierte.

Um an die Krabbeltiere im Kronenbereich heranzukommen, griff Erwin zu einer Holzhammermethode und räucherte den Baum kurzerhand mit einem Insektizid ein. Auf ausgelegten Tüchern konnten er und seine Mitarbeiter die Insekten leicht auflesen.

Er untersuchte 19 Bäume dieser einen Baumart während drei Aufenthalten in Panama und fand insgesamt etwa 1000 verschiedene Käferarten. Die anderen Insektenarten interessierten ihn vorerst nicht. Die Käfervielfalt auf *Luehea* fällt nun in zwei Gruppen: Arten, die vom Baum leben, also Spezialisten sind, und Arten, die sich wohl zufällig auf dem Baum befinden. In der Insektenwelt sind viele Arten auf bestimmte Pflanzenarten spezialisiert, d. h., sie benötigen sie als Nahrung. Wir kennen das Phänomen auch aus unseren Gefilden. Eichengallwespen brauchen Eichen zum Leben, sie sind von ihnen abhängig, so wie der Pappelschwärmer Pappeln braucht.

Erwin ging davon aus, dass von seinen 1000 Arten an Käfern etwa 200 Arten auf den Baum *Luehea* spezialisiert sind, dazu kommen ein paar Arten, die im Wurzelbereich leben – also vielleicht 240 spezialisierte Käferarten. Nun machen Käfer etwa 40 Prozent aller Gliedertiere aus. Außerdem sind aus den Tropen etwa 50.000 verschiedene Baumarten bekannt. Es braucht nur etwas Rechnerei, um die unglaubliche Zahl von 30 Mio. Arten an Gliedertieren zu erhalten – dies nur für die Tropen und nur für baumwohnende Arten.

Robert May verfolgte einen vollkommen anderen Ansatz. Er stellte eine klare Beziehung zwischen der Anzahl Tierarten und ihrer Körpergröße auf. Eine offensichtliche Beziehung, denn von großen Tieren wie Elefant, Giraffe oder Nashorn gibt es nur ganz wenige Arten. Die Artenzahl nimmt sehr rasch zu, wenn kleinere Tiere betrachtet werden – von Nagetieren bis zu Insekten. Bei den Insekten aber wird die Beziehung schwammig und unklar, je mehr kleine Arten betrachtet werden. Es gibt zu wenige Arten, um die Beziehung auch in diesem Bereich klar zum Ausdruck kommen zu lassen. Fehlen da also Arten? May kam so zum Schluss, dass möglicherweise 10 bis 15 Mio. Tierarten auf der Erde leben, die meisten davon kleine Krabbeltiere.

Natürlich haben auch Erwins und Mays Überlegungen ihre Tücken. Was in all diesen Schätzungen aber klar zum Ausdruck kommt, ist, dass es eine sehr große Zahl unbekannter Arten gibt. Die neueste Schätzung zur Anzahl nicht beschriebener und noch zu entdeckender Arten hat ein internationales Team von Wissenschaftlern 2011 veröffentlicht. Die Biologen führten komplexe Datenauswertungen vor, die uns nicht weiter zu beschäftigen brauchen. Die Ergebnisse lassen aufhorchen. Nach 250 Jahren taxonomischer Klassifikation wäre bisher nur ein kleiner Anteil aller Arten (14 Prozent) beschrieben worden, in den Ozeanen sogar noch weniger (9 Prozent), erklären sie in ihrem Artikel. Besonders unerforscht seien die Pilze, nur etwa 7 Prozent der Arten seien bisher beschrieben worden. Wer also neue Arten entdecken möchte, sucht am besten bei den Pilzen oder angelt sich aus dem Meer, was immer dort an neuen Organismen zu finden ist.

Die Autoren gingen von insgesamt etwa 9 Mio. Arten auf der Erde aus. Und sie stellten einen interessanten Gedanken an. Unter der Annahme, dass die Rate von Entdeckungen neuer Arten gleich bleibt und die Beschreibung der neuen Arten gleich viel kostet – auch Taxonomen müssen Geld verdienen –, dauert es 1200 Jahre, um die unbekannten Arten zu erfassen und zu katalogisieren! Da liegt eine gewaltige Aufgabe vor uns, und das vollständige Erfassen der globalen Artenvielfalt wird noch Generationen von Biologen beschäftigen.

Aber es wird nie möglich sein, den globalen Artenreichtum bis auf die letzte Stelle der Zahl beziffern zu können. Der Artenschwund dauert unvermindert an, sodass viele Arten aussterben, bevor sie jemand überhaupt sieht. Selbst wenn man vom Aussterben absieht, bleibt eine vollständige Katalogisierung unmöglich. Dazu müsste jeder Quadratmeter der Erdoberfläche und des Ozeanbodens abgesucht und die vorhandenen Arten müssten inventarisiert werden; nur so wäre ein Übersehen einer neuen Art zu vermeiden – ein Ding der Unmöglichkeit. Für ein Gesamtbild der Artenvielfalt dürften zudem Mikroorganismen nicht außer acht gelassen werden. Doch gerade bei den Bakterien und mikroskopisch kleinen Pilzen wimmelt es von schwer erkennbaren Arten.

Was bedeutet dies alles nun?

Ist es wichtig zu wissen, ob nun 5 Mio. Arten existieren oder ein Mehrfaches davon? Die Frage ist letztlich müßig, vor allem angesichts des weltweiten Artenschwundes und

der Lebensraumzerstörung durch die eine dominante Art namens *Homo sapiens*. Ein berühmter Biologe, Daniel Janzen von der University of Pennsylvania in den Vereinigten Staaten, hat eine andere Einstellung zur Frage nach der globalen Artenvielfalt als Robert May. Janzen schrieb:

Das Feststellen der Anzahl Arten ist reine Zeitverschwendung – in den meisten Fällen ein absurdes Unterfangen. Es spielt nicht die geringste Rolle, ob ein eben gerodeter Regenwald 100.000, 150.000 oder 300.000 Arten beherbergte [1].

Janzen spricht nicht so sehr von der globalen Anzahl Arten, sondern von der Artenvielfalt in bestimmten Lebensräumen, und seine Botschaft ist klar: Der menschengemachte Verlust an Arten ist tragisch und unabhängig von der Größenordnung der wirklich vorhandenen Anzahl von Arten (Abb. 4.1).

Dennoch ist es sinnvoll, wenigstens annähernd einen Schätzwert der globalen Artenvielfalt zu bekommen. Und wenn die Zahl keine Rolle spielen sollte, bräuchte es ja auch keine Bemühungen, neue Arten zu finden und zu beschreiben. Genau dies wäre aber falsch. Je mehr Arten wir kennen, desto besser und vollständiger wird unser Bild von der Biodiversität auf unserem Planeten. So ist es durchaus gerechtfertigt, dass botanische Gärten und zoologische Museen mit aktiven Forschungsprogrammen sich der Erkundung wenig bekannter Organismengruppen oder noch wenig erforschter Gebiete widmen. Jeder Neufund ist spannend, spektakulär und manchmal sogar für uns nützlich. In den 1970er-Jahren entdeckte



Abb. 4.1 Wie viele Arten beherbergt dieses Stück tropischer Regenwald in Malaysia? Möglicherweise noch viele unentdeckte Arten. Durch fortschreitende Zerstörung gehen viele von ihnen verloren, bevor sie überhaupt entdeckt werden können. Dieses Stück Regenwald wurde inzwischen wahrscheinlich gerodet. (Foto: Jasmin Joshi)

der Reisforscher Yuan Longping eine neue Varietät von Wildreis, die sich für die Züchtung neuer Sorten als sehr wertvoll herausstellte. Neue Arten stellen auch immer ein Potenzial neuer Wirkstoffe für die Entwicklung von Medikamenten dar. Damit bin ich bei der Nutzung der Biodiversität, die mich noch ausführlich beschäftigen wird. Vorerst bleiben wir im Gelände und widmen uns der Erfassung der lokalen Biodiversität.

Literatur

1. International Barcode of Life (2017) 8.7 million species ... who cares? <http://www.ibol.org/8.7-million-species-who-cares/>. Zugriffen: 9. Aug. 2017

Weiterführende Literatur

2. Bates HW (1892) *The Naturalist on the River Amazons*. A record of adventures, habits of animals, sketches of Brazilian and Indian life, and aspects of nature under the equator, during eleven years of travel. John Murray, London
3. Bundesamt für Naturschutz (2015) *Artenschutz-Report 2015. Tiere und Pflanzen in Deutschland*. Bundesamt für Naturschutz, Bonn
4. Chapman AD (2009) *Numbers of living species in Australia and the World*. Australian Biodiversity Information Services Toowoomba, Australia
5. Erwin TL (1982) Tropical forests: their richness in Coleoptera and other arthropod species. *The Coleopterists Bulletin* 36:74–75
6. May RM (2011) Why worry about how many species and their loss? *PLoS Biol* 9:e1001130. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001130>
7. Mora C, Tittensor DP, Adl S, Simpson AGB, Worm B (2011) How many species are there on Earth and in the ocean? *PLoS Biol* 9:e1001127. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001127>
8. Scheffers BR, Joppa LN, Pimm SL, Laurance WF (2012) What we know and don't know about Earth's missing biodiversity. *Trends Ecol Evol* 27:501–510
9. Wright J (2014) *The naming of the shrew. A curious history of Latin Names*. Bloomsbury, London

5

Biomonitoring – klassisch und modern

Wir hätten auch Quadrate auslegen können, aber wir richteten Transekte ein. Ausgehend von einer Forststraße markierten wir Bäume entlang einer möglichst geraden Linie von 500 Metern Länge durch den Wald. Das war vor Jahren, als ich einem Forstwissenschaftler bei der Feldarbeit in der Nähe des Columbia River im Westen der USA half. Wir befanden uns in einem urwüchsigen Wald, einem „old growth forest“, mit majestätischen, alten Nadelbäumen. Im Unterwuchs kamen viele junge Bäume auf. Tom brauchte Daten über die Artenvielfalt auf dem Waldboden und die Altersstruktur der Bäume. Entlang eines Transektes markierten wir in regelmäßigen Abständen kleine Quadrate auf dem Waldboden. In ihnen sollte die Artenvielfalt der Pflanzen auf dem Boden erfasst werden. Die Altersstruktur der Bäume ergab sich durch den Stammdurchmesser der Bäume entlang der Transekte.

Die Transekte und Quadratflächen stellten Stichproben für die Datenerhebung dar. Wer mit Stichproben zu tun hat, kommt um Statistik nicht herum. Wie viele Stichproben sind notwendig, um ein repräsentatives Bild abzugeben? Das Erfassen der lokalen Biodiversität oder die Häufigkeit einer bestimmten Art ist eine Wissenschaft für sich. Hier haben Biologen mit denselben Problemen zu kämpfen wie ein Meinungsforschungsinstitut, das eine Umfrage durchführt. Wie viele Personen sollten antworten, welche Bevölkerungsschichten sollten daran beteiligt sein, um ein repräsentatives Bild abzugeben, und wie sollten die Fragen formuliert werden?

Alle Zahlen zur globalen Artenvielfalt, über die ich in Kap. 3 berichtete, beruhen auf lokalen Erhebungen und Hochrechnungen auf größere Gebiete. Niemand kann jeden Quadratkilometer der Erdoberfläche oder nur eines Waldes durchkämmen und alle Arten darin notieren. So werden im ganzen Land und auf der ganzen Welt im Rahmen von Forschungsprojekten Probeflächen abgesteckt oder, bei Untersuchungen eines Gewässers, Wasserproben gesammelt.

Biomonitoring: Qualitätskontrolle der Umwelt

Werden Probeflächen oder Transekte immer wieder aufgesucht und dieselben Daten erhoben, lassen sich zeitliche Veränderungen der Artenvielfalt, der Häufigkeiten bestimmter Arten und der Umweltbedingungen aufzeigen.

Das ist der Sinn des Biomonitorings. Ist die Biodiversität in festgelegten Flächen einmal erfasst, haben Biologen einen Referenzpunkt in den Händen, und jede weitere Erhebung kann mit der Ersterhebung verglichen werden. Deswegen ist es so wichtig, immer dieselbe Fläche zu betrachten. Wenn bei jeder Erhebung andere Flächen herangezogen werden, sind die Daten nicht vergleichbar. Schließlich sind keine zwei ausgesteckte Quadrate in einem Wald oder in einer Wiese genau gleich. Deshalb braucht man auch mehr als eine Dauerfläche, um ein aussagekräftiges Bild zu bekommen.

Biomonitoring zielt nicht nur auf die Artenvielfalt ab und stützt sich nicht nur auf Dauerflächen. In Bayern läuft seit 2008 ein Monitoring für den Luchs, um genaue Bestandsaufnahmen zu erhalten und die Entwicklung der Population zu verfolgen. Neben dem Sichten von Spuren im Gelände gehört auch die Arbeit mit Kamerafallen dazu. Der Dachverband Deutscher Avifaunisten führt seit Ende der 1990er-Jahre in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Naturschutz ein Vogelmonitoring durch, das durch ehrenamtliche Vogelfreunde bewerkstelligt wird. Vielleicht zeigt gerade dieses Programm die Bedeutung des Biomonitorings. Ohne langfristige Datenerhebungen konnte nicht bewiesen werden, dass in Deutschland jede dritte Brutvogelart in den letzten zwanzig Jahren massive Bestandsrückgänge erlitt. Biomonitoring ist für den Naturschutz ein unentbehrliches Instrument geworden. Für Vögel benötigt man keine Dauerflächen, dennoch wenden die Vogelkundler ebenfalls standardisierte Methoden der Vogelzählung an.

Dauerflächen dienen in erster Linie zur Dokumentation der Pflanzen und Kleinlebewesen wie Insekten oder Schnecken. Ihre Größe richtet sich nach dem Lebensraum. In einem Wald muss eine Probefläche naturgemäß größer sein als in einer Wiese. Dauerflächen sind inzwischen in vielen Ländern vorhanden, sie sind aber eine neue Erfindung. Zu den ältesten Dauerflächen zählen sicher die „Woolsey Plots“ im US-Bundesstaat Arizona, die Forstwissenschaftler zwischen 1909 und 1913 angelegt hatten. Ziel war es, die Entwicklung von ausgelichteten Beständen der Ponderosa-Kiefer zu dokumentieren. Aber auch in den Niederlanden wurden in den 1930er-Jahren Dauerflächen eingerichtet, um Veränderungen der Vegetation zu untersuchen. Diese Langzeitbeobachtungen sind ein Fundus für die Biodiversitätsforschung.

Das Schweizer Modell

Kein Land hat ein solch dichtes Netz von Dauerflächen und führt so regelmäßige Datenerhebungen durch wie die Schweiz. Das Alpenland ist federführend in Europa und eines der ersten Länder weltweit, das ein Netz von Dauerflächen eingerichtet hat, um die langfristige Entwicklung der Biodiversität sichtbar zu machen. Das Besondere liegt an der Erfassung vieler verschiedener Organismengruppen in denselben Flächen. Zudem liegen Daten aus anderen Erhebungen vor, etwa zur Stickstoffbelastung des Bodens. Das erlaubt das Prüfen von Zusammenhängen. Für eine genaue Dokumentation der Artenvielfalt an Pflanzen, Moosen und Schnecken sind 1500 Dauerflächen von je

10 Quadratmetern über das ganze Land verteilt. Gewässerinsekten werden auf 520 Flächen an Flüssen und Bächen erfasst. Auf insgesamt 450 Flächen von je einem Quadratkilometer werden die häufigsten Gefäßpflanzen, alle anwesenden Brutvögel und tagaktiven Schmetterlinge registriert. Das Monitoring läuft seit 2001, die Vorarbeiten dazu begannen bereits 1996.

Das Schweizer Biodiversitätsmonitoring hat ein paar Besonderheiten, die sicher zum Erfolg beitragen. Matthias Plattner von der Umweltberatungsfirma Hintermann & Weber betreut einen Teil des Monitorings. Er erklärt (Plattner 2016, mündliche Kommunikation):

Das Biodiversitätsmonitoring bezahlt die Personen, die im Feld die Daten erheben. Je nach Artengruppe sind unterschiedliche Berufsgruppen beteiligt. Für Pflanzenarten haben wir professionelle Botaniker. Bei den tagaktiven Schmetterlingen sind es neben Profis auch Amateure aus den Regionen, die bei gutem Wetter eine Dauerfläche aufsuchen können und die über die entsprechende Artenkenntnis verfügen.

Der Arbeitsaufwand wird also entschädigt und bedarf nicht eines ehrenamtlichen Engagements. So suchen Dutzende von Expertinnen und Experten die Flächen jedes Jahr mindestens einmal auf und notieren die Artenvielfalt.

Da fallen riesige Datenmengen an, die ausgewertet werden müssen. Der Aufwand lohnt sich, denn nur so lassen sich Trends aufzeigen. Welche Arten gehen zurück, und womit hängt der Rückgang zusammen? Treten manche Arten häufiger auf als vor zehn Jahren? Verhalten sich verschiedene Organismengruppen ähnlich?

Matthias Plattner weist auf einen wichtigen Punkt hin. Als vor rund zwanzig Jahren das Biodiversitätsmonitoring eingerichtet wurde, dachte niemand an den Klimawandel. Das sei damals kein Thema gewesen. Wegen der umfassenden und standardisierten Erhebungsmethode und den umfangreichen Daten könne man aber nun Auswirkungen der Erwärmung zeigen. So dringen tagaktive Schmetterlinge und gewisse Pflanzenarten zunehmend in höhere Regionen der Alpen vor. Das Aufzeigen solcher zeitlicher Entwicklungen ist ein Beweis dafür, dass Änderungen stattfinden, und bilden die wissenschaftliche Grundlage für entsprechende Maßnahmen. Werden nur Momentaufnahmen gemacht, fehlt der Kern der Aussage.

Die Dauerflächen sorgen auch immer wieder für Überraschungen. „Bei Moosen wurden schon Arten gefunden, die für die Schweiz als ausgestorben gegolten hatten“, so Plattner.

Das Schweizer Biodiversitätsmonitoring sieht einer gesicherten Zukunft entgegen. Finanzierung und damit Kontinuität sind gewährleistet – die wichtigste Voraussetzung für ein gut funktionierendes Biomonitoring.

In Deutschland fehlt bisher ein bundesweites Monitoringprogramm. Zwar konnten für bestimmte Organismengruppen und bestimmte Lebensräume standardisierte Monitoringprogramme aufgebaut werden – das Vogelmonitoring etwa, das Luchsmonitoring oder die Erfassung von Fledermäusen –, insgesamt sei die „Datenlage zur biologischen Vielfalt in Deutschland aber noch lückenhaft und uneinheitlich“, so ein Bericht des Bundesamtes für Naturschutz aus dem Jahr 2015. Es fehle an finanziellen und personellen Mitteln, um ein dauerhaftes und

bundesweites Biodiversitätsmonitoring auf die Beine zu stellen. Zudem mangle es zunehmend an Spezialisten für bestimmte Artengruppen, weil die Vermittlung von Artenkenntnis in den Schulen und Universitäten immer weniger Raum einnähme, so die Autoren des Berichtes. Hier besteht sicher Handlungsbedarf.

Eine Gruppe von Wissenschaftlern schlägt daher vor, ein „Nationales Servicezentrum für umweltbezogene biologische Daten“ einzurichten. Dessen Aufgabe sei die Vernetzung bestehender Aktivitäten und das Zusammenführen der vielen unabhängigen Erhebungen.

Dafür arbeiten zahlreiche Wissenschaftler in Deutschland an neuen Methoden der Erhebung von Daten zur Artenvielfalt, und hier tut sich Erstaunliches.

Automatische Erfassung

Bei jedem Monitoring müssen Pflanzen- und Tierarten erkannt werden, sei es im Gelände oder auf den Fotos von Kamerafallen. Das Identifizieren der Arten obliegt dem Menschen. Könnte man das Erkennen von Arten nicht automatisieren?

Wolfgang Wägele, Zoologieprofessor und Direktor des Zoologischen Forschungsmuseums Alexander Koenig träumt jedenfalls von einer Wetterstation für Artenvielfalt. Er ist an einem großen Forschungsprojekt namens AMMOD beteiligt, die Abkürzung steht für „Automated Multisensor Station for Monitoring of Species Diversity“ – automatische Multisensorstation für das Monitoring der Artenvielfalt. Was verbirgt sich dahinter?

Eine automatische Gesichtserkennung in Bildern und Videosequenzen ist heutzutage kein Problem mehr. Softwareingenieure hatten entsprechende Programme zur Bildanalyse entwickelt, und die Methoden kommen im Sicherheitsdienst, bei der Fahndung und bei der Kundenanalyse zum Einsatz. Wenn Computer lernen, Gesichter zu erkennen, könnten sie dann nicht auch Vögel oder Schmetterlinge erkennen?

Am Projekt AMMOD beteiligen sich neben dem Zoologischen Forschungsmuseum und dem Museum für Naturkunde Berlin sechzehn weitere Universitäten und Forschungszentren wie das Fraunhofer-Institut für Intelligente Analyse- und Informationssysteme. Das Forschungsprogramm steht noch in den Anfängen, doch die Ziele sind hochgesteckt: Neuartige Techniken sollen zusammengeführt werden, um den Erkennungsprozess von Arten zu automatisieren, etwa durch eine automatische Bilderkennung von Vögeln. An solchen Systemen wird intensiv gearbeitet, die ersten Pilotversuche laufen bereits. „Ich denke, dass wir relativ schnell bei geeigneter Förderung erste Prototypen für Spezialbereiche der Biodiversität erstellen können, welche uns Daten von gesellschaftlicher Relevanz liefern werden“, meint Erik Rodner von der Universität Jena. Der Computerspezialist arbeitete am Lehrstuhl für Digitale Bildverarbeitung. Weiter erklärt er: „Aufgrund der Forschungsergebnisse und Weiterentwicklungen im Bereich der Bildverarbeitung und des maschinellen Lernens, sind wir aktuell in der Lage, eine große Anzahl unterschiedlicher Vogelarten automatisch zu

unterscheiden.“ So werden in einem Testlauf von 200 amerikanischen Vogelarten etwa 85 Prozent richtig erkannt.

Automatische Bilderkennung ist nur ein Teil der möglichen technischen Innovationen zur Erfassung von Artenvielfalt. Vögel oder Fische etwa könnten durch eine Kamera erfasst werden. Fluginsekten und Pollenkörner von Pflanzen könnten von einem Gerät automatisch gesammelt und die Arten mittels DNA identifiziert werden. Vögel, Fledermäuse und Grillen könnten auch bioakustisch erkannt werden. Ein bisschen viel Konjunktiv, aber die Ideen sind nicht von der Hand zu weisen. Welches System auch immer eines Tages den Dienst antreten wird, es muss zwischen Amsel, Drossel und Kohlmeise unterscheiden können.

Das Museum für Naturkunde in Berlin forscht über Möglichkeiten des bioakustischen Monitorings. Dazu hatten die Wissenschaftler ein Tierstimmenarchiv aufgebaut, das rund 120.000 Tonaufnahmen von den Lautäußerungen einheimischer Tiere enthält – Vögel, Säugetiere, Amphibien, Reptilien, Fische und etliche Wirbellose, in erster Linie Insekten. Wenn Aufnahmegeräte mit einer langen Laufzeit im Gelände aufgestellt werden, lässt sich die Anwesenheit entsprechender Tierarten nachweisen (Abb. 5.1). Ein einfaches Prinzip, das im Rahmen eines Moorschutzprogrammes in Mecklenburg-Vorpommern zum Einsatz kommt. Eine zerstörte Moorfläche von 840 Hektar wird hier durch Wiedervernässung in einen möglichst naturnahen Zustand überführt. Die aufgestellten Mikrofone lauschen, wie sich die Vogelwelt in dem



Abb. 5.1 Die Natur rund um die Uhr belauschen – eine solargepeiste autonome Aufzeichnungseinheit zur Langzeiterfassung von Tierstimmen. Die Tonaufzeichnungen erfolgen im Rahmen eines Langzeitmonitorings einer Moorrenaturierungsfläche in Mecklenburg-Vorpommern. (Foto: K.-H. Frommolt)

renaturierten Moor entwickelt. „Mit unseren Aufzeichnungen konnten wir die Anwesenheit der versteckt lebenden nachtaktiven Tüpfel-, Kleinen und Zwergsumpfhühner nachweisen“, heißt es auf der Webseite des Projektes.

Bei der Entwicklung der verschiedenen Systeme arbeiten Techniker und Biologen eng zusammen, Biodiversitätsforschung und innovative Techniken gehen Hand in Hand. Auf diesem Gebiet ist in den kommenden Jahren noch einiges zu erwarten. Was das Erkennen von Arten anhand von DNA-Proben anbelangt, vollzieht sich zurzeit ein Umbruch mit weitreichenden Folgen.

Die DNA-Revolution

Früher war alles anders. Für die Bestimmung der Art eines Insektes oder eines Baumes hieß es, Bestimmungsbücher hervorzuholen und sich durch den Bestimmungsschlüssel durchzuarbeiten. Und man musste den Organismus vor sich haben. Oft brauchte man Lupe oder gar Mikroskop, um den Feinbau etwa eines Käfers zu sehen. Manche Artengruppen sind äußerst schwierig zu bestimmen, weil viele ähnliche Arten existieren. So benötigt man laut eines Bestimmungsbuchs zur Flora von Deutschland Dünnschnitte der Blätter, um die ca. dreißig Arten von Schwingel zu bestimmen, eine Gattung der Gräser.

Die Ära, eine Art klassisch aufgrund von Form und Gestalt zu bestimmen, ist noch nicht zu Ende, doch neue Techniken revolutionieren die Artenbestimmung. Allen voran die DNA-Analysen.

Heute reicht ein Blättchen, ein Tropfen Wasser aus einem See oder ein Haar, das man ins Labor bringt, um eine Art sicher bestimmen zu können – statt Bestimmungsbuch also DNA-Sequenzierer. Anhand der aufgeschlüsselten DNA lässt sich die Probe eindeutig einer Art zuordnen.

Dazu benötigt man aber eine Vergleichsdatenbank, in der DNA-Sequenzen von möglichst vielen Arten abgelegt sind. Die Kunst besteht darin, geeignete Abschnitte der DNA zu finden, die unverwechselbar und eindeutig einer einzigen Art zugeordnet werden können. Ein solcher Abschnitt ist dann gleichsam ein Strichcode für die Art. Mit anderen Worten, man braucht spezifische genetische

Marker für jede Art – einen DNA-Barcode. Für das DNA-Barcoding müssen artspezifische Stücke der DNA vorhanden sein, die innerhalb einer Art möglichst nicht variieren.

Das Erarbeiten der Daten ist ein Riesenaufwand. Am Aufbau der Datenbanken wird indes mit Hochdruck gearbeitet. In Deutschland läuft ein Projekt namens „German Barcode of Life“ oder kurz GBOL, das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung gefördert wird. Wolfgang Wägele ist begeistert und schreibt: „Dank DNA-Barcoding ist die Bestimmungsarbeit bald kein Hindernis mehr für ökologische Grundlagenforschung.“ DNA-Barcoding ist nur dann sinnvoll, wenn möglichst viele Arten erfasst werden. In der Datenbank von GBOL stehen mittlerweile die Informationen zu etwa einem Drittel der in Deutschland vorkommenden Pflanzen- und Tierarten. Fehlen noch die restlichen zwei Drittel und die Pilze, somit steht noch viel Arbeit an. International sind es rund 500.000 Arten, für die es nun einen DNA-Barcode gibt, wie auf der International Barcode of Life Conference von 2015 berichtet wurde. Eine rasante Entwicklung, die erst etwa 2003 ihren Anfang nahm.

Diese Methoden geben den Forschern und Naturschützern ungeahnte Möglichkeiten an die Hand, gerade auch für das Biomonitoring. DNA lässt sich nämlich noch zu vielen anderen Zwecken verwenden als zum bloßen Erkennen einer Art. Sie erlaubt den indirekten Nachweis von Arten in einem Gebiet, ohne die Lebewesen jemals zu Gesicht zu bekommen. Das kann bei seltenen und scheuen Tierarten von großem Vorteil sein.

Umwelt-DNA

DNA ist überall. Ob im Wasser, im Boden oder auf Blättern und Zweigen, überall wimmelt es von DNA-Bruchstücken. Hautpartikel, Fischschuppen, Haare, Speichel, Blutspuren, Urin, abgestorbene Lebewesen, Eier von Insekten und anderen Wirbellosen, einzelne Zellen und vieles mehr ist in der Umwelt reichlich vorhanden. Jeder Organismus gibt beständig DNA-haltiges Material an die Umwelt ab. Biologen sprechen daher von Umwelt-DNA oder e-DNA (aus dem Englischen *environmental DNA*), um sie von der körpereigenen DNA lebender Organismen zu unterscheiden. Mit geeigneten Methoden kann Umwelt-DNA entziffert und die Art, von der sie stammt, mittels DNA-Barcoding identifiziert werden.

Eine Studie aus der Schweiz machte die Probe aufs Exempel. Die Forscher füllten an acht verschiedenen Stellen eines Flusses bei Zürich Flaschen mit Wasser, das war ihr Ausgangsmaterial. Jede Probe enthielt rund einen Liter Flusswasser, mitsamt den Schwebeteilchen darin. Die Biologen extrahierten die DNA und fanden eine erstaunliche Artenvielfalt vor: Insgesamt konnten sie 255 verschiedene Arten nachweisen, die zu 120 verschiedenen Familien gehören. Das ganze Spektrum an Kleinlebewesen in Gewässern zeigte sich – aber nicht nur das. Auch Landlebewesen wie bestimmte Schnecken und Gliedertiere variierten durch ihre DNA ihre Anwesenheit. Durch Regen kamen die DNA-Bruchstücke wahrscheinlich in den Fluss. Das Artenspektrum stammte aus neunzehn Tierstämmen,

von Bärtierchen über Insekten bis hin zu Ringelwürmern und Schwämmen.

Das Beispiel zeigt die Vorzüge der modernen Techniken. Biologen brauchen keine Lebendproben der Tiere zu sammeln und stressen die Organismen dadurch nicht mehr. Vor allem können mit ein und derselben Probenentnahme alle Organismengruppen erfasst werden. Das wäre mit klassischen Methoden – Planktonnetze, Auflesen der Tiere von Hand, Sammeln von Sediment – nicht möglich. Man benötigt auch keine umfangreichen und zeitaufwendigen Bestimmungsarbeiten durch Spezialisten. Wer Bärtierchen gut kennt, hat kaum eine Ahnung von Plattwürmern; jeder Tierstamm muss gesondert behandelt werden.

Umwelt-DNA und DNA-Barcoding werden künftig für Biomonitoring sehr wichtig werden. Die Anwesenheit seltener und bedrohter Arten lässt sich dadurch einfach nachweisen. Dies wird auch im Naturschutz große Bedeutung erlangen, wenn etwa Wilderei oder illegal gerodetes Holz nachgewiesen werden muss, um die Verantwortlichen zur Rechenschaft zu ziehen.

Geht die klassische Taxonomie verloren?

Nun könnte man einwenden, dass das alles schön und gut sei, aber die klassische Artenkenntnis auf diese Weise verloren gehe. Wenn Biologen die Arten selbst gar nicht mehr untersuchen müssen, wenn sie nicht mit der Lupe die

Feinstruktur einer Fliege betrachten müssen, um die Art zu bestimmen, verfügen sie dann überhaupt über das entsprechende Wissen? Gehen wir einer Zeit entgegen, in der kaum jemand noch die Namen der Blumen, Vögel und Insekten weiß? Nun, in solch einer Zeit leben wir bereits, wie wir in Kap. 20 sehen werden. Die Artenkenntnis ist geschrumpft, aber das hat mit dem technischen Fortschritt des Biomonitorings nichts zu tun.

Wolfgang Wägele hat jedenfalls keine Bedenken gegenüber den modernen Methoden, im Gegenteil. Schließlich gehöre zur Artenkenntnis mehr als das Wissen des Namens: „Die neuen Techniken ersetzen Bestimmungsbücher, nicht aber die Artenkenntnis, zu der sehr viel mehr gehört: Wissen über den Lebenszyklus, die Ansprüche an den Lebensraum, das Verhalten, die Funktion der Morphologie und die Einbindung in Nahrungsnetze.“ Leicht zu bestimmende Arten wie Vögel werden zudem nach wie vor „von Hand“ erfasst.

Wägele weist noch auf einen anderen Punkt hin: „Der Verzicht auf neue Techniken bedeutet, dass dringend benötigte Daten nicht erhoben werden können, weil die vorhandene Expertise und Arbeitskraft den Bedarf bei Weitem nicht decken kann. Neue Techniken sind auch ein Anreiz für junge Menschen, die die digitale Welt lieben. Diese Motivation müssen wir mit Naturerlebnis und sinnvoller Freizeitgestaltung verbinden.“

In der Tat, wenn junge Informatiker statt in der Unterhaltungsindustrie für Biomonitoring arbeiten, ist doch viel gewonnen!

Weiterführende Literatur

1. AMMOD: Eine Wetterstation für Artenvielfalt. <https://www.zfmk.de/de/forschung/projekte/ammod-eine-wetterstation-fuer-artenvielfalt>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
2. Biodiversitätsmonitoring Schweiz. <http://www.biodiversity-monitoring.ch>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
3. Bundesamt für Naturschutz. Biologische Vielfalt. <http://biologischevielfalt.bfn.de>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
4. Bundesamt für Naturschutz (2015) Fachinformation des BfN zur „Naturschutz-Offensive 2020“ des Bundesumweltministeriums. Status, Trends und Gründe zu den prioritär eingestuften Zielen der NBS. BfN-Skripten 418. <http://www.bfn.de>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
5. Deiner K, Fronhofer EA, Mächler E, Walser JC, Altermatt F (2016) Environmental DNA reveals that rivers are conveyor belts of biodiversity information. Nature communications 7, article 12544. <https://doi.org/10.1038/ncomms12544>
6. Doerpinghaus A, Dröschmeister R, Fritsche B (2010) Naturschutzmonitoring in Deutschland. Stand und Perspektiven. Naturschutz und Biologische Vielfalt 83:261–274
7. GBOL. German Barcode of Life. <https://www.bolgermany.de>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
8. iBOL. International Barcode of Life. <http://www.ibol.org>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
9. BDM Koordinationsstelle (2014) Biodiversitätsmonitoring Schweiz BDM. Beschreibung der Methoden und Indikatoren. Bundesamt für Umwelt, Bern (Umwelt-Wissen Nr. 1410)
10. Marquard E, Dauber J, Doerpinghaus A, Dröschmeister R, Frommer J, Frommolt KH, Gemeinholzer B, Henle K, Hillebrand H, Kleinschmit B, Klotz S, Kraft D, Premke-Kraus M, Römbke J, Vohland K, Wägele W (2013)

Biodiversitätsmonitoring in Deutschland: Herausforderungen für Politik, Forschung und Umsetzung. *Natur und Landschaft* 88:337–341

11. Roth T, Plattner M, Amrhein V (2014) Plants, birds and butterflies: short-term responses of species communities to climate warming vary by taxon and with altitude. *PLoS ONE* 9:e82490
12. SRU/Sachverständigenrat für Umweltfragen (2012) Verantwortung in einer begrenzten Welt. Schmidt, Berlin
13. Trans-Lynx-Projekt. <http://www.luchsprojekt.de>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
14. Wägele W (2016) DNA-Barcoding ermöglicht den universalen und effizienten Zugang zu Artenwissen. *Biol unserer Zeit* 46:267
15. Wahl J, Dröschmeister R, Gerlach B, Grüneberg C, Langgemach T, Trautmann S, Sudfeldt C (2015) Vögel in Deutschland – 2014. DDA, BfN, LAG VSW, Münster

Teil II

**Vielfalt von den Genen bis zu
Lebensgemeinschaften**

6

Persönlichkeiten bei Tier und Pflanze

Die Landschaft Schwedens ist in weiten Teilen eintönig, die Artenvielfalt ist hier mager im Vergleich zu Südeuropa. Das muss doch zwangsläufig einen Einfluss auf all jene Menschen ausüben, die sich der Botanik verschrieben haben. Im Süden kommt man mit Botanisieren kaum nach, doch wird es einem Botaniker im Norden nicht langweilig? Vielleicht liegt es an der Artenarmut, dass skandinavische Botaniker schon früh begonnen hatten, sich die Arten selbst genauer anzusehen als die gesamte Artenvielfalt. Wie vielfältig sind denn die Individuen einer Art?

Das fragte sich der schwedische Botaniker und Evolutionsbiologe Göte Vilhelm Turesson (1892–1970), der an der Schwedischen Universität für Agrarwissenschaften lehrte und forschte. Was ihn berühmt machte, waren seine Verpflanzungsexperimente aus den Jahren 1919 bis 1927.

Der junge Turesson holte Birken aus den unterschiedlichsten Gegenden Schwedens und pflanzte sie in einen Garten auf dem Gelände der Universität, alles in allem mehrere Hundert Bäume. Die Herkunftsorte reichten von der Umgebung Malmös ganz im Süden des Landes bis nach Lappland, eine Strecke von fast 1500 Kilometern. Klar, dass auch das Klima entlang dieser Strecke variiert und gegen Norden zunehmend kälter wird, was mit einer kürzeren Zeit verbunden ist, die für Wachstum zur Verfügung steht. Wie würden sich die Birken verhalten, wachsen sie alle gleich oder zeigen sich Unterschiede?

Nordländer sind anders als Südländer

Die Bäume stehen heute noch im Versuchsgarten und zeigen neunzig Jahre nach der Verpflanzung immer noch das, was Turesson so beeindruckte. „Jedes Frühjahr und jeden Herbst faszinieren mich von Neuem die deutlichen Unterschiede in der Phänologie“, erklärt der Pflanzenökologe und Professor Göran Thor. Man müsste diese Birken aus der Vogelperspektive während eines Jahres filmen und den Film mit Zeitraffer ablaufen lassen. Da würde sich etwas Spektakuläres beobachten lassen. Das Aufbrechen der Knospen und das Entfalten der ersten Laubblätter geschieht an den Bäumen nicht gleichzeitig, sondern gestaffelt: Zuerst öffnen die Birken aus dem Süden ihre Knospen, zuletzt die aus dem Norden. Der klimatische Gradient wird im Zeitpunkt des Knospenöffnens abgebildet, eine Welle der Blattentfaltung läuft über die Birken. Im Herbst verfärben sich die Blätter der Nordbäume als

Erstes, während die Blätter an den Südbäumen noch grün bleiben, diese Bäume verlieren ihre Blätter als Letzte.

Ist das nicht erstaunlich? Alle diese Birken stehen nebeneinander im Versuchsgarten, erfahren genau dieselben Lebensbedingungen wie Bodenbeschaffenheit, Lichtverhältnisse und lokales Klima. Ihre Phänologie, die zeitliche Entwicklung während des Jahres vom Blattaustrieb bis zur Fruchtreife, ist auf geheimnisvolle Art und Weise in den Birken festgeschrieben.

Genauer gesagt, in ihren Erbanlagen oder Genen. Turesson vermutete richtig, dass genetisch bedingte Unterschiede in seinen Birken bestehen und dass diese Unterschiede mit den Örtlichkeiten zusammenhängen, aus denen die Bäume stammen. Darin liegt der Trick der Verpflanzung: Wenn alle Bäume dieselben Bedingungen zum Wachsen haben, und es zeigen sich dennoch Unterschiede, können diese nur genetisch bedingt sein.

Vielfalt der Gene

Birke ist also nicht gleich Birke, da gibt es genetische Vielfalt. Mehr noch, die Verteilung der genetischen Vielfalt entspricht dem klimatischen Gradienten. Warum entfalten Südländer als Erste ihre Blätter? Da, wo sie herkommen, wird es schon früh im Jahr warm genug, sodass es sinnvoll ist, die Blätter rechtzeitig auszufahren und mit dem Wachstum zu beginnen. Nordländer hingegen tun gut daran, an ihren Wuchsorten lange genug zu warten, bis kein Frost mehr droht. Geregelt wird der Laubaustrieb übrigens durch die Tageslänge, die Pflanzen messen

können. Turessons Birken sind also an die jeweiligen Örtlichkeiten angepasst.

Solche Verpflanzungsexperimente wurden und werden zuhauf gemacht. Was Turesson an Birken entlang einer Nord-Süd-Achse beobachtete, konnten Botaniker auch für Höhengradienten zeigen. Bei vielen Pflanzenarten lassen sich lokale Formen erkennen, die je nach Bodentyp in Gestalt und Physiologie anders sind. Turesson nannte solch lokale Populationen mit unterschiedlichen Ansprüchen an die Wuchsbedingungen Ökotypen. Sie sind bei Pflanzen häufig, so auch bei Arten, die schwermetallhaltige Böden besiedeln. Von der Ackerschmalwand, das Laborpflänzchen der modernen Genetiker, sind über 750 verschiedene Ökotypen bekannt. In der Land- und Forstwirtschaft sind unterschiedliche Ökotypen besonders wichtig, weil sich so Sorten für besondere Bodenverhältnisse und lokales Klima entwickeln lassen.

Alle eben aufgezählten Beispiele stehen für das äußerlich sichtbare Ergebnis genetischer Vielfalt in den Populationen. Das Vorhandensein genetischer Variation ist die Regel, und bei Pflanzen weitaus offensichtlicher als bei Tieren, weil sich Unterschiede in Form und Gestalt leicht beobachten lassen. Aber auch Tierindividuen unterscheiden sich im Verhalten, Fortpflanzungserfolg oder Aussehen. Es ist unwahrscheinlich, dass sämtliche Wildschweine Europas genau gleich veranlagt sind.

Zoologen sprechen von ökologischen Rassen statt von Ökotypen; vom Großen Tümmler (*Tursiops truncatus*) existieren nach Auffassung von Meeresbiologen zwei bis drei Rassen. Der Fichtenkreuzschnabel (*Loxia curvirostra*)

hat zwei ökologische Rassen als Anpassung an unterschiedliche Nahrungsquellen gebildet, an Kiefernzapfen oder Fichtenzapfen. Der kräftige Schnabel besteht aus übereinander gekreuzten Spitzen, ein Spezialwerkzeug, mit dem sich die Vögel die Samen aus den Zapfen von Nadelbäumen klauben. Ein Kraftakt, gilt es doch, die festen Schuppen eines Zapfens auseinanderzuspreizen. Fichtenzapfen sind aber leichter zu bearbeiten als Kiefernzapfen. So haben Fichtenkreuzschnäbel in Schottland und im Mittelmeergebiet einen kräftigeren Schnabel als in Mittel- und Nordeuropa, eine Anpassung an die vorherrschenden Kiefern in diesen Gebieten. In Mitteleuropa und im Norden hingegen wachsen meist Fichten, da benötigen die Vögel nicht gar so ein schweres Gerät, um an die Samen heranzukommen.

Arten, die ein großes geografisches Gebiet besiedeln, weisen oft eine hohe genetische Vielfalt unter ihren Individuen auf. Das ist einleuchtend, denn die Landschaft ist nicht überall gleich, Bodenverhältnisse und lokales Klima zeigen regionale Unterschiede. So gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen der landschaftlichen Vielfalt und der genetischen Vielfalt einer Art.

Die Birken Skandinaviens zeigen eine geografisch verteilte genetische Vielfalt. Als es nach den Eiszeiten wieder allmählich wärmer wurde und viele Baumarten sich wieder in Richtung Norden ausbreiteten, differenzierten sie sich, und ihre Populationen passten sich den jeweiligen Umweltbedingungen an. Damit ist das Stichwort gefallen. Ein solcher Anpassungsprozess ist nur möglich, wenn es in den Populationen selbst genetische Vielfalt gibt.

Die Gene in einer Paarungsgesellschaft

Jede Art besteht aus Populationen, Gruppen von Individuen, die sich paaren und so Gene austauschen. Bei Pflanzen bedeutet Paarung die Befruchtung der Blüten, wenn Pollenkörner auf dem Fruchtknoten in der Blüte landen und die Eizelle mit dem Inhalt des Pollenkorns verschmilzt. Männliches und weibliches Erbgut vereint sich, erst jetzt kann die Nachkommenschaft heranwachsen. Bei Tieren ist der Fall klar. Auch die Tatsache, dass sich eine weibliche Maus aus dem Spreewald bei Berlin kaum mit einem Männchen am Fuße der Zugspitze paaren wird. Populationen sind die Einheiten einer Art, die Dorfgemeinschaften, in ihnen wird gelebt, geliebt und gezeugt. Die sexuelle Fortpflanzung sorgt für die Durchmischung der Gene in der Population und bringt neue Kombinationen hervor. Dörfer und Populationen können weit voneinander entfernt sein oder nahe beieinander liegen, was sich auf den Genaustausch zwischen ihnen auswirkt.

Genetische Vielfalt heißt Vielfalt der Gene, und diese sind aus DNA gemacht, der Erbsubstanz. Jedes Individuum besitzt eine einzigartige Zusammensetzung der Gene. Diese Einzigartigkeit zeigt sich in geringfügigen Unterschieden im Aufbau der DNA, die in jeder Zelle wohlbehütet vorhanden ist. Nur bei eineiigen Zwillingen und bei klonierten Wesen ist die Erbsubstanz genau gleich, die Abfolge der Bausteine identisch. Wir Menschen besitzen 23.000 Gene, und wenn jemand blaue Augen hat, ein anderer braune, liegt das in der Verschiedenheit der Gene, die für die Augenfarbe zuständig sind. Da sind

Spielvarianten vorhanden, Genetiker sprechen von Allelen. Genetische Vielfalt wird meist als Prozentsatz unterschiedlicher Allele in einer Population ausgedrückt.

Mit den heutigen Techniken der DNA-Analysen können Wildtierbiologen und Pflanzenökologen die genetische Vielfalt einer Population oder einer Art leicht bestimmen. Dazu sammeln sie im Gelände DNA-Proben. Bei Tieren sind das Haarbüschel, Federn oder Blutproben; bei Pflanzen genügen ein paar Blättchen. Im Labor wird die DNA extrahiert, und mit aufwendigen Methoden werden bestimmte Abschnitte sequenziert, also die Reihenfolge der Bausteine wird entziffert. Da zeigen sich dann die Unterschiede. Je mehr verschiedene Allele gefunden werden, desto höher ist die genetische Vielfalt. So wurden in einer Studie 373 Gene des Amerikanischen Aals angeschaut, von denen 52 Prozent Spielvarianten zeigten.

Ob die genetische Vielfalt einer bestimmten Population hoch oder niedrig ist, lässt sich kaum sagen. Es gibt bei der genetischen Vielfalt keinen Mindestwert, der erreicht werden muss. Nur aus dem Vergleich mit anderen Populationen und anderen Arten lassen sich Rückschlüsse ziehen. Bei solch empirischen Studien ist es wichtig, möglichst viele Arten und Populationen zu untersuchen. Dann lässt sich das Ausmaß der genetischen Vielfalt in Beziehung setzen zur Populationsgröße, also der Anzahl der Individuen, und zur Vitalität der Individuen. Letztere zeigt sich etwa im Fortpflanzungserfolg. Die vielen genetischen Studien über Wildpflanzen und Wildtiere zeichnen ein eindeutiges Bild. So ist in kleinen Populationen die genetische Vielfalt meist geringer als in großen. Und kleine Populationen

sind oft weniger vital, was sich bei Pflanzen als geringerer Samenansatz zeigt und bei Tieren als verminderter Fortpflanzungserfolg.

Ohne Vielfalt keine Evolution

Eine der wichtigsten Botschaften Darwins ist die Erkenntnis, dass ohne genetische Vielfalt keine einzige Art Fortschritte machen kann bei der Anpassung an sich ändernde Lebensbedingungen. Ohne genetische Vielfalt hat die natürliche Auslese oder Selektion nichts, woraus sie die Besten auswählen kann. Genetische Vielfalt ist das Rohmaterial der Evolution und der Anpassungsfähigkeit. Die gesamte Evolution einschließlich der Neubildung von Arten beruht auf genetischen Varianten und auf dem Prozess der natürlichen Auslese. Gäbe es keine Spielvarianten der Gene, würde Evolution nicht stattfinden. So steht die Vielfalt an Genen in direktem Zusammenhang mit der Artenvielfalt.

Angesichts sich ändernder Klimabedingungen kommt der Anpassungsfähigkeit von Pflanzen- und Tierarten größte Bedeutung zu. Arten mit einem hohen Grad an genetischer Vielfalt werden sich leichter an neue Lebensbedingungen anpassen können als Arten mit einer nur geringen Vielfalt an genetischen Varianten. Das wiederum hat Konsequenzen für all die Arten, die seltener werden, weil ihre Individuenzahl sinkt. Beispielsweise durch Lebensraumzerstörung oder Bejagung, was zu einem lokalen Aussterben von Populationen führen kann.

Exkurs: Warum hohe genetische Vielfalt von Vorteil ist

In der Naturschutzgenetik besteht die einhellige Meinung darüber, dass ein hohes Ausmaß an genetischer Vielfalt besser ist als ein geringes Ausmaß. Eine genügend hohe genetische Vielfalt kann für die langfristige Existenz einer Art entscheidend sein, und zwar aus folgenden Gründen:

- Inzucht wird vermieden. Das Paaren erblich ähnlicher und nahe verwandter Individuen fördert das Auftreten nachteiliger Gene. Dadurch werden Erbkrankheiten häufiger und die Vitalität der Population sinkt. Die Vermehrungsrate wird beeinträchtigt, was sich in weniger Nachkommen oder einer geringeren Überlebensfähigkeit der Nachkommen zeigt.
- Die Anpassungsfähigkeit oder das evolutionäre Potenzial einer Population beruht auf dem Vorhandensein vieler verschiedener Genvarianten. Fehlen diese und ändern sich langfristig die Lebensbedingungen, kann sich die Population nicht anpassen und stirbt aus.
- Die Resistenz gegenüber Krankheitskeimen ist in Populationen mit hoher genetischer Vielfalt besser als in Populationen mit geringer genetischer Vielfalt. Das liegt an der höheren Wahrscheinlichkeit, dass in einer vielfältigen Population resistente Individuen vorhanden sind.
- Die Auswirkungen kurzfristiger Veränderungen der Lebensbedingungen wie außergewöhnliche Trockenheit oder außergewöhnliche Kälte wird von genetisch vielfältigen Populationen leichter abgefangen als von genetisch verarmten Populationen.

Der Fluch der Einfalt

Das Gegenteil von Vielfalt ist wohl Einfalt oder besser Gleichheit. Biologen sprechen im Falle der genetischen Vielfalt lieber von genetischer Uniformität. Viele der modernen Getreidesorten sind genetisch uniform und alle einzelnen Pflanzen haben genau dieselbe Zusammensetzung der Gene. Das macht sie anfällig für Krankheitserreger wie Viren und Pilze. Wenn in einem Feld ein Pathogen auftritt, gegen das die Sorte nicht resistent ist, hilft nur noch der Einsatz von Pestiziden.

Genetische Uniformität stellt einen Extremfall dar. Selbst eine nur geringe genetische Vielfalt kann sich nachteilig auswirken und sogar die Geschichte prägen. Als Ursache der Hungersnot in Irland von 1850 gilt das Auftreten der Kraut- und Knollenfäule, einer Pilzerkrankung der Kartoffelpflanze. Der Erreger namens *Phytophthora infestans* begann, sich seit 1845 in den Kartoffelfeldern auszubreiten; er wurde um 1840 aus Nordamerika nach Europa eingeschleppt. Die eigentliche Ursache lag aber möglicherweise an der geringen genetischen Vielfalt der Kartoffelpflanzen. Alle Pflanzen in Irland stammten von wenigen eingeführten Pflanzen ab und wurden durch die Knollen auf ungeschlechtlichem Wege vermehrt. Bei vielen Pflanzen ist ein solches Klonen leicht zu bewerkstelligen. Den Kartoffeln fehlten die Gene, die eine Abwehr des Erregers ermöglicht hätten. So starben Hunderttausende Menschen, und die Hungersnot löste eine Auswanderungswelle nach Amerika aus.

Die Kartoffeln Irlands oder die uniformen Hochleistungssorten von Getreide stellen eine unnatürliche Situation dar. Erstaunlicherweise zeigen auch in der Natur bestimmte Pflanzenarten so gut wie keine genetische Vielfalt. Dies ist aber nur bei Arten möglich, die sich ungeschlechtlich vermehren können. So wie der Scheiden-Gelbstern (*Gagea spathacea*), ein Liliengewächs feuchter Wälder. Die Art besteht aus einem Megaklon, denn alle individuellen Pflanzen in Europa sind genetisch uniform, von Schweden bis Norditalien und von Belgien bis Kaliningrad. Bisher ist dem Klon nichts passiert, doch eine geringe genetische Vielfalt kann eine Art durchaus in ihrer Existenz bedrohen.

Eines der am besten untersuchten Tiere diesbezüglich ist der Gepard. Das schnellste Raubtier der Welt ist gleichzeitig die gefährdetste Großkatzenart in Afrika. Ereignisse in der Vergangenheit und in der Gegenwart setzen dem Tier arg zu.

Wird der Gepard überleben?

In Namibia widmet sich der Cheetah Conservation Fund fast ausschließlich dem Gepard (*Acinonyx jubatus*), einer majestätischen Raubkatze (Abb. 6.1). Neben einer Tierklinik steht ein modernes Labor für DNA-Analysen auf dem Gelände nahe der Stadt Otjiwarongo. Die Tierärztin Laurie Marker hat die Organisation 1990 gegründet. Eine Tierklinik und ein Genetiklabor nur für eine Tierart? Da müssen schon ganz besondere Gründe vorliegen.



Abb. 6.1 Der Gepard ist das schnellste Raubtier der Welt. (© Conny/stock.adobe.com)

Einst waren Geparden über weite Teile Afrikas und des Nahen Ostens verbreitet, mit Zehntausenden von Tieren. Noch vor 1900 besiedelten Geparden das ganze südliche Afrika, den größten Teil des nördlichen Afrika sowie große Gebiete von der Arabischen Halbinsel bis nach Indien. Die Bestände sind seither so stark geschrumpft, dass die Tiere heute in fünf voneinander isolierten Gebieten leben. Eines davon liegt in Namibia und Botswana mit rund 6000 Tieren. Zoologen unterscheiden fünf verschiedene Unterarten des Gepards, die sich auf die fünf Gebiete verteilen. Von der asiatischen Unterart existieren nur noch etwa hundert Tiere in Iran.

Es sind die üblichen Probleme, die auch anderen Wildtieren zu schaffen machen und die Bestände dezimieren:

Zerstörung und Degradierung von Lebensraum, Wilderei und Konflikte mit Farmern. Beim Gepard kommt noch etwas anderes hinzu: Er überlebte das Massenaussterben vor etwa 12.000 Jahren knapp, das 75 Prozent aller großen Tierarten auslöschte. Die Folge war, dass die Anzahl der Individuen des Gepard sehr stark sank, und damit verminderte sich die genetische Vielfalt. Die Überlebenden des Ereignisses bildeten eine kleine Stammgruppe aller heute vorhandener Tiere, die in der Folge genetisch ähnlich sind. Die Tiere leiden darunter, sie sind anfällig für Krankheiten, weisen Missbildungen am Schwanz auf, und ihr Sperma ist von schlechter Qualität. Das sind eindeutige Anzeichen von Inzucht und keine gute Voraussetzung für den langfristigen Erhalt der Art. Eine der neuesten Studien über den Gepard zeigt eine kontinuierliche Abnahme der genetischen Vielfalt zwischen 1975 und 2010. Dem Tier muss geholfen werden.

Daher erforschen Laurie Marker und ihre Mitarbeiter den Gepard und seine Lebensweise. Genetische Analysen werden durchgeführt, der Gesundheitszustand der Tiere wird erfasst. Auch das Wiederherstellen geeigneter Lebensräume ist eine wichtige Aufgabe, genauso wie Konfliktmanagement mit Bauern und vor allem das Einbringen frischen Blutes durch Wiederansiedlung von Tieren aus anderen Gebieten. Die Population muss größer werden, darin sind sich die Zoologen einig. Anders kann die verarmte genetische Vielfalt nicht verbessert werden. Das ist aber nur möglich, wenn Gepard und Mensch friedlich zusammenleben können. Bis dahin scheint der Weg noch weit. Es bleibt zu hoffen, dass all die Bemühungen Früchte tragen und die Wildkatze einer gesicherten Zukunft entgegenblickt.

Ausnahmen bestätigen die Regel

Nicht immer weist eine geringe genetische Vielfalt auf einen nachteiligen Zustand einer Tier- oder Pflanzenart hin. Ein interessanter Fall einer Tierart, die trotz äußerst geringer genetischer Vielfalt vital erscheint, ist der Wanderalbatros (*Diomedea exulans*). Eine Gruppe französischer und kanadischer Biologen suchten die Brutgebiete des Vogels auf und sammelten Blutproben von 400 Nestlingen. Die DNA wurde aufbereitet und der Prozentsatz unterschiedlicher Varianten von über zweihundert Genen bestimmt. Die Forscher staunten nicht schlecht über die Ergebnisse. Im Bestand des Wanderalbatros sind nur gerade 5 Prozent der Gene unterschiedlich; bei anderen Vogelarten liegt der Wert beträchtlich darüber. Der König der Lüfte lebt mit einer verarmten Vielfalt an Genen, und es scheint ihn nicht zu stören. Er gesellt sich zu einer Handvoll weiterer Arten, die gegen die Theorie zu sprechen scheinen. Die schwedischen und norwegischen Populationen des Europäischen Bibers (*Castor fiber*) sind genetisch verarmt, so wie der Madagaskarseeadler oder der Apollofalter. Alle diese Tiere leben munter und gesund, und dies seit langer Zeit. Sind es Ausnahmen? Möglicherweise. Man wird nie mit Sicherheit sagen können, ob der gemessene Wert der genetischen Vielfalt gut oder schlecht ist. Der Kontext ist wichtig, und um welche Art es sich handelt. Es macht einen großen Unterschied, ob Nahrung in Hülle und Fülle vorhanden ist und der Lebensraum stabil bleibt oder ob die Organismen ein schwereres Leben

haben. Der Biologe David Reed meint: „Die Lebensfähigkeit einer Population sollte niemals aufgrund der genetischen Vielfalt alleine beurteilt werden.“ Man muss sich die Organismen ansehen. Im Zweifelsfall sind viele Genvarianten aber besser als wenige.

Ich habe von geeigneten Lebensräumen des Gepards gesprochen. Die Vielfalt an Lebensräumen ist ebenfalls Teil der Biodiversität und Thema des folgenden Kapitels.

Weiterführende Literatur

1. Cheetah Conservation Fund (2016). <http://www.cheetah.org>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
2. Holderegger R, Segelbacher G (Hrsg) (2016) Naturschutzgenetik. Ein Handbuch für die Praxis. Haupt, Bern
3. Milot E, Weimerskirch H, Duchesne P, Bernatchez L (2007) Surviving with low genetic diversity: the case of albatrosses. *Proc R Soc Biol* 274:779–787
4. Pfeiffer T, Klahr A, Peterson A, Levichev IG, Schnittler M (2012) No sex at all? Extremely low genetic diversity in *Gagea spathacea* (Liliaceae) across Europe. *Flora* 207:372–378
5. Reed DH (2010) Albatrosses, eagles and newts, oh my!: exceptions to the prevailing paradigm concerning genetic diversity and population viability? *Anim Conserv* 13:448–457
6. Terrell KA, Crosier AE, Wildt DE, O'Brien SJ, Anthony NM, Marker L, Johnson WE (2016) Continued decline in genetic diversity among wild cheetahs (*Acinonyx jubatus*) without further loss of semen quality. *Biol Conserv* 200:192–199

7

Lebensräume und Schicksalsgemeinschaften

Wer im Nordschwarzwald das Hochmoor Kaltenbronn aufsucht, betritt eine vollkommen andere Welt. Der dunkle Fichtenwald weicht und gibt den Blick auf einen Moorsee frei, mit ein paar Bauminseln und einem moorigen Randbereich. Wenn wir vom Rande her in diese Welt eindringen, wird es feucht und schließlich nass unter den Füßen. Der Boden besteht nicht mehr aus Erde, sondern aus hellgrünem bis rötlichem Torfmoos, das beim Gehen nachgibt. Ein paar Birken und Kiefern stehen am Rande des Moores. Und genau hier leben ganz andere Pflanzenarten als im umgebenden Wald, wie Sonnentau oder Wollgras. Auch besondere Insektenarten wie der Hochmoorlaufkäfer sind im Hochmoor anzutreffen. Kein Zweifel, ein Hochmoor ist ein anderer Lebensraum als der Fichtenwald. Hochmoore mit ihren schwammigen Moosteppichen übten schon immer eine große Faszination auf

Menschen aus. Dichter haben Moore besungen und Maler sie in ihren Bildern in Szene gesetzt.

Ich habe von Vegetationszonen gesprochen. Eigentlich gehören der Schwarzwald, Deutschland und ganz Mitteleuropa zur Vegetationszone „sommergrüne Laubwälder“, doch das ist nur eine Grobeinteilung. Die Vegetationszonen sind die großen Einheiten der Pflanzendecke. Sie entsprechen gleichsam einem Blick aus weiter Distanz, wo Nadelwälder, Laubwälder oder Wüstengebiete sich als einheitliche Landstriche zeigen. Auf dem Boden hingegen sieht die Welt anders aus, da lassen sich etliche kleinere Einheiten erkennen, die sich in ihrer Artenzusammensetzung klar unterscheiden. Die Natur ist hierarchisch organisiert. Und weil wir in Kaltenbrunn auf etwa 900 Metern über dem Meer sind, wächst hier auch Nadelwald statt Laubwald.

Manche Lebensräume grenzen sich scharf voneinander ab, wie beim Hochmoor oder am Rand eines Sees. Im Uferbereich steht der Schilf im Wasser, weiter vorne schließt sich dem Schilfgürtel ein Seerosengürtel an. Zwei verschiedene Lebensräume, die sich strukturell stark voneinander unterscheiden: entweder senkrechte, aus dem Wasser ragende Halme oder flache, auf dem Wasser schwimmende Blätter. Nicht immer lassen sich Lebensräume so klar erkennen. In vielen Fällen gehen sie fließend ineinander über und unterscheiden sich nur geringfügig. Ich erinnere mich gut an die botanischen Exkursionen während meiner Studienzeit, vor allem an den ansteckenden Enthusiasmus des Professors. Durchstreiften wir die Wälder der näheren Umgebung, erklärte er unermüdlich die verschiedenen

Waldtypen, angefangen vom Hainsimsen-Buchenwald bis zum Waldmeister-Buchenwald. Wald ist also nicht gleich Wald, selbst beim Buchenwald nicht. Ein Lärchenwald ist leicht von einem Eichenwald zu unterscheiden, die Feinheiten der weiteren Unterteilung hingegen bedürfen genauer Beobachtungen im Gelände und vor allem Kenntnisse der Artenvielfalt.

Der offenkundigste Teil der Biodiversität

Damit bin ich inmitten der Vielfalt an Lebensräumen. Sie ist derjenige Teil der Biodiversität, der uns in der Natur auf Schritt und Tritt begegnet. Die gesamte Artenvielfalt sehen wir in der Regel nicht, die genetische Vielfalt schon gar nicht, auch Verbreitungsgebiete können wir nicht beobachten. Aber das Nebeneinander von vielen verschiedenen Lebensräumen erfahren wir ständig, bei jeder Wanderung und jeder Reise. Die Natur besteht aus einem Mosaik von Lebensräumen, das die Landschaft ausfüllt. Es sind sich wiederholende Elemente mit einer charakteristischen Artengemeinschaft.

Und was wir als Erstes erblicken, sind zwei Dinge, die einen Lebensraum ausmachen, der Bewuchs und der Untergrund. Die Pflanzen erblicken wir sofort, auch die Gestalt des Geländes, ob der Untergrund felsig, sandig oder moorig ist. Daher ist es nicht erstaunlich, dass Lebensräume in erster Linie durch die vorherrschenden Pflanzenarten beschrieben werden. Die nichtbiologischen

Eigenschaften sind ebenso wichtig, denn sie beschreiben die Lebensbedingungen. Biologen sprechen lieber von Umweltbedingungen. In jedem Lebensraum herrschen bestimmte Umweltbedingungen vor wie das lokale Klima, Wassertemperatur, Salzgehalt, Steilheit des Geländes, Säuregrad des Bodens und vieles mehr.

Die Anzahl der Arten in jedem der Lebensräume unterscheidet sich stark. Schilfröhricht ist ausgesprochen artenarm, eine natürliche Monokultur, was die Pflanzen betrifft. Ein Kalkmagerrasen hingegen zählt zu den artenreichsten Lebensräumen unseres Landes. Er ist zudem ein Lebensraum, der durch den Menschen entstanden ist: Auf ehemaligen Waldflächen wurde er durch Mähen oder Beweidung geschaffen. Den Artenreichtum verdankt er dem Umstand, dass er nicht gedüngt wird. Viele Lebensräume unserer Kulturlandschaft sind keine natürlichen, tragen aber zur Biodiversität bei. Auch Weinberge beherbergen seltene Arten wie die Wildtulpe – wenn der Boden nicht gespritzt wird, um jegliches Kraut und Unkraut fernzuhalten.

Wie viele Lebensräume gibt es in Deutschland?

Diese Frage ist keineswegs leicht zu beantworten! Einen Katalog aller Pflanzen- oder Tierarten aufzustellen ist viel einfacher, als einen Katalog aller Lebensräume zu bekommen.

Ein Bericht zur Lage der Natur in Deutschland spricht von 750 Lebensräumen. Der Biologe Randolph Manderbach listet auf seiner Webseite „Deutschlands Natur“ lediglich 95 Lebensräume auf; eine riesige Diskrepanz zwischen den Angaben, die sicher mit unterschiedlichen Auffassungen zu tun haben, wie denn ein Lebensraum genau zu definieren sei. Ist ein Hochmoor ein Lebensraum oder jeder der feineren Bestandteile? Die Oberfläche eines Hochmoores ist nicht von gleichmäßiger Beschaffenheit, da gibt es erhöhte Kuppen, die Bulte, und wassergefüllte Vertiefungen, die Schlenken. Sie sorgen für ein kleinräumiges Nebeneinander verschiedener Pflanzengesellschaften. Sie sehen, es ist alles eine Frage der Auflösung, vergleichbar mit Karten unterschiedlichen Maßstabes. Auf einer Karte von ganz Deutschland zeigt sich Berlin als Fleck, auf einem Stadtplan hingegen erkennen wir Straßen und Stadtviertel.

Zu den Pflanzengesellschaften werde ich gleich kommen. Als Überblick zur Vielfalt der Lebensräume im Land genügt die Zusammenstellung von Randolph Manderbach. Hier zeigt sich, dass wir eine erstaunliche Vielfalt in unserer Landschaft vorfinden, alleine bei den Wäldern unterscheiden Experten 18 verschiedene Waldtypen (Tab. 7.1).

In der einschlägigen Literatur existieren weitere Begriffe wie Biotop und Habitat. Ob wir ein Hochmoor nun als Lebensraum, Biotop oder Habitat bezeichnen, ist hier nicht weiter wichtig. Diese drei Begriffe werden heutzutage mehr oder weniger als gleichbedeutend verstanden.

Tab. 7.1 Lebensräume Deutschlands. Die Aufzählung ergibt insgesamt 95 verschiedene Lebensräume. (Nach *Deutschlands Natur* 2016)

Lebensraumtypen	Anzahl Lebensräume
Lebensräume an der Küste und salztolerante Vegetation	6
Dünen an der Küste und im Binnenland	8
Süßwasserlebensräume	21
Heide- und Buschvegetation	4
Hartlaubgebüsche	2
Natürliches oder naturnahes Grasland	13
Hoch- und Niedermoore	5
Felsige Lebensräume und Höhlen	9
Wälder	18
Lebensräume in Siedlungen oder Siedlungsnähe	9

Pflanzensoziologen schauen genau hin

Schon früh hatten Botaniker bemerkt, dass gewisse Arten stets gemeinsam vorkommen, andere aber nicht. Es gibt erlaubte und verbotene Kombinationen. Der Sonnentau ist mit Torfmoos vergesellschaftet, er tritt aber nie zusammen mit Schlüsselblumen auf.

Aufgrund solcher Artenkombinationen müsste es doch möglich sein, die Vegetation in verschiedene Pflanzengesellschaften einzuteilen. Das ist Gegenstand eines etwas aus der Mode gekommenen Wissenschaftszweiges, der Pflanzensoziologie, der Lehre der Vergesellschaftung von Pflanzenarten. Einer ihrer Begründer war der Schweizer Botaniker Josias Braun-Blanquet (1884–1980), der ein System zur Typisierung der Vegetation entwickelte, und zwar aufgrund der häufigsten Arten in den

Pflanzengesellschaften. Dazu werden alle Pflanzenarten eines bestimmten Gebietes – ein Stück Wiese oder die Vegetation eines Felshanges – erfasst und ihre relativen Häufigkeiten geschätzt. Mit großem Aufwand versuchten Geobotaniker aufgrund solcher Vegetationsaufnahmen, die Vegetation zu gliedern, Einheiten zu definieren und ein Klassifikationssystem zu entwickeln; ähnlich wie die Einordnung von Arten in Gattungen und Familien. Nicht immer gelang dies, doch die Bemühungen waren nicht vergebens. Auch heute spielen pflanzensoziologische Erhebungen im Gelände eine Rolle, etwa in der Land- und Forstwirtschaft, bei Biotopkartierungen und im Biomonitoring. „Ich denke, dass pflanzensoziologische Einheiten nach wie vor von großer Relevanz in der Naturschutzplanung sind“, meint Werner Härdtle, Vorstandsmitglied der Floristisch-soziologischen Arbeitsgemeinschaft und Professor für Landschaftsökologie und Naturschutz an der Leuphana Universität Lüneburg.

Die Pflanzensoziologen unterscheiden insgesamt 788 verschiedene Pflanzengesellschaften in Deutschland, und es gibt sogar ein Bestimmungsbuch dazu. Es ist eine viel feinere Unterteilung der Vegetation als die Unterscheidung von Lebensräumen. Was mir aber wichtiger scheint, ist das Erbe früherer Pflanzensoziologen. Die zahlreichen Vegetationsaufnahmen, die vor fünfzig bis sechzig Jahren in ganz Europa erhoben wurden, sind heute ein Fundus für die Biodiversitätsforschung. Die Flächen können wieder aufgesucht und so Veränderungen der Artenzusammensetzung dokumentiert werden. Eine Zeitspanne zwischen Anfangszustand und jetzigem Zustand von mehreren Jahrzehnten ist in der Ökologie selten.

Gefährdete Lebensräume

Wie bei den Arten existieren auch bei den Lebensräumen oder Pflanzengesellschaften weitverbreitete und seltene. Ein Hochmoor gehört zu einem sehr seltenen Lebensraum – selten geworden durch Torfabbau, Entwässerung und Konvertierung in landwirtschaftliche Produktionsflächen. Auch der Steppen-Kiefernwald ist ein seltener Lebensraum Deutschlands und wegen seiner vielen Orchideen zudem ein schützenswerter. Seit 1992 wird in der Europäischen Union ein Netz von Schutzgebieten aufgebaut, das dem Erhalt wild lebender Pflanzen- und Tierarten und ihren natürlichen Lebensräumen dienen soll. Die Länder der EU hatten sich auf 231 besonders schützenswerte Lebensräume geeinigt, davon kommen 92 in Deutschland vor. Alle diese Schutzgebiete bilden das ökologische Netz „Natura 2000“. Die Schutzgebiete in Deutschland umfassen dabei etwa 15 Prozent der Landesfläche und 45 Prozent der marinen Fläche. Die meisten der schützenswerten Lebensräume sind uns gar nicht vertraut – etwa „entkalkte Dünen mit Krähenbeere“ oder „feuchte Heiden des nordatlantischen Raumes mit Glockenheide“. Letztere kommen vor allem im Nordwesten des Landes vor. Doch gerade weil jeder der 92 schützenswerten Lebensräume etwas Besonderes darstellt, ist deren Erhalt so wertvoll (Abb. 7.1). Einer der seltensten Lebensräume ist sicher das „Buchsbaumgebüsch trockenwarmer Standorte“, das an felsigen Steilhängen mit Südexposition anzutreffen ist. Es gibt nur zwei Vorkommen in Deutschland: an der Mosel in Rheinland-Pfalz und auf



Abb. 7.1 Blick in einen Steppen-Kiefernwald. Im Vordergrund blüht Frühlingsadonis. Der Waldtyp gedeiht in trockenen und niederschlagsarmen Gebieten wie der Schwäbischen Alb oder im Nordosten Deutschlands. (Foto: Randolph Manderbach)

dem Dinkelberg in Baden-Württemberg. Hier wächst der Buchsbaum, den man sonst nur aus dem Garten und von Friedhöfen kennt, auf ganz natürliche Weise.

Ich habe meine Ausführungen absichtlich auf Deutschland beschränkt. Wenn wir bei uns eine solche Vielfalt an Lebensräumen haben, wie viele sind es dann weltweit? Sicherlich Hunderttausende! Nun wird auch klar, warum unter biologischer Vielfalt alles verstanden wird, von den Genen bis zu Landschaften. Alles hängt zusammen. Die so verschiedenartige Form der Erdoberfläche mit Gebirgen und Tälern, unterschiedlichen Gesteinen und Gewässern führt automatisch zu einer Vielfalt von Lebensräumen, die

von geeigneten Arten bewohnt werden. Und die genetische Vielfalt ergibt sich durch Anpassungen jeder Art an die vorherrschenden Umweltbedingungen.

Schicksalsgemeinschaften

Dass Lebensräume in erster Linie aufgrund der Pflanzendecke erkannt werden, liegt auf der Hand. Pflanzen sind der Grundstock, sie bilden die Bühne für die Tierwelt. Und sie sind auf den ersten Blick sichtbar, im Gegensatz zu Insekten oder Vögeln. Selbstverständlich gehören aber auch die Tierarten zu einem Lebensraum, und auch sie bestehen aus bestimmten Arten. Rohrdommeln etwa können ihre Nester nicht auf Seerosen bauen, sie brauchen die Schilfhalme dazu. Die Tierwelt richtet sich nach der Pflanzenwelt. Baumbewohnende Tiere brauchen Bäume zum Leben und können in einer baumlosen Gegend nicht existieren. Und selbstverständlich gehören auch all die anderen Organismen zu einem Lebensraum – Pilze und Mikroorganismen. Sämtliche Arten eines Lebensraumes bilden die sogenannte Biozönose, ein Wort, das der deutsche Zoologe und Ökologe Karl August Möbius (1825–1908) erfunden hat.

Viel wichtiger als der Name ist die Frage, was die Arten miteinander machen und vor allem, was die kunterbunte Artengemeinschaft eines Lebensraumes auf Dauer zusammenhält. Das ist eine der großen Fragen moderner Biodiversitätsforschung. Wie kommt es, dass immer wieder dieselben Arten zusammenfinden und eine scheinbar lange anhaltende und stabile Lebensgemeinschaft bilden?

Eigentlich widerspricht das doch der Lehre Darwins, die vom Überleben des Stärksten ausgeht. Wie ist es dann möglich, dass viele verschiedene Arten gemeinsam an einem Ort vorkommen und glücklich miteinander leben können? Warum nimmt nicht eine Art überhand und verdrängt alle anderen? Das hat mit dem Wohlfühlbereich einer Art zu tun.

Weiterführende Literatur

1. Bundesamt für Naturschutz. Die Lebensraumtypen und Arten der FFH- und Vogelschutzrichtlinie. http://www.bfn.de/0316_lr_intro.html. Zugriffen: 9. Aug. 2017
2. Deutschlands Natur (2016) Deutschlands Natur. Der Naturführer für Deutschland. <http://www.deutschlands-natur.de/lebensraeume/>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
3. Lexikon der Biologie (1999). Springer Spektrum, Heidelberg. <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
4. Natura 2000 Schutzgebiete. <http://www.ffh-gebiete.de/natura2000/>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
5. Schubert R, Hilbig W, Klotz S (2010) Bestimmungsbuch der Pflanzengesellschaften Deutschlands. Springer, Heidelberg
6. Standardliste der Pflanzengesellschaften Deutschlands (2016) <http://www.vim.de/pflanzges/>. Zugriffen: 9. Aug. 2017

8

Wohlfühlbereiche und die Organisation der Natur

Am Institut für Didaktik der Physik an der Universität Münster hat der Physiker Hans-Joachim Schlichting einmal untersucht, in welchem Bereich von Temperatur und Luftfeuchtigkeit sich Menschen wohlfühlen. Danach liegt die größte Behaglichkeit zwischen 20 und 25 °C und bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 50 bis 60 Prozent. Das ist der optimale Bereich. Jenseits davon gibt es noch einen schmalen Bereich, den wir akzeptieren – nicht optimal, aber hinnehmbar. Darunter oder darüber ist es uns aber eindeutig zu kalt, zu warm, zu trocken oder zu schwül. Selbstverständlich tragen noch weitere Faktoren zu unserem Wohlbefinden bei, etwa die Farbtöne der Wände, die Lichtverhältnisse, der Lärmpegel, die Höhe des Einkommens und was auf den Teller kommt. Es sind physikalische Eigenschaften wie Klima und Beschaffenheit der

Umgebung und biologische Sachverhalte, die unseren Wohlfühlbereich bestimmen.

Dies trifft auf alle Arten zu. Jede Art hat einen Bereich von Lebensbedingungen, in dem sie sich optimal entfalten und vermehren kann. Damit sind wir bei der ökologischen Nische, die für das Zusammenleben verschiedener Arten so wichtig ist.

Wie kann man eine Nische erfassen?

Bei Pflanzen beeinflussen neben Temperatur und Luftfeuchtigkeit auch andere Umweltbedingungen das Wachstum, wie Bodenfeuchtigkeit, Säuregrad und Kalkgehalt des Bodens, Nährstoffgehalt des Bodens, Lichtverhältnisse, die Höhe über dem Meeresspiegel und zudem noch zeitliche Schwankungen dieser Faktoren während eines Jahres. Bei Pflanzen sind die Bodenverhältnisse mindestens so wichtig wie das Klima. Das ist in den Alpen besonders auffällig, wo in Böden über Kalkgestein ganz andere Pflanzenarten wachsen als in Böden über Urgestein.

Diese Kenngrößen umschreiben die ökologische Nische einer Art. Die Nische ist ein abstraktes und multidimensionales Gebilde, das niemand grafisch darzustellen vermag. Wir können höchstens drei Dimensionen zeichnen und angeben, in welchem Bereich etwa die Rotbuche am besten wächst. Aber für jede der aufgezählten Kenngrößen gibt es einen optimalen und einen nicht akzeptablen Bereich.

Bei Tieren benötigt man zur Beschreibung der Nische andere Kenngrößen wie bei Pflanzen, etwa die Menge an

vorhandener Nahrung, die Häufigkeit geeigneter Schlafplätze oder der Salzgehalt des Meerwassers. Das Konzept der ökologischen Nische geht auf zwei Zoologen zurück, Charles Sutherland Elton (1900–1991), ein britischer Wissenschaftler, und Joseph Grinnell (1877–1939), ein US-amerikanischer Ornithologe.

Beide Wissenschaftler dachten darüber nach, was eine Artengemeinschaft langfristig zusammenhält. Ihnen zufolge bezieht sich die ökologische Nische auf die Umwelt; sie stelle die Gesamtheit der physikalischen und biologischen Faktoren dar, die für eine Art zum Überleben und zur Fortpflanzung notwendig ist.

Das Konzept der ökologischen Nische wurde von manchen Biologen kontrovers diskutiert. Es ist eine rein wissenschaftliche Frage, aber eine fundamentale: Soll die Nische einer Art all diejenigen Umweltbedingungen umschreiben, die sie zum Leben braucht? Oder umschreibt die Nische all die Umweltbedingungen eines bestimmten Ortes, die dann dafür entscheidend sind, ob eine bestimmte Art darin vorkommen kann? Die Frage lautet, ob die ökologische Nische aus der Sicht des Organismus oder aus der Sicht des Lebensraumes definiert werden soll. Die Diskussion war Anlass für sehr viele Untersuchungen, vor allem begannen Ökologen, Nischen oder wenigstens ein paar ihrer Kenngrößen zu erfassen. Doch es stellte sich heraus, dass dies nicht so einfach ist. Wir können zwei Ansätze verfolgen, um eine ökologische Nische zu umschreiben. Entweder wir nehmen Thermometer und andere Messgeräte mit uns, stapfen ins Gelände und erfassen die Umweltbedingungen an einem Ort, an dem die uns interessierende Art vorkommt. Wenn wir

dies an sehr vielen Orten tun, möglichst im gesamten Verbreitungsgebiet der Art, bekommen wir ein Bild von der Nische.

Die andere Möglichkeit ist, ein Experiment durchzuführen. In einem Versuchsgarten oder in einem Gewächshaus können wir eine Pflanze verschiedenen Bedingungen aussetzen und so herausfinden, wie der optimale Bereich für ihr Wachstum beschaffen ist.

Beide Ansätze haben Biologen in zahlreichen Forschungsprojekten angewandt; ein überraschender Befund war, dass so manche Pflanze in der Natur weit außerhalb ihres Wohlfühlbereiches wächst. Ein klassisches Beispiel ist unsere Waldkiefer. Der Baum zeigt einen großen Toleranzbereich bezüglich Säuregrad und Feuchtigkeit des Bodens, er wächst aber am besten bei mittleren Verhältnissen. Aber die Lebensräume, in denen er in der Natur angetroffen wird, unterscheiden sich stark voneinander und weichen vom Optimum ab: einerseits sehr nasse und saure Lebensräume wie der Randbereich von Hochmooren, andererseits trockene und der Sonne ausgesetzte Felsfluren. Das sind keinesfalls gute Bedingungen, was man den Bäumen auch ansieht. Die Waldkiefer wird also in der Natur an den Rand ihres Wohlfühlbereiches gedrängt. Warum? Weil andere Baumarten wie die Rotbuche sie nicht dulden. In einem Buchenwald mit schöner und nährstoffreicher Erde, mäßig feucht, könnte die Waldkiefer sehr wohl wachsen, wenn die Buche nicht vorhanden wäre. Das zeigen die vielen Kiefernforste, die durch den Menschen geschaffen wurden. Unter natürlichen Bedingungen aber verdrängen die Buche und andere Laubbäume den Nadelbaum und verweisen ihn an Orte, an denen sie selbst nicht wachsen können.

Wegen solcher Konkurrenzverhältnisse sprechen Biologen von einer sogenannten fundamentalen Nische, das ist der größtmögliche Bereich, in dem eine Art leben kann. Der Bereich, in dem sie draußen in der Natur angetroffen wird, ist die realisierte Nische – diese ist kleiner als die fundamentale Nische.

Die Lebensgemeinschaft, ein Club Gleichgesinnter

So oder so, die Nische hängt mit dem Toleranzbereich einer Art gegenüber den Umweltbedingungen zusammen, und dieser kann gering oder hoch sein. Die Fähigkeit, unterschiedliche Umweltbedingungen zu ertragen, ist ein wichtiger Faktor, der die lokale Artenvielfalt bestimmt. Der Toleranzbereich des Karpfens etwa ist gegenüber der Temperatur recht hoch, der Fisch duldet aber keine starken Schwankungen des Salzgehaltes.

Wenn nun mehrere Arten sich einen Lebensraum teilen, liegt das daran, dass in der Natur oft das Motto gilt: „Gleich und gleich gesellt sich gern.“ Arten mit ähnlichen Ansprüchen an die Umweltbedingungen finden sich zusammen und bilden eine Lebensgemeinschaft. Nicht nur die Ansprüche spielen eine Rolle, auch der Toleranzbereich. Wald-Hainsimse und Waldmeister sind zwei Pflanzenarten mit verschiedenen Ansprüchen, sodass sie kaum einen Lebensraum miteinander teilen. Der Waldmeister braucht feuchte und nährstoffreiche Böden, die Pflanze erträgt Schatten gut, die Hainsimse aber bevorzugt eher einen lichten Wald. Die Rotbuche hingegen hat einen

breiteren Toleranzbereich, sie kann in Gesellschaft mit der Hainsimse, aber auch mit dem Waldmeister leben.

In Zeiten starker Veränderungen durch Erderwärmung, Umweltverschmutzung und gewandelte Landnutzung werden solche Überlegungen aktueller denn je. Arten mit einem geringen ökologischen Toleranzbereich werden bei sich ändernden Umweltbedingungen lokal aussterben, wenn die Veränderungen zu stark ausfallen. Arten mit breiter Toleranz hingegen können sich halten oder gar ausbreiten. Die ökologischen Nischen spielen also bei der Frage, wie Artenzusammensetzungen von Lebensräumen sich künftig entwickeln werden, eine zentrale Rolle. In der ökologischen Grundlagenforschung versuchen Biologen aber erst einmal herauszufinden, wie eine Artengemeinschaft überhaupt aufrechterhalten wird. Wie kann es sein, dass beispielsweise in einem Stück Regenwald Hunderte ganz unterschiedliche Arten gemeinsam leben, und dies über sehr lange Zeiträume?

Die Idee des Herrn Gause

Ein russischer Biologe entwickelte eine Theorie über das Zusammenleben vieler verschiedener Arten, die heute noch gültig ist – das Konkurrenzausschlussprinzip. Das klingt nach einem mathematischen oder physikalischen Gesetz, doch dahinter steckt sehr viel Biologie. Georgii Frantsevich Gause (1910–1986) wurde in Moskau geboren und verbrachte die Sommermonate mit seinen Eltern in den Bergen des Kaukasus. Hier begann er, die Natur zu beobachten und Interesse an Biologie zu entwickeln. Er studierte an

der Universität Moskau und wollte Biologe werden, musste sich dann aber beruflich mit der Entwicklung von Antibiotika beschäftigen. Mit gerade 22 Jahren veröffentlichte George Gause, wie er in der angelsächsischen Literatur genannt wurde, einen Aufsatz mit dem Titel „Der Existenzkampf“, in welchem er seine Theorie erklärte. Das erinnert an Darwin, und Gause wurde sicher vom berühmtesten aller Biologen inspiriert. Worum geht es?

Gause behauptet, dass gemeinsam vorkommende Arten – koexistierende Arten, um es wissenschaftlich auszudrücken – sich in ihrer Nische wenigstens geringfügig unterscheiden müssen. Sonst könnten sie nicht gemeinsam einen Lebensraum bewohnen. Zwei Arten in ein und derselben Nische wären starke Konkurrenten, und eine der beiden würde den Kürzeren ziehen.

Die Ergebnisse vieler Freilanduntersuchungen und theoretische Modelle sprechen für die Gültigkeit der Theorie, auch wenn sie schwer zu beweisen ist. In der Natur lassen sich aber oft Situationen beobachten, bei denen gemeinsam vorkommende Tiere etwas andere Nischen besetzen. So nutzen tagaktive und nachtaktive Schmetterlinge ähnliche Nahrungsquellen, die Blüten in Wiese und Wald, sie kommen sich aber wegen der unterschiedlichen Zeiten ihrer Aktivität nicht in die Quere. Ihre Nischen sind getrennt. Verschiedene Wattvogelarten erreichen wegen ihrer unterschiedlicher Schnabellängen verschiedene Nahrungsressourcen. In tropischen Regenwäldern besetzen Wildbienen unterschiedliche Stockwerke, einige Arten leben im Kronenbereich, andere am Stamm oder am Boden. Auch die dicht beieinander stehenden Blumen in

einer Bergwiese haben nicht alle genau dieselben Ansprüche und nutzen durch ihr Wurzelwerk verschiedene Bodenschichten.

Die Organismen selbst wirken dabei als Bereitsteller von Nischen. Bäume etwa erlauben die Existenz aller baumbewohnenden Tiere, von Eichhörnchen bis Faultier, und baumbewohnenden Pflanzen. Die vielen Bromeliengewächse und Orchideen, die als Epiphyten auf den Ästen tropischer Regenwaldbäume wachsen, bieten ihrerseits Lebensraum und Nischen für Insekten und viele weitere Kleintiere. Das gilt auch für abgebrochene Äste oder umgestürzte Bäume. Totholz ist Lebensraum für eine ganze Reihe von Insekten und Pilzen, die für den Wald so wichtig sind.

Ökosystemingenieure

Man könnte eine einfache Formel aufstellen und sagen: Lebensraum = Artenvielfalt + Umweltbedingungen. Das wäre aber zu simpel, denn es gibt Rückkopplungen. Pflanzen und Tiere beeinflussen den Lebensraum und seine Umweltbedingungen selbst, sie gestalten ihren Wohnort aktiv mit. Bäume beschatten den Boden und führen zu einem kühleren Klima im Waldesinnern, sie halten den Boden feucht. Auf der subantarktischen Insel Marion Island wächst das Gras nur wegen des vielen Vogelkots so üppig, trotz des harschen Klimas. Elefanten zerstören ganze Bäume, wenn sie in der Savanne umherziehen, und Termiten setzen Burgen in die Landschaft. Zudem gibt es ohne Pflanzen keine Humusbildung, denn eine Fichte

kann nur dort wachsen, wo entsprechender Humus vorhanden ist.

Nun kann der Einfluss einer bestimmten Art erheblich oder gering sein, was natürlich mit ihrer Häufigkeit zu tun hat. Arten, die einen besonders starken Einfluss auf ihren Lebensraum ausüben, bezeichnen Ökologen als Ökosystemingenieure. Ein gewagter und auch umstrittener Begriff, der sich in der Fachliteratur aber etabliert hat.

An der Nordsee wirkt der allgegenwärtige Strandhafer als Ökosystemingenieur, weil er mit seinem Wurzelwerk dafür sorgt, dass sich Sand anhäuft und Dünen bildet. Das Gras baut den Lebensraum Düne auf und ist geradezu der Inbegriff eines pflanzlichen Ökosystemingenieurs. Da kann die kleine Salzmieze, die gerne zwischen den Grashalmen wächst, nicht mithalten. Sie wächst aber auf der Düne wegen des Strandhafers, womit die Bedeutung der Ökosystemingenieure klar wird: Sie schaffen Lebensräume für weitere Arten oder verändern sie so, dass weitere Arten vorkommen können. Das gilt auch für den Biber, ein anderer Ökosystemingenieur, der seiner Berufsbezeichnung alle Ehre macht. Mit seinen Dämmen staut er das Wasser, lässt Seen mit stillem Wasser entstehen, in denen etwa strömungsempfindliche Wasserpflanzen gedeihen können.

Die Organisation der Natur

Auf der Erde leben Millionen von Arten, aber es gibt nur vier verschiedene Berufe: Produzenten, Primärkonsumenten, Sekundärkonsumenten und Destruenten. Jede

beliebige Art lässt sich einer dieser Gruppen zuordnen – eine einfache Angelegenheit, zumindest auf den ersten Blick. Dieses Prinzip ist in der Natur allgegenwärtig und universal, von der Tiefsee bis ins Hochgebirge. Die gesamte Biodiversität beruht auf der Aufteilung der Arten in die vier Berufsgattungen.

Das Leben bedarf Energie, und alle Lebensvorgänge auf der Erde werden entweder durch Sonnenenergie gespeist oder durch alternative Energiequellen wie chemisch gebundene Energie in anorganischen Bestandteilen der Gesteine. Letztere machen sich etwa Schwefelbakterien zunutze.

Die bei Weitem wichtigsten Empfänger und Verwerter der Sonnenenergie sind die Algen und Pflanzen. Dank der Photosynthese produzieren sie aus Wasser und Kohlendioxid organische Substanz. Sie gelten daher als Produzenten in einem Ökosystem. Nur sie sind fähig, aus anorganischen Bestandteilen der Umgebung organische und damit energiereiche Verbindungen aufzubauen, die für andere Organismen als Nahrungsquelle dienen. Pflanzenfressende Tiere oder Herbivore stehen für die Primärkonsumenten, diese wiederum werden von Fleischfressern oder Karnivoren gefressen, sie spielen die Rolle der Sekundärkonsumenten (Abb. 8.1). Daraus ergibt sich zwangsläufig eine Nahrungskette, entlang der Energie von den Produzenten zu den Sekundärkonsumenten fließt. Nun ernähren sich viele Tiere sowohl von Pflanzen als auch von Tieren, sie sind Allesfresser. Bei den Konsumenten sind die Verhältnisse nicht so klar wie bei den Produzenten. Daher kann eine Nahrungskette komplex werden, wenn viele Tierarten mit unterschiedlichen Nahrungsspektren vorliegen.



Abb. 8.1 Organisierte Natur auf kleinstem Raum. Die Pflanze als Produzent liefert Nektar, von dem sich die Fliege ernährt, ein Primärkonsument. Die Krabbenspinne wiederum hat es auf die Fliege abgesehen und nimmt die Rolle eines Sekundärkonsumenten ein. (Foto: Sinuhe Hahn)

Die Destruenten oder Zersetzer schließlich nehmen sich den toten Pflanzen und Tieren an und zersetzen sie wieder in anorganische Bestandteile. Auch das Verwerten von Abfallprodukten lebender Organismen wie Dung, Blätter oder Vogelfedern fällt in ihren Aufgabenbereich. Ihre Tätigkeiten schließen den Kreis von Aufbau und Abbau; für ein fortwährendes Bestehen einer Lebensgemeinschaft sind sie unerlässlich. Kaum vorstellbar, wenn das viele Laub, das jeden Herbst von den Bäumen fällt, nicht abgebaut werden würde!

Zersetzer sind keine einheitliche Organismengruppe, zu ihnen gehören Pilze, Bakterien und andere Mikroorganismen, Kleinstlebewesen des Bodens, aber auch Mistkäfer oder Aasfresser wie der Bartgeier. Sie alle tragen schrittweise zur Zersetzung abgestorbener Lebewesen bei, wodurch schließlich die organische Substanz wieder in Kohlendioxid, Wasser und anorganische Bestandteile zerlegt wird. Der Vorgang stellt die Umkehr zur Photosynthese dar, beide Prozesse ergänzen sich und bilden den großen Kreislauf der Natur.

Was bedeutet das alles für die Biodiversität? Ohne die Anwesenheit der vier Berufsgattungen kann es keine Biodiversität geben. Alle werden gebraucht, Raubtiere wie Luchs oder Mäusebussard genauso wie Hasen und die unzähligen Bodenorganismen. Und jede Berufsgattung muss in der richtigen Menge vorhanden sein, damit das System funktioniert, das heißt in der richtigen Anzahl von Arten und Individuen. Fällt ein Glied aus, kann das fatale Folgen haben. Die Vertreter der Produzenten und Konsumenten kontrollieren sich gegenseitig und sorgen dafür, dass keine Art überhand nimmt. Ein klassisches Beispiel sind die Räuber-Beute-Beziehungen. Gibt es in manchen Jahren wenig Beutetiere, schrumpfen die Bestände der Räuber. Vermehren sich Beutetiere, nehmen auch die Populationen der Raubtiere zu. Halten sich die vier Berufsgattungen in einem Ökosystem die Waage, kann das System über Jahrtausende oder gar Jahrmillionen aufrechterhalten werden ist.

Exkurs: Warum Australien Dungkäfer einführen musste

Kühe fressen täglich große Mengen an Pflanzen und produzieren laufend Kuhfladen. Der Mist wird von Dungkäfern weiterverarbeitet, die ihn rasch unter die Erde verschwinden lassen. Der Grund ist, dass die Käfer im Boden Tunnel oder Kammern zur Eiablage einrichten, und diese mit Dung anfüllen. Die Larven leben davon.

Australien erlebte in den 1960er-Jahren eine Naturkatastrophe der besonderen Art. Die ersten Siedler brachten 1788 sieben Kühe mit, inzwischen wuchs der Viehbestand auf über 30 Mio., mit einem täglichen Ausstoß an 300 Mio. Kuhfladen auf den Weiden. Australische Dungkäfer können aber mit dem Dung der Kühe nichts anfangen, weil sie auf den Dung von Kängurus und anderen australischen Pflanzenfressern eingestellt sind. Deren Dung ist von ganz anderer Beschaffenheit als Kuhmist. Wiederkäuer gab es in Australien nie. Die Kuhfladen blieben auf den Weiden monatelang liegen und wurden zu einem ernst zu nehmendem Problem. Dies aus zwei Gründen: zum einen, weil andere Insekten den Dung zur Eiablage nutzen, wie Fliegen, die weniger wählerisch sind als Dungkäfer. Der Kuhmist ließ Fliegenpopulationen in die Höhe schnellen. Zum andern, weil die vielen Kuhfladen die Weidefläche erheblich verkleinerten und somit die Farmer weniger Fleisch und Milch produzieren konnten.

Die Behörden sahen sich gezwungen, Abhilfe zu schaffen. Im Rahmen des „Australian Dung Beetle Project“ wurden zwischen 1965 und 1985 mehrere Arten afrikanischer Dungkäfer eingeführt und auf den Weiden ausgebracht. Sie vermehrten sich rasch, zeigten Wirkung und lösten auch das Fliegenproblem.

Je komplexer ein Ökosystem aufgebaut ist, je stärker strukturiert es ist, umso mehr Arten wird es enthalten. Das gilt auch für eine ganze Landschaft: Eine kleinräumige

Landschaft mit vielen verschiedenen Lebensräumen nebeneinander wird mehr Arten beherbergen können als eine einheitliche Landschaft mit nur wenigen Lebensräumen. Ausgeräumte Agrarlandschaften zeigen dies deutlich.

Weiterführende Literatur

1. Australian Dung Beetle Project. <http://www.dungbeetle.com.au>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
2. Bornemissza GF (1976) The Australian dung beetle project 1965–1975. Aust Meat Res Comm Rev 30:1–30
3. Gause GF (1932) Experimental studies on the struggle for existence. J Exp Biol 9:389–402
4. Nentwig W, Bacher S, Brandl R (2007) Ökologie kompakt. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
5. Schlichting HJ (2016) Die schmale Insel der Behaglichkeit. Spektrum Wiss 11(16):56–58

Teil III

Wie entsteht Biodiversität?

9

Wozu umfallende Bäume gut sind

Eine Wetterstörung zieht heran, Sturm kommt auf. Der Wind lässt die Baumwipfel in dem Wald immer stärker hin und her wiegen. Ein mächtiger Baum hält den zunehmend heftigeren Böen schließlich nicht mehr stand und stürzt mit einem lauten Krachen um – Äste knicken ab, Holz splittert, dann ein dumpfer Aufschlag. Aufgeschreckte Tiere huschen weg. In das Kronendach des Waldes ist ein Loch gerissen, am Boden rieselt Erde aus dem nun senkrecht stehenden Wurzelbereich, Steine kullern herunter. Und dann ist Stille, als wäre nichts geschehen. An einigen kleineren Bäumen und Sträuchern sind Äste und Zweige abgerissen worden. Im Boden lebende Organismen, die im nun freigelegten Wurzelbereich des Baumes ihr Dasein führten, flüchten; einige werden von Vögeln aufgepickt. Die vielen Insekten, die an den Blättern des Baumes nagten oder saugten, fliehen ebenfalls

oder gehen binnen Tagen zugrunde, weil ihre Nahrungsgrundlage vertrocknet. Am Boden klappt ein großes Loch. Überall liegt bloße Erde herum.

Welch ein dramatisches Ereignis! Welch ein Aufruhr im sonst eher beschaulichen Wald. Jäh hat sich eine Öffnung in dem geschlossenen Blätterdach aufgetan.

Wir sind Zeugen einer natürlichen Zerstörung von Natur geworden. Ob der Baum kraft der Windböe fiel oder weil er einfach alt und schwach geworden war, ist hier nicht weiter von Bedeutung. Solche Vorgänge spielen sich in jedem Wald ab, und manchmal, wenn ein Sturm großflächig Bäume knicken lässt, können diese Ereignisse wahrlich dramatische Ausmaße annehmen.

Welche Bedeutung haben derartige Schadensereignisse für den Naturhaushalt und die Biodiversität? Sind solche Zwischenfälle gut oder schlecht für den Lebensraum Wald?

Vielfältige Störungen in der Natur

„Störung: das Gestörtsein; Beeinträchtigung des normalen Ablaufs“ – soweit der Duden [1]. Wir werden in unserem Alltag stets von Störungen heimgesucht, seien es Ruhestörungen, Betriebsstörungen, atmosphärische Störungen oder Darmstörungen. „Störung“ ist also ein vielschichtiger Begriff, und wann genau eine Störung vorliegt, ist nicht immer eindeutig.

Ökologen sprechen von Störungen in Ökosystemen (Abb. 9.1). Seit 2011 gibt es an der Universität Bayreuth sogar einen Lehrstuhl für Störungsökologie. Inhaberin ist Anke Jentsch, eine junge Professorin, die das Phänomen seit ihrer Doktorarbeit erforscht.



Abb. 9.1 Störungen sind gut für die Biodiversität. Windwurf schafft Platz für lichtliebende Arten und sorgt für Abwechslung im Wald. (© Zophoba/stock.adobe.com)

Auf die Frage, was unter Störungsökologie zu verstehen sei, meint Jentsch [2, S. 4]:

Die Störungsökologie beschäftigt sich mit Ereignissen, mit ihren Rhythmen und ihren ökologischen Auswirkungen. Dazu gehören beispielsweise die typischen natürlichen, landschaftsprägenden Störungsregime mit jeweils eigener Dynamik, wie Windwurf, Feuer und Überflutung, Borkenkäfer-Massenvermehrungen, Schneebruch, Spätfrost, Starkregen, Dürren und Hitzewellen.

In diesen Zeilen steckt die ganze Vielfalt ökologischer Störungsereignisse. Nicht nur umfallende Bäume, auch eine Dürre oder eine Überschwemmung gelten als Störereignisse

in einem Lebensraum. Ein Waldbrand wirkt sich natürlich anders aus als ein Sturm. Wenn in einem Bachbett wegen eines Hochwassers Steine weggerollt werden und im Uferbereich Boden abgetragen wird, sind das ebenfalls Störungen. Und auch die zahlreichen braunen Maulwurfshügel in einer sonst grasgrünen Wiese zählen dazu; sie stellen viele kleine Störereignisse dar, weil der Boden aufgeworfen wurde. In einem Auenwald können durch Hochwasser Bäume entwurzelt werden, und der angehobene Pegel schwemmt Sediment in die Wälder, das den Boden vollkommen zudeckt und alle niedrig wachsenden Pflanzen versinken lässt. An Steilhängen im Gebirge kommt es gelegentlich zu Hangrutschungen, die den Boden aufreißen. Störungen liegen aber auch vor, wenn durch Blitze Waldbrände und Buschfeuer entfacht werden, die den Boden versengen und Bäume und Sträucher verbrennen. Beruhen all diese Vorgänge auf Wetterereignissen oder auf Vorgängen in den Gesteinsschichten, so können auch Lebewesen selbst Störungen verursachen. Der Borkenkäfer ist ein Paradebeispiel. Bei massenhafter Vermehrung – Fachleute sprechen von Kalamitäten – sorgen diese kleinen Insekten für einen großflächigen Kahlfraß, zweifellos eine ökologische Störung. Und in Afrika stoßen Elefanten Bäume um, entrindest sie und fressen die Zweige ab. So wie diese Dickhäuter bringen auch andere pflanzenfressende Großsäuger ständig Störungen in ihren Lebensraum.

Störungen sind also überaus vielfältig, sie können großflächig auftreten oder lokal begrenzt sein. Es können seltene oder immer wieder einmal vorkommende Ereignisse sein. Es gibt sie in jedem Lebensraum, sogar in vermeintlich stabilen und unveränderlichen Ökosystemen wie einem tropischen Regenwald.

Multikulti dank Störungen

Weisen all die oben genannten Beispiele von Störungseignissen und Naturzerstörung eine Gemeinsamkeit auf? Bleiben wir zunächst noch ein Weilchen bei dem umgestürzten Baum. Er verändert schlagartig zwei grundlegende Bedingungen im Lebensraum Wald. Zum einen gelangt an der Stelle, wo er stand, nun auf einmal viel mehr Licht auf den sonst nur spärlich besonnten Waldboden. Für Pflanzen ist Licht eine notwendige Ressource genauso wie Wasser und Nährstoffe; in der Waldlücke gibt es also plötzlich ein Überangebot an direktem Sonnenlicht. Zum anderen wird auf dem Boden neuer Platz geschaffen. Die bloße Erde, die nun aufgeworfen und unbewachsen freiliegt, ist eine weitere Ressource, die von Pflanzen gerne angenommen wird.

Daher wird sich binnen Kurzem auf der kleinen, lichtdurchfluteten Fläche Erstaunliches tun: Überall wird es sprießen und wuchern. Lichtliebende Pflanzen werden emporkommen, wenn nicht Brombeeren alles überwachsen. Wo vorher schattiger und moosbewachsener Waldboden die Szene beherrschte, wird sich auf einmal eine kunterbunte Gesellschaft von Arten einstellen, die man im Waldesinnern sonst nicht antrifft. Raschwüchsige Stauden und Sträucher wie Wilder Majoran und Tollkirsche siedeln sich an, viele einjährige Pflanzen finden einen geeigneten Wuchsort. Und sicher ziehen diese Pflanzen mit ihren Blüten und Blättern auch besondere Insektenarten an, die sich auf den sonst vorherrschenden Laubbäumen nicht wohlfühlen.

Der umgestürzte Baum hat also, wie Ökologen es nennen, Ressourcen freigesetzt, in erster Linie Licht, aber auch Raum für andere. Das ist der gemeinsame Nenner aller Störungen, mögen sie noch so unterschiedlich sein. Der britische Ökologe Philip Grime setzt Störungen daher auch mit dem Entfernen von Biomasse gleich.

Der entwurzelte Baum bewirkt aber noch etwas anderes. Er vermodert allmählich, wird zu Totholz – ebenfalls eine Ressource für zahlreiche Arten. Denn bestimmte Pilze, Milben und viele Insektenarten leben gerade von Totholz.

Kurz und gut, dank des umgestürzten Baumes ist die Anzahl verschiedener Arten in unserem Wald höher geworden! Daher sind sich Ökologen einig, dass Störungen zu einem Lebensraum gehören wie Leben und Tod. Die immer wiederkehrenden Beeinträchtigungen des normalen Ablaufs erhöhen die Artenvielfalt. Allerdings ist dies auch eine Frage der Dosis: Sind die Störungen zu intensiv oder treten sie zu häufig auf, wirken sie nicht fördernd auf die Artenvielfalt, sondern vermindern sie.

An der Stelle unseres entwurzelten Baumes werden selbstverständlich auch Jungbäume aufkommen. Auch sie profitieren vom Platz an der Sonne und werden mit der Zeit die anderen Arten verdrängen. Die Waldlücke wird sich schließen, und all die lichtliebenden Arten müssen auf eine neue Chance an einem anderen Wuchsort warten.

Die Entwicklung der Pflanzendecke auf einer Störungsfläche nennen Biologen Sukzession. Sie ist mit Störungen eng gekoppelt, das eine gibt es kaum ohne das andere.

Exkurs: Was ist eine Sukzession?

Wird durch ein Störungsereignis Boden freigelegt, setzt eine Entwicklung ein, die Biologen als Sukzession bezeichnen. Damit meinen sie die Abfolge von Pflanzen- und Tierarten, die sich auf der Fläche einstellen. Die frühen Ankömmlinge werden durch spätere Ankömmlinge abgelöst, die Artenzusammensetzung ändert sich im Laufe der Zeit. Die Pflanzen- und Tierwelt entwickelt sich von einem Anfangszustand in Richtung eines Endzustandes, den Biologen Klimax nennen. Beispiele sind in der Natur zahlreich vorhanden. In der Verlandungszone eines Sees ist ebenso eine Sukzession zu beobachten wie auf einer Brandfläche. Die Vegetation ändert sich und wird zunehmend von Bäumen beherrscht.

Sukzessionen können rasch vor sich gehen oder sehr lange Zeit in Anspruch nehmen. Eine Betonplatte, die im Küstenbereich ins Meer versenkt wird, etwa im Zuge des Wellenschutzes, wird innerhalb von Tagen von einem Biofilm besiedelt, einer dünnen Schicht von Organismen. Diese besteht zunächst aus kleinen Algen und Bakterien, auf denen sich bald die ersten Muscheln und Schnecken festsetzen. Anschließend siedeln sich weitere Wirbellose wie Schwämme, Korallen und größere Algen an. Nach ein paar Wochen trägt die Betonplatte ein üppiges marines Leben. Andere Sukzessionen dauern dagegen Hunderte bis Tausende von Jahren. Wenn sich Gletscher im hohen Norden und in den Alpen zurückziehen, wird das frei werdende Gletschervorfeld nur sehr langsam von Pflanzen besiedelt.

Wie lange eine Sukzession dauert und in welche Richtung sie sich entwickelt, hängt vom Klima, von den Bodenverhältnissen und der vorherrschenden Vegetation ab.

Biologen unterscheiden zwischen zwei Formen der Sukzession:

1. Primärsukzessionen geschehen auf neuem, zunächst sterilem Rohboden, wie er etwa bei Vulkanausbrüchen entsteht. Hier stammen alle Besiedler von auswärts. Humus ist zu Beginn der Sukzession keiner vorhanden.

2. Bei Sekundärsukzessionen hingegen hat der Boden schon eine Pflanzendecke getragen, und Humus ist vorhanden. Im bereits gut entwickelten Boden stecken zahlreiche Samen und Kleintiere, die für eine Wiederbesiedlung der Fläche sorgen. Die kolonisierenden Arten stammen bei einer Sekundärsukzession sowohl von auswärts als auch von der Störungsfläche selbst.

Der goldene Mittelweg

Ökologische Störungen zeigen genau denselben Zusammenhang zwischen Häufigkeit und Intensität wie andere Schadensereignisse, seien dies Verkehrsunfälle oder Wasserschäden. Versicherungsgesellschaften kennen die Beziehung bestens. Es ist klar, dass etwa großflächige Sturmschäden in Wäldern viel seltener auftreten als einzeln umfallende Bäume. Milde Störungen kommen immer wieder einmal vor, eigentlich ständig, schwere Störungen sind selten. Das gilt auch für Hochwasser und all die anderen nicht gerne gesehenen Ereignisse, die wir als Naturkatastrophen bezeichnen.

Dieser Sachverhalt ist von größter Bedeutung, wenn die Rolle von Störungen für die Dynamik von Lebensgemeinschaften hinterfragt werden soll. Er zeigt aber auch, dass es mit den Störungen so eine Sache ist. Wie soll man die Intensität erfassen? Ab welcher Häufigkeit oder Stärke stellt ein Ereignis eine Störung des normalen Ablaufs der Dinge in einem Lebensraum dar, wie es die Definition vorgibt? Ist ein umstürzender Baum nicht etwas ganz Normales in einem Wald? Schließlich stürzen Bäume um, seit

es sie gibt. Und was ist schlimmer: wenn 10 Prozent der Bäume eines Waldes durch Windwurf umfallen und eingehen oder wenn alle Bäume durch Insektenfraß 10 Prozent ihrer Blätter verlieren? Das sind zwei ganz unterschiedliche Szenarien, die auch unterschiedliche Konsequenzen haben.

Störungen sind offensichtlich schwierig zu erfassen. Man kann sie kaum messen und ihnen eine Zahl zuordnen. Zu viele verschiedene Faktoren spielen eine Rolle – die Größe der beeinträchtigten Fläche, das Ausmaß des Schadens, die Häufigkeit, auch die Jahreszeit, zu der sie sich ereignen. Biologen sprechen daher nicht nur von Störungen, sondern auch von Störungsregimes. Damit meinen sie, in welchen Zeitspannen Störungen auftreten, beispielsweise ob Waldbrände alle paar Jahre oder nur alle paar Jahrzehnte vorkommen, ob ein Fluss jedes Jahr über die Ufer tritt oder nur bei außergewöhnlich viel Regen. In den meisten Fällen sind Störungen nicht vorhersehbar.

Es steht aber außer Zweifel, dass solche Vorgänge eine ganz direkte Auswirkung auf die Artenvielfalt und damit auf die Biodiversität haben. In der ökologischen Grundlagenforschung beschäftigen sich Wissenschaftler schon seit Langem mit der Frage, wie verschiedene Ökosysteme auf Störereignisse reagieren. Dabei hat sich in der zweiten Hälfte des vorigen Jahrhunderts ein echter Paradigmenwechsel vollzogen. Galt in den 1960er-Jahren noch, dass Ökosysteme dann am artenreichsten sind, wenn sie möglichst ungestört sind, hat sich dieses Bild seither deutlich gewandelt. Heute sind sich Biologen einig, dass Störungen gut für die Artenvielfalt sind (sofern sie ein gewisses Maß nicht überschreiten). Nehmen wir doch ein Stück Magerwiese und machen die Probe aufs Exempel. Eine

Magerwiese ist äußerst artenreich, jedenfalls viel artenreicher als etwa ein geschlossener Buchenwald. Magerwiesen in Mitteleuropa entstanden unter dem Einfluss des Menschen, indem er den Wald rodete, die Wiesen aber nie düngte. Eine Magerwiese muss einmal im Jahr gemäht oder von Schafen beweidet werden, sonst geht sie verloren. Warum? Weil das Mähen oder Beweiden nichts anderes als eine Störung ist und zur Erhaltung der Magerwiese beiträgt. Jetzt stellen Sie sich einmal vor, die Wiese würde statt nur einmal mehrmals im Jahr geschnitten werden. Sagen wir alle drei Monate, das macht vier Schnitte. Es liegt auf der Hand, dass nicht alle Pflanzenarten eine solch drastische Maßnahme überleben würden. Viele Pflanzen könnten nicht zur Blüte und schon gar nicht zur Fruchtreife gelangen, sie würden im Laufe der Jahre aus unserem Stück Wiese verschwinden. Das Anheben der Schnitthäufigkeit ist aber nichts anderes als die Verstärkung der Störung „Mähen“ – die Störung wird intensiver und hat drastischere Auswirkungen auf den Lebensraum der Magerwiese.

Und wenn man das Mähen oder Beweiden gänzlich unterließe? Dann würde unsere schöne Wiese langsam, aber sicher verbuschen und allmählich in Wald übergehen, also ebenfalls verschwinden. Die Sukzession würde sie wieder in einen geschlossenen Wald zurückführen. Denn wenn keine Sense – oder heutzutage eher keine Mähmaschine – die aufkommenden Jungpflanzen von Gehölzen kappt, könnten diese ungestört heranwachsen und würden überhandnehmen. Wenn Sträucher und Bäume aufkommen, wird der Boden beschattet; viele unserer Magerwiesenarten können sich nicht halten, weil sie viel Sonnenlicht benötigen. Die Artenzahl geht zurück. Wird

das Mähen unterlassen, so entspricht dies einer Minderung – in unserem Beispiel sogar einem gänzlichen Wegfall – der Störungsintensität.

Offensichtlich gibt es einen Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und der Intensität oder Häufigkeit von Störungen. Irgendwo zwischen den beiden eben geschilderten Extremen wird sich eine maximal hohe Artenzahl einstellen.

Was ich Ihnen eben geschildert habe, ist die „Intermediäre Störungshypothese“, die in der Ökologie so wichtig wie umstritten ist. Ihr zufolge ist die Artenzahl bei einem mittleren Grad an Störungen am höchsten.

Entwickelt wurde diese Hypothese vor beinahe vierzig Jahren von Joseph Connell, einem Biologieprofessor an der University of California in Santa Barbara im US-Bundesstaat Kalifornien. Er veröffentlichte 1978 einen Artikel in der renommierten Fachzeitschrift *Science*, der insofern bemerkenswert ist, als er die Frage aufwarf, wie denn die enorme Artenvielfalt zweier grundverschiedener Lebensräume, nämlich von tropischen Regenwäldern und von Korallenriffen aufrechterhalten wird. Beides sind Lebensgemeinschaften, die immerhin seit Jahrmillionen bestehen. Aus meist empirischen Langzeitbeobachtungen und anekdotischen Beschreibungen entwickelte Connell die Theorie, dass die Artenzahl immer dann am höchsten ist, wenn das Ökosystem immer wieder einmal ein bisschen gestört wird.

Ein eindruckliches Beispiel, das Connell als Argument anführt, sind die Korallenriffe der australischen Insel Heron Island. Sie reichen bis zur Wasseroberfläche. Wie Connell feststellte, war die Anzahl von Korallenarten just an den exponiertesten Stellen am höchsten – zuoberst und an den Hängen, an denen Wellenschlag und Stürme die meisten Schaden verursachen. Connell studierte

das Riff seit 1962 und konnte die Auswirkungen zweier Wirbelstürme erfassen, die 1967 und 1972 vorüberzogen. Überall dort, wo Korallen losgerissen wurden und eine Neubesiedlung der frei gewordenen Plätze einsetzte, stellten sich mehr Arten ein, als an geschützten und vom Sturm nicht beeinflussten Plätzen vorhanden waren. Es ist dasselbe Prinzip wie in den oben erwähnten Beispielen: Das Entfernen eines kleinen Teils der Lebewesen treibt die Artenzahl nach oben.

Was für tropische Regenwälder und Korallenriffe gilt, sollte auch für Magerwiesen und andere Lebensräume gelten, sonst wäre die Theorie nicht allgemeingültig. Die intermediäre Störungshypothese ergibt sich aufgrund theoretischer Überlegungen, sie ist auch einleuchtend, aber lässt sie sich beweisen?

Lange Zeit stritten die Wissenschaftler über die Allgemeingültigkeit der Theorie. Zu vage seien die Argumente von Connell, zu wenig Belege lägen vor. Insbesondere gäbe es kaum Studien, die einen klaren Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und der Intensität oder Häufigkeit von Störungen aufzeigen würden. Doch, Connells Ideen seien sehr wohl zu belegen, entgegneten andere.

Von Störungen zu Naturkatastrophen

Ich überlasse es den Störungsökologen, die Beweisbarkeit der Theorie zu prüfen. Außer Zweifel steht, dass Störungen für den Naturhaushalt wichtig sind. Sie machen Platz für die Jungen und für Neue, sorgen dafür, dass viele verschiedene Arten von Pflanzen, Pilzen und Tieren nebeneinander vorkommen können.

Niemand wird sich daran stören, dass ab und zu Bäume umfallen, solange unser Leben nicht beeinträchtigt wird. Wenn eine Störung das Ausmaß einer Naturkatastrophe annimmt, gehen die Emotionen aber hoch.

Im Jahre 1988 brachen im Yellowstone-Nationalpark in den USA Waldbrände aus, und dramatische Bilder gingen um die Welt: ganze Wälder in Flammen, übermüdete Feuerwehrmänner im Dauereinsatz, die Kadaver verendeter Elche und Bisons, verkohlte Baumstämme auf einem von weißer Asche bedeckten Boden als gespenstische Kulisse. Der älteste Nationalpark der Vereinigten Staaten brannte und schien dem Untergang geweiht. Hatte dies nicht verhindert werden können? Was sollte jetzt aus diesem Touristenmagneten werden? Hatte die Feuerwehr versagt, und wer war schuld?

Letzteres ist einfach zu beantworten. Frühling und Sommer des Jahres 1988 waren ausgesprochen trocken, hinzu kamen starke Winde mit Geschwindigkeiten bis zu 100 Kilometern pro Hektar im Juli und August. Kaltfronten brachten regenlose Gewitter mit vielen Blitzen, und bei dem trockenen Holz brauchte es nicht viel, bis ein Feuer entfacht war. Auch unvorsichtige Touristen trugen dazu bei, dass die insgesamt 248 Feuer eine Fläche von 570.000 Hektar verbrannten. Etwa 25.000 Feuerwehrleute standen im Einsatz, konnten aber letztlich nicht viel ausrichten angesichts des Ausmaßes der Brände.

So dramatisch für uns Menschen die Bilder waren, die Natur erholte sich erstaunlich rasch. „Die Lebensräume des Yellowstone regenerierten sehr rasch nach den Bränden von 1988, ohne Hilfe des Menschen“, schrieben William Romme von der Colorado State University und seine Kollegen. Es sei auch keine einzige Tier- oder Pflanzenart aus

dem Yellowstone-Park verschwunden, obwohl es natürlich Bestandseinbußen gab.

Fachleute sind sich einig, dass die Feuer den Lebensräumen im Yellowstone-Park mit ihrer Pflanzen- und Tierwelt nicht geschadet haben. Großtiere wie Grizzlybär und Bison konnten die Verluste rasch wieder wettmachen. Zwanzig Jahre nach den verheerenden Bränden zeigt sich der Nationalpark frisch und grün wie nie zuvor. Neben Teilen unversehrter Wälder mit alten Bäumen liegen zuvor verbrannte Flächen mit Jungwuchs. Ein Mosaik unterschiedlich strukturierter Wälder führte zu einer immensen Vielfalt an Lebensräumen und förderte sicher die Artenvielfalt insgesamt.

Es war zweifelsohne richtig, touristische Infrastrukturen vor den Flammen zu schützen, den riesigen Aufwand, Feuer abseits der Straßen und Gebäude zu löschen, hätte man sich sparen können. Wälder in Flammen wirken auf uns dramatisch und unheilvoll, aber es hat sie in der jahrtausendelangen Geschichte des Yellowstone-Nationalparks und in vielen anderen Gegenden immer wieder gegeben. Und viele Pflanzen- und Tierarten haben Mechanismen entwickelt, mit solchen Ereignissen fertig zu werden.

Die Störungsangepassten

Als ich in einem März die Kanareninsel La Palma besuchte, traf ich auf einen schönen Bestand der Kanarischen Kiefer, des charakteristischen Baumes mit seinen sehr langen Nadeln. Die Bäume waren allesamt schwarz – verkohlt von einem Feuer, das im Vorjahr gewütet haben

musste. Aber welch eine Lebenskraft in den Bäumen steckte! Da streckten sich neue Triebe aus der schwarzen Borke in die Luft – grüne Büschel von Nadeln, als hätte sie jemand in die Borke gesteckt. Ein beinahe unwirkliches Bild. Mit ihrer außergewöhnlich dicken Borke sind Kanarische Kiefern bestens an Feuer angepasst. Selbst wenn die gesamte Borke verkohlt, die Knospen darunter bleiben geschützt und warten nur auf den nächsten Regen.

Auch die Kiefern im Yellowstone-Nationalpark sind feuerangepasst. Ihre Zapfen springen sogar erst nach Hitzeinwirkung auf, also nachdem ein Feuer durchgezogen ist. Eine Brandfläche bedeutet aschereichen Boden – ein ideales Keimbett für die Samen. Daher keimten nach den Feuern Tausende von Kiefern Samen im Yellowstone-Park und bildeten dichten Jungwuchs.

Pflanzen als Wesen, die nicht fliehen können, zeigen besonders auffällige Anpassungen an Störungen. So sind unsere Weidenbäume entlang der Flüsse perfekt an Hochwasser angepasst. Ihre weichen Stämme biegen sich in den Fluten, das Holz bricht nicht. Daher sind es Weiden, die besonders nah am Wasser stehen und die Weichholzaue bilden. Werden die Stämme doch einmal fortgerissen, treiben die fest verankerten Wurzeln leicht wieder aus.

Aber auch die Tierwelt hat sich auf Störungen eingestellt und zeigt Verhaltensweisen, die auf Anpassung schließen lassen.

Ohne ein gewisses Maß an Störungen in der Natur wäre die Artenvielfalt sicher beträchtlich kleiner. Wie verschiedene Ökosysteme und ihre Bewohner auf Störungen reagieren, ist eine wichtige Frage, die sich auch Anke Jentsch stellt. Sie sieht einen großen Forschungsbedarf auf

diesem Gebiet. Dabei geht es auch um die Frage, ob man einen Massenbefall durch den Borkenkäfer tolerieren kann oder bekämpfen soll.

Literatur

1. Duden K (2002) Das Bedeutungswörterbuch, Bd 10. Dudenverlag, Mannheim
2. Jentsch A (2013) Störungsökologie – da kommt Bewegung auf! AFZ-DerWald 15:4–5

Weiterführende Literatur

3. Connell JH (1978) Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science* 199:1302–1310
4. Fox JW (2013) The intermediate disturbance hypothesis should be abandoned. *Trends Ecol Evolut* 28:86–92
5. Jax K (1998) Natürliche Störungen – ein wichtiges Konzept für Ökologie und Naturschutz? *Zeitschrift für Ökologie und Naturschutz* Jahrgang 7:241–253
6. Reichholf JR (2001) Störungsökologie: Ursache und Wirkungen von Störungen. Bayerische Akademie für Naturschutz und Landschaftspflege. Laufener Seminarbeiträge 1(1):11–16
7. Romme WH, Boyce MS, Gresswell R, Merrill EH, Minshall GW, Whitlock C, Turner MG (2011) Twenty years after the 1988 Yellowstone fires: lessons about disturbance and ecosystems. *Ecosystems* 14:1196–1215
8. White PS, Jentsch A (2001) The search for generality in studies of disturbance and ecosystem dynamics. *Prog Bot* 62:399–450

10

Warum vernetzt sein so wichtig ist

Kann ein Fisch dafür sorgen, dass ein Strauch am Ufer des Teiches besonders viele Samen ansetzt? Er kann und braucht dazu nicht einmal den Teich zu verlassen. Er tut dies indirekt über die ökologischen Beziehungen zwischen Arten. Keine Art lebt für sich alleine, alle Arten sind durch Beziehungsnetze miteinander verbunden. Zwischenartliche Beziehungen offenbaren sich uns als Bewegungsabläufe wie jagende Löwen, nach Fliegen schnappende Fische, Elstern, die Zweige für ihr Nest sammeln oder Blüten besuchende Schmetterlinge. Andere Beziehungen werden im Verborgenen gelebt. Wir nehmen kaum Notiz von den Bakterien in unserem Verdauungstrakt, die für uns lebensnotwendig sind.

Die Beziehungen zwischen Arten sind das, was die Natur in ihrem Innersten zusammenhält. Sie sind die

vierte Dimension der biologischen Vielfalt. Und sie sind die wichtigste Triebfeder für die Entstehung neuer Arten.

Lange Zeit kümmerte sich die Biologie kaum um zwischenartliche Beziehungen. Als im 16. und 17. Jahrhundert Entdeckungsreisende und Naturforscher in fernen Ländern unterwegs waren, sammelten sie Pflanzen, Pilze und Tiere, ohne sich um das Umfeld zu kümmern. Im Vordergrund der Naturforschung standen stets die Organismen selbst. Sie wurden beschrieben und in das Klassifikationssystem eingeordnet, und damit hatte es sich.

Erst mit dem Aufkommen der Ökologie als eigenständiger Forschungszweig der Lebenswissenschaften begannen sich Naturforscher zu fragen, wie denn die vielen verschiedenen Arten miteinander in Verbindung stehen. Die Lebensgemeinschaften und Ökosysteme rückten ins Zentrum der Forschung, und seither fördern Biologen erstaunliche Kenntnisse über das Zusammenleben verschiedener Arten zutage.

Vom Fisch zum Strauch

Zurück zum Fisch. Genau genommen handelt es sich um Sonnenbarsche, die in Teichen in einem Naturschutzgebiet Floridas leben. Es gibt dort viele Teiche, manche enthalten Fische, manche keine. Die Vegetation ist überall gleich, unter anderem wächst hier ein strauchförmiges Johanniskraut mit gelben Blüten. Der Strauch gedeiht am Ufer der Teiche besonders gut. Ein Team von Wissenschaftlern wählte ein paar gleich große Teiche aus, die Hälfte mit Fischen, die andere Hälfte ohne. Sie wollten wissen, wie sich

die gegenseitige Beeinflussung verschiedener Arten durch das Fehlen eines Mitgliedes auswirkt. Das Drama in drei Akten lässt sich so beschreiben: Die Sonnenbarsche leben räuberisch und machen Jagd auf die Larven von Libellen, die im Wasser leben. Die Libellen selbst halten sich gerne in der Nähe von Teichen und Seen auf und sind ebenfalls räuberische Wesen, die andere Insekten erbeuten. Dazu gehören auch Bestäuber wie Wildbienen und Fliegen. Diese wiederum besuchen die Blüten des Johanniskrauts und sorgen für eine erfolgreiche Bestäubung. Die Forscher fanden markante Unterschiede zwischen Teichen mit und ohne Fische. Die Anzahl der Blütenbesucher auf den Sträuchern am Ufer von Fischteichen war ungleich höher als am Ufer von fischlosen Teichen. Entsprechend verhielt sich auch der Samenansatz des Johanniskrauts. Wie kommt das?

Fische im Teich bedeuten weniger Libellen in der Luft. Das wiederum führt zu mehr Bestäubern, was den Samenansatz auf dem Strauch fördert. Wassertiere üben einen positiven Einfluss auf Landpflanzen aus, das Johanniskraut profitiert von Fischen. Besser könnte eine Studie kaum die Verbindungen verschiedenster Arten veranschaulichen. Sie zeigt auch, dass das Fehlen eines Gliedes in der Verkettung ökologischer Beziehungen sich stark auswirken kann. Ob das zum Guten oder Schlechten für die übrigen Glieder ist, steht auf einem anderen Blatt. Das Johanniskraut ist sicher nicht in seiner Existenz gefährdet, wenn es in ein paar Teichen keine Fische mehr gibt. Aber das Beziehungsgefüge reagiert prompt auf andere Gegebenheiten. Wird es verändert, kommt es zu Verschiebungen in der Anzahl der Individuen. Die Studie zeigt auch, dass das Beziehungsgefüge lokal ganz unterschiedlich ausfallen kann. Die fischlosen

Teiche sind nur etwa einen Kilometer von Fischteichen entfernt, und doch beobachten wir andere Verhältnisse im Zusammenspiel zwischen Fischen, Libellen, Bestäubern und dem Strauch.

Angesichts des heutigen Artenschwundes und der Degradierung von Lebensräumen ist daher klar, dass sich Biologen über mögliche Konsequenzen Gedanken machen. Was passiert, wenn die Beziehungsnetze Löcher bekommen? Wenn Arten ausfallen und kein Ersatz vorhanden ist? Doch hier soll erst einmal die Vielfalt der Beziehungen vorgestellt werden. Blütenbestäuber und eine räuberische Lebensweise sind nur zwei von vielen weiteren Beziehungsgefügen.

Eine Vielfalt von Beziehungen

Die offenkundigste und uns am vertrauteste Beziehung zwischen Arten ist das Beschaffen von Nahrung. Ich spreche absichtlich nicht von Fressen, denn die Mittel und Wege der Nahrungsaufnahme gehen weit über den Gebrauch von Pranken, mit Zähnen bewaffneten Mäulern oder den scharfen Scheren eines Krebses hinaus. Ein Schwamm filtert aus dem Meerwasser Kleinstlebewesen heraus, eine Wattschnecke spült die Sandkörner durch den Darm, um die anhaftenden Algen und Bakterien zu bekommen. Den Begriff „Fressen“ ersetzen Biologen daher lieber mit „Prädation“. In allen Fällen wird organische Substanz aufgenommen, um den eigenen Stoffwechsel aufrechtzuerhalten. Neben der Nahrungsaufnahme von Tieren existieren weitere ökologische Beziehungen wie das

Bestäuben von Blüten, die Verbreitung von Samen durch Tiere, Tarnung vor Feinden oder Konkurrenz um Wasser und Licht bei Pflanzen.

Der US-Amerikanische Ökologe Eugene Odum (1913–2002) versuchte, Ordnung in die vielfältigen Beziehungen zu bringen. Er überlegte sich, dass in einer ökologischen Beziehung die Partner entweder profitieren oder Schaden nehmen können, oder sie bleiben unbehelligt. Er unterschied fünf Kategorien, die heute in abgewandelter Form in jedem Ökologielehrbuch stehen (Tab. 10.1).

Was alle zwischenartlichen Beziehungen gemeinsam haben, ist die gegenseitige Anpassung. Ich behaupte einmal, dass das äußere Erscheinungsbild eines jeden Lebewesens Anpassungen an andere Arten verrät, neben den

Tab. 10.1 Ökologische Beziehungsvielfalt. Einige Beispiele ökologischer Beziehungen zwischen verschiedenen Arten. Sie beschreiben die Wechselwirkung der Individuen miteinander. (+ bedeutet einen Nutzen aus der Beziehung, – bedeutet einen Nachteil oder Schaden)

Art A	Art B	Beziehung
+	–	Prädation: Fleischfresser, Pflanzenfresser
+	–	Parasitismus
+	+	Mutualismus: Bestäubung durch Tiere, Samenverbreitung durch Tiere, Symbiosen wie Flechten, Darmflora
–	–	Konkurrenz: Streit um Nistplätze, Nahrung, vermindertes Wachstum bei Pflanzen in Anwesenheit von Nachbarpflanzen
+	0	Kommensalismus: Mitesser wie Aasfresser, die Raubtieren folgen und von der Beute leben. Kuhreiher ernähren sich von Insekten, die durch die Weidetiere aufgeschreckt werden

Anpassungen an das Klima. So sind die Stacheln und Dornen an den Zweigen vieler Pflanzen Schutz vor Fressfeinden. Wattvögel haben einen langen Schnabel, damit sie im Watt nach Nahrung stochern können, Kernbeißer einen kurzen und kräftigen Schnabel, damit sie Steinfrüchte knacken können. Die scharfen Krallen eines Eichhörnchens ermöglichen das Erklettern eines Baumes, Giraffen können mit ihrem langen Hals das Laub der Akazien fressen, auch wenn es sich weit oben befindet.

Im Laufe der Stammesgeschichte haben sich Arten in verblüffender Weise an andere Arten angepasst. Wer einmal eintaucht in die Beziehungsgefüge und die Vielfalt von Organismen im Spiegel der gegenseitigen Anpassung betrachtet, kommt aus dem Staunen nicht mehr heraus. Bei den Beziehungen zwischen Pflanzen und Tieren wird besonders deutlich, mit welchem Erfindergeist die Evolution Aussehen und Lebensweise von Arten prägt; etwa bei der Bestäubung von Blüten und der Verbreitung von Samen.

Designermodelle bei Blüten und Früchten

Irgendjemand muss den Pollen von einer Blüte zur anderen bringen. Ein Pollenkorn enthält die männliche Geschlechtszelle, die es zur Befruchtung braucht; nur dann kann ein Same entstehen. Pflanzen wie Gräser, Kiefern oder Birken nutzen den Wind für die Übertragung des Blütenstaubes, sehr zum Leidwesen der Pollenallergiker. Die meisten Pflanzenarten aber nutzen Tiere als

Postbote für den Blütenstaub. Dazu locken sie ihre Bestäuber mit farbigen Blütenblättern und Duftwolken an. Der Bestäuberdienst kostet aber etwas, denn kein Insekt würde nur deswegen eine Blüte aufsuchen. Blüten bieten Nahrung an, entweder in Form von Nektar oder überzähligem Pollen. Bei der Bestäubung steht also wieder die Nahrungsaufnahme im Vordergrund.

Bei Blütenbesuchern und Bestäubern denken wir zuerst an Insekten wie Biene und Hummel, doch weltweit ist es ein stattlicher Zoo, der in den Dienst der Pollenübertragung getreten ist. Insekten sind bei Weitem die wichtigsten Bestäuber, aber auch bestimmte Vögel, Fledermäuse, Reptilien, und sogar Nagetiere übertragen Pollen. Was schon frühe Naturforscher faszinierte, ist der Zusammenhang zwischen Blütentyp und Bestäubertyp. Es gibt Designerblüten, angefertigt für eine ganz bestimmte Klientel. Biologen sprechen von Bestäubersyndromen.

So sind die Blüten der Weißen Seerose klassische Käferblüten: groß, von heller Farbe, tagsüber offen und leicht zugänglich. Die Käfer ernähren sich vom reichlich vorhandenen Pollen. Ganz anders gebaut sind die Blüten des Waldgeißblattes. Eine lange und enge Röhre verwehrt den meisten Insekten den Zugang zum Nektar. Die Blüten öffnen sich in der Dämmerung, begleitet von starkem Duft. Sie nehmen Kontakt zu nachtaktiven Schmetterlingen auf.

In der Neuen Welt werden viele Pflanzenarten von Kolibris bestäubt, den kleinsten Vögeln überhaupt. Vogelblumen lassen sich durch ihre vorwiegend rote Farbe sowie dem reichlich fließendem Nektar erkennen. Die Kolibris spezialisierten sich auf Blüten und entwickelten einen langen und schmalen Schnabel, der in die Blüte eingeführt

werden kann. Fledermausblumen hingegen sind unauffällig gefärbt, da Blumenfledermäuse nachts umherschwirren und farbige Blüten ihnen nichts nützen. Der Duft ist dafür umso wichtiger und eine reichliche Menge an Pollen als Verköstigung. Da kann die Schnauze einer Fledermaus schon einmal eingepudert werden. Beim Anflug der nächsten Blüte bleibt sicher etwas am Fruchtknoten hängen.

Die Blütenbestäubung durch Tiere ist eine klare Win-win-Strategie, von der beide Partner profitieren. Das gilt auch für Früchte, die es auf Verdauungsverbreitung abgesehen haben. Kleine rote oder schwarzblaue Beeren an Sträuchern wie Johannisbeere oder Liguster liefern ein kohlenhydratreiches Vogelfutter – die Vögel verschlingen die Früchte mitsamt den Samen. Eine Weile später werden sie ausgeschieden und sind keimfähig; inzwischen ist der Vogel woanders hingeflogen und trägt zur Verbreitung der Samen bei. Wie bei der Bestäubung, wirken in den Tropen auch andere Tiere als Samenverbreiter. So spielt die Jamaika-Fruchtfledermaus eine wichtige Rolle beim Verbreiten der Samen bestimmter Feigenbäume, und die Früchte sind fledermausgerecht gestaltet: stark duftend, größer als Vogelbeeren, von bräunlicher bis grünlicher Färbung. Die Früchte des Afrikanischen Affenbrotbaumes hingegen hängen an langen Stielen und sind weder für Vögel noch für Fledermäuse von Interesse. Die bis zu 40 Zentimeter langen Fruchtkapseln werden von Elefanten, Antilopen und Pavianen gepflückt, die als Samenverbreiter agieren.

Bei der Blütenbestäubung und Samenverbreitung profitieren beide Arten, die miteinander in Wechselwirkung treten. Das Bündnis ist aber eher locker, denn nach

getaner Arbeit geht das Tier wieder seinen Weg. Bei anderen Beziehungen hingegen leben zwei oder mehrere Arten innig miteinander verbunden: der Bandwurm im Magen des Wirtes, zum Nutzen des einen und Schaden des anderen oder die klassischen Symbiosen zum Nutzen aller.

Symbiosen

Wenn es unserer Darmflora nicht gut geht, fühlen wir uns nicht wohl und werden sogar krank. Wir sind von unserer Symbiose abhängig und könnten ohne die Verdauung unterstützenden Bakterien nicht leben. In der Natur sind Symbiosen allgegenwärtig. Und auffallend oft sind Bakterien und andere Mikroorganismen daran beteiligt. Im Meer leben Blumentiere und Steinkorallen in Symbiose mit einzelligen Algen, die Fotosynthese betreiben und das Tier mit Zucker und Stärke versorgen. Im Gegenzug erhalten die Algen einen geschützten Wohnort und Kohlendioxid frisch von der Koralle. Die Haut der Korallen ist förmlich angefüllt mit Millionen der Algenzellen, und ein Korallenriff könnte sich ohne die Symbiose gar nicht aufbauen. Auf dem Land begegnen uns Symbiosen in Form von Flechten, eine Vergesellschaftung einer Alge und eines Pilzes. Daraus entstehen eigenständige Organismen, Doppelwesen, die sogar als Arten bezeichnet werden. Oder Leguminosen, die in Symbiose mit Knöllchenbakterien leben und so besser mit Stickstoff versorgt werden.

Die wichtigste Symbiose auf dem Land liegt verborgen im Erdreich. Nur wenn die Fruchtkörper gewisser Pilze aus dem Boden schießen, erfahren wir von ihrer Existenz.

Die Mykorrhizapilze oder Wurzelpilze bilden im Boden ein unterirdisches Netz von gigantischem Ausmaß. Sie verbinden viele verschiedene Pflanzen miteinander, auch verschiedene Arten. Treten die Fruchtkörper nur zeitweilig in Erscheinung, liegen die Pilzfäden die ganze Zeit im Boden. Sie verknüpfen sich mit den Feinwurzeln der Pflanzen und sind Stoffautobahnen, auf denen ein reger Austausch zwischen Pflanzen und Pilzen stattfindet. Und wie es sich für eine Symbiose gehört, ist es ein Geben und Nehmen: Der Pilz erhält von der Pflanze Kohlenhydrate aus der Fotosynthese, die Pflanze bekommt dafür Nährsalze und Wasser. Die Wurzelpilze vergrößern erheblich den Aktionsradius der Pflanzenwurzeln, sodass die Aufnahme der Bodenlösung erleichtert wird.

Die Bedeutung der Mykorrhizen für pflanzliches Wachstum ist enorm, vor allem für Bäume. Forscher sprechen manchmal von einem „Wood Wide Web“: 90 Prozent aller Landpflanzen leben in Symbiose mit Wurzelpilzen, am Netz sind rund 6000 Pilzarten beteiligt. Das System entwickelte sich bereits vor etwa 450 Mio. Jahren, als die ersten Pflanzen das Land zu besiedeln begannen. Die Symbiose dürfte maßgeblich zur Eroberung des Festlandes beigetragen haben.

Netze: Wer treibt es mit wem?

Angenommen, auf einer Wiese gibt es zwanzig Pflanzenarten und fünfzig Insektenarten, die sich von Pflanzen ernähren. Wir können nun ein großes Blatt Papier nehmen und einen Kreis zeichnen. Auf ihn setzen wir

Symbole – für jede Insektenart ein X und für jede Pflanzenart ein O. Wenn der Kreis groß genug ist, können wir die Namen der Arten dazuschreiben.

Jetzt gilt es, Striche zu zeichnen. Welche Insektenart frisst von welcher Pflanzenart? Wir verbinden den Schwefelkäfer mit der Wilden Möhre, weil er gerne diese Pflanze aufsucht und am Pollen nascht.

Das Kunstwerk, das sich vor uns auftut, ist die bildliche Darstellung einer Beziehungskiste. In diesem Fall ein Nahrungsnetz. Von manchen Insektenarten gehen viele Striche ab und führen zu verschiedenen Pflanzenarten. Bei anderen Insekten, den Wählerischen, sind es nur wenige Striche. Deren Spektrum an akzeptablen Futterpflanzen ist gering. Dasselbe gilt auch für die Pflanzen: Manche Arten werden von vielen Insektenarten aufgesucht, andere von nur wenigen.

Solche Netze lassen sich auch für andere Beziehungsgefüge aufzeichnen, etwa für die samenverbreitenden Tiere, für Bestäuber, Fleischfresser oder die Mykorrhizapilze (Abb. 10.1). Sie zeigen die Struktur eines Beziehungsnetzes und sagen sehr viel über die Organisation eines Ökosystems aus. Sie geben an, wie stark die Arten miteinander verbunden sind. Sie zeigen auch, dass die Arten in gegenseitiger Abhängigkeit stehen.

Bei jedem Beziehungsnetz lassen sich flexible Arten und weniger flexible erkennen. So könnte es mindestens theoretisch möglich sein, dass eine Insektenart auf unserer Wiese alle zwanzig Pflanzenarten als Nahrungsquelle nutzt. Oder sie besucht nur eine einzige Art. Zwei Extremfälle, zwischen denen alle Übergänge möglich sind. Biologen sprechen von Generalisten, wenn sich eine Tierart von

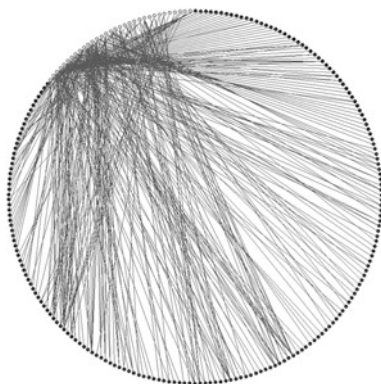


Abb. 10.1 Bestäubernetz einer Wiese in Polen. Die hellen Punkte stellen Pflanzenarten dar, die schwarzen Punkte Insektenarten. Die Linien verbinden die Insekten mit den Pflanzen und geben an, welches Insekt welche Pflanze besucht. (Nach Zych et al. 2010)

vielen Arten ernährt, wenn ihr Nahrungsspektrum breit ist. Spezialisten hingegen akzeptieren nur wenige Arten. In jedem Ökosystem sind Generalisten und Spezialisten vorhanden. Richtige Generalisten sind eher selten, die meisten Arten sind wenigstens zu einem Teil spezialisiert. Unter den Schmetterlingen finden sich viele Spezialisten. So ernähren sich die Raupen des Oleanderschwärmers ausschließlich vom Oleander – eine vollkommene Abhängigkeit, denn wenn der Schmetterling keine Nahrungspflanze findet, auf der er seine Eier ablegen kann, ist es um den Nachwuchs geschehen.

Die Aufklärung solcher Beziehungsnetze ist zu einer wichtigen Aufgabe der ökologischen Grundlagenforschung geworden, und man weiß für viele Lebensräume noch

gänzlich wenig darüber. Wissenschaftler sind aber einhellig der Meinung, dass komplexe Beziehungsnetze – viele Striche auf unserem Kunstwerk von oben – ein Ökosystem stabiler machen, im Vergleich zu einem einfach strukturierten Beziehungsnetz. Das allerdings setzt ein gewisses Maß an Artenvielfalt voraus, damit die vielen Verbindungen auch zustande kommen können.

Weiterführende Literatur

1. Kadereit JW, Körner C, Kost B, Sonnewald U (2014) Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften. Springer Spektrum, Berlin
2. Knight TM, McCoy MW, Chase JM, McCoy KA, Holt RD (2005) Trophic cascades across ecosystems. *Nature* 437: 880–883
3. Offenberger M (2014) Symbiose. Warum Bündnisse fürs Leben in der Natur so erfolgreich sind. Deutscher Taschenbuch Verlag, München
4. Schumacher H, Loch K, Loch W, See WR (2005) Das Erbleichen der Korallen. *Biol unserer Zeit* 3:186–191
5. Weber E (2015) Der Fisch, der lieber eine Alge wäre. Das erstaunliche Zusammenleben von Tieren und Pflanzen. Beck, München
6. Web of Life (2017) Web of life. Ecological networks database. <http://www.web-of-life.es>. Zugegriffen 9. Aug. 2017
7. Zych M, Stpczyńska M, Jakubiec A (2010) It takes a flower and a bee to make a meadow: mutualistic plant-pollinator interactions are crucial for plant biodiversity conservation. *Proceedings of the 4th Global Botanic Gardens Congress*, 1–6

11

Meilensteine der Evolution

Dreieinhalb Milliarden Jahre sind eine unvorstellbar lange Zeit. So lange existiert nun Leben auf der Erde. In Dokumentarfilmen und Vorträgen wird oft der Zeitraffer als Trick angewandt, um die Zeitspanne überschaubar zu machen. Verkürzen wir die 3,5 Mrd. Jahre auf ein Jahr, wird es erst im Winter richtig interessant: Da geschehen die Ereignisse und Evolutionsvorgänge, die den Grundstein für die heutige Biodiversität legen. So besiedeln erst Mitte November die ersten Pflanzen und Tiere das bisher leblose Land. Vorher existierte Biodiversität nur in den Ozeanen. Etwa Mitte Dezember vollzieht sich mit dem Auftreten der ersten Blütenpflanzen auf dem Land ein dramatischer Wandel. Ein Faunen- und Florenwechsel verändert Lebensräume und ihre Bewohner. Etwa eine Woche vor Silvester kracht es, der Meteorit schlägt ein und löst

ein Massenaussterben aus, danach machen sich Vögel, Säugetiere, Insekten und Blütenpflanzen breit.

Jede Gegenwart ist das Ergebnis ihrer Vergangenheit, und die heutige Biodiversität beruht auf ein paar wichtigen Entwicklungen bei Pflanze und Tier während der neueren Erdgeschichte.

Wahrscheinlich hat es in der gesamten bisherigen Geschichte des Lebens noch nie so viele Arten gegeben wie heute. Genau sagen kann das niemand, denn die meisten Versteinerungen lassen sich nicht als Art bezeichnen, sondern als Angehörige einer bestimmten Familie oder Gattung. Und längst nicht alle Arten, die je gelebt hatten, hinterließen Spuren in Form von Versteinerungen, Abdrücken in Sedimenten oder Einschlüssen in Bernstein. Die Rekonstruktion längst vergangenen Lebens ist alles andere als einfach. Die Paläontologen verzeichnen aber eine Zunahme der Anzahl von Familien aller Lebewesen seit dem Beginn des Kambriums vor etwa 600 Mio. Jahren; nicht stetig, sondern mit Rückschlägen durch Massenaussterben. Nimmt man die Anzahl von Familien oder Gattungen als Indikator für Artenvielfalt, ist sie heute zweifelsohne auf einem Höhepunkt.

Klimatische Änderungen, das Entstehen und Vergehen von Meeren und Gebirgen und geografische Isolation fördern den Artbildungsprozess, können aber die immense Artenvielfalt unserer Zeit alleine nicht erklären. Die vielleicht wichtigste Triebfeder der Evolution der modernen Arten sind die vielen zwischenartlichen Beziehungen. Vor allem die Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und Tieren beflügelte die Evolution und ließ eine Unmenge an Arten entstehen. Biodiversität verstärkt sich gegenseitig,

ökologische Beziehungen wirken als Artenschleuder. Der Prozess ist keinesfalls abgeschlossen, nur werden wir in unserem kurzen Leben kaum Zeuge der Entstehung einer neuen Art.

Umwälzungen im Meer

Nicht nur auf dem Land, auch in den Ozeanen tat sich einiges seit Beginn der Kreidezeit vor etwa 140 Mio. Jahren. Eine Modernisierung betraf all diejenigen Tiere, die wir heute als Erinnerungsstücke an den Strandurlaub auflesen: Schnecken und Muscheln. Beide gehören zu den Mollusken oder Weichtieren, doch die Weichheit bezieht sich nur auf den Körper. Eigentlich sollten die Tiere Hartschaler heißen, denn die Muschelschalen und Schneckengehäuse sind hart, überdauern in Form von Versteinerungen die Jahrtausende und werden laufend an den Strand gespült. Die Härte hat seit der Kreidezeit zugenommen, Schalen und Gehäuse wurden dicker und fester. Warum? Der Zoologe Geerat Vermeij weiß die Antwort, denn er beschäftigt sich eingehend mit der Evolution der Mollusken. Sein Zugang zu den Tieren beläuft sich auf das Abtasten der Gehäuse und Schalen mit seinen Fingern, denn er erblindete im Alter von drei Jahren. Geboren in den Niederlanden, promovierte er in den USA und ist heute Professor an der University of California in Davis. Er glaubt, dass die zunehmende Festigkeit von Schneckengehäusen seit Anfang der Kreidezeit auf ein Wechselspiel mit Raubtieren zurückgeht – Tiere, die die Gehäuse knacken, um an das Fleisch heranzukommen. Eine ganze

Reihe heutiger Meeresbewohner ist darauf spezialisiert, Muschelschalen und Schneckenhäuser zu zerbrechen. Zu ihnen gehören viele Arten von Fischen und Krebstieren, aber auch manche Vögel wissen die harten Schutzschilder zu knacken.

Zwischen den Weichtieren und ihren Räubern habe eine Koevolution stattgefunden, so Vermeij, die allmählich zu der immensen Vielfalt an gut geschützten Schnecken und Muscheln geführt habe. Koevolution ist das Stichwort für viele weitere Ereignisse in der Kreidezeit und danach. Gemeint ist die gegenseitige Beeinflussung der Arten bezüglich ihrer Anpassungen. Raubtiere werden immer besser im Ergreifen von Beutetieren, die Beute wird immer besser in der Verteidigung oder Flucht. Solche wechselseitigen Beeinflussungen in der Evolution lassen sich bei vielen Organismengruppen beobachten.

In den letzten 20 Mio. Jahren geschah noch etwas anderes. Die Körpergröße von Meeressäugetieren nahm dramatisch zu und gipfelte im heutigen Blauwal, mit 200 Tonnen Gewicht und über 30 Metern Länge das größte Tier aller Zeiten. Kaum zu glauben, dass sich der Blauwal als Filterer am Leben erhält und mit seinen Barten Plankton aus dem Wasser fischt. Plankton besteht aus kleinen, pflanzlichen und tierischen Organismen, die nahe der Wasseroberfläche treiben, viele Kleinkrebse wie der Antarktische Krill gehören dazu. Dass Blauwale und andere große Meeressäuger entstehen konnten, führen Biologen auf eine Zunahme der Produktivität in den Meeren während der Jahrmillionen zurück. Die Biomasse an Plankton muss sich stark vergrößert haben und damit das Angebot an Nahrung. Anders ist die Existenz der großen

Tiere nicht zu erklären. Heute bildet der Antarktische Krill eine Biomasse von etwa 500 Mio. Tonnen und ist eine der wichtigsten Nahrungsquelle der großen Meeressäuger.

Gigantismus entstand auch bei den Landsäugetieren, nur sind die Großen unter ihnen – Mammut, Amerikanisches Mastodon, Riesenfaultier und weitere – ausgestorben. Übrig blieb der Elefant. All die großen Landsäuger waren Pflanzenfresser, die ihre Existenz einer üppigen Vegetation verdankten.

Blüten verändern die Welt

Für die heutige Biodiversität auf dem Land war das Aufkommen der Blütenpflanzen vor etwa 140 Mio. Jahren das Schlüsselereignis schlechthin. Eigentlich sollte ich von Bedecktsamern sprechen, denn „Blütenpflanzen“ im botanischen Sinne beinhalten zwei ziemlich verschiedene Gruppen von Pflanzen, die Nacktsamer und Bedecktsamer. Bei den Bedecktsamern sind die Samenanlagen in einem Fruchtknoten eingeschlossen, bei den Nacktsamern liegen sie gleichsam frei. Viel anschaulicher ist ein Blick auf die Pflanzen selbst: Zu den Nacktsamern zählen alle Nadelhölzer sowie ein paar eigentümliche Pflanzen wie Ginkgo, zu den Bedecktsamern der Rest der Blütenpflanzen, von Akelei bis Zitrone. Wenn ich von Blütenpflanzen rede, meine ich immer die moderneren Bedecktsamer, denn Nadelhölzer gab es schon vorher.

Die modernen Blütenpflanzen veränderten alles: Ökosysteme, Evolution – und die Tierwelt, vor allem die Insekten. Es ist kein Zufall, dass heute die artenreichste

Tiergruppe die Insekten darstellen und die artenreichste Pflanzengruppe die Blütenpflanzen. Was geschah damals?

Vor den Blütenpflanzen wuchsen Farngewächse und ihre Verwandten wie Bärlappe und Schachtelhalme auf dem Land, zusammen mit Nadelhölzern. Sie bildeten zwar stattliche Wälder, konnten es aber in Sachen Vielfalt nicht mit den Blütenpflanzen aufnehmen. Einen Hinweis darauf zeigen die heutigen Nadelhölzer mit ihren etwa 600 Arten: Sie sind alle nach demselben Muster gestrickt, funktionieren auf ähnliche Weise und benötigen keine Tiere zur Bestäubung.

Die Evolution der modernen Blütenpflanzen in der Kreidezeit stellte eine eigentliche Revolution dar, in kurzer Zeit entstand eine Vielzahl von Pflanzenfamilien mit den verschiedensten Wuchsformen wie Sträucher, Laubbäume, und Kletterpflanzen. Aber auch ganz andere Gestalten wie Stauden, Einjährige, Wasser- und Sumpfpflanzen belebten zunehmend die Landschaften. Das gab es vorher nicht. Und die Diversifikation – das laufende Entstehen neuer Arten – der Blütenpflanzen verlief parallel zur Diversifikation anderer Organismengruppen. Amphibien, Ameisen, Schildläuse und weitere Insektengruppen verzeichnen einen raschen Anstieg an Formen und Arten seit der Kreidezeit, ebenso Vögel und später die Säugetiere (Abb. 11.1). Das Massenaussterben vor etwa 65 Mio. Jahren als Folge eines Meteoriteneinschlages war dabei eine Begleiterscheinung der Kreiderevolution, die sicher einen großen Einfluss auf den weiteren Verlauf der Evolution hatte. Ursache war das Ereignis sicher nicht, denn Insekten, Vögel oder Blütenpflanzen gab es schon vorher. Zum Niedergang der Dinosaurier dürften die großen Umwälzungen der



Abb. 11.1 Zu den sozialen und staatenbildenden Insekten gehören Ameisen, Bienen oder Wespen. Sie entwickelten sich mit dem Aufkommen der Blütenpflanzen und waren Teil der Kreiderevolution. (© lirtlon/stock.adobe.com)

Lebensräume in der Kreidezeit beigetragen haben, da sind sich die Forscher einig.

Mit dem Aufkommen der Blütenpflanzen entstanden die heutigen Beziehungsnetze wie Bestäubung und Samenverbreitung durch Tiere. Die Pflanzenwelt wurde farbig. Dabei beeinflussten sich verschiedene Arten gegenseitig in ihrer Evolution, was auf beiden Seiten zu Verbesserungen des Bauplanes führte. Der Vorgang der Koevolution ist der Schlüssel zur heutigen Artenvielfalt.

Die ersten Blütenfossilien zeigen kleine Blüten, die möglicherweise von Käfern oder urtümlichen Fliegen bestäubt wurden. Sie ähneln stark den Blüten eines kleinen Strauches mit dem wissenschaftlichen Namen

Amborella trichopoda, der nur in den Bergwäldern auf Neukaledonien wächst und als eine Urform der Blütenpflanzen gilt.

Die Blütenpflanzen brachten nicht nur farbige Blüten in die Landschaft, sondern viele weitere neue Erscheinungen wie eine Vielzahl komplexer chemischer Inhaltsstoffe, neue Strukturvielfalt in den Ökosystemen und damit neue Nischen, neue Waldtypen und neue Lebensräume wie Sümpfe. Das breite Spektrum an Wuchsformen erlaubte die Besiedelung von Gebieten, in denen Bäume nicht gedeihen können, wie trockene Gebiete oder das Hochgebirge. Ob die Nadelhölzer zu solch einer Arten- und Formenfülle fähig gewesen wären, vermag niemand zu sagen, möglicherweise aber nicht.

Das Wechselspiel zwischen Blütenpflanzen und Insekten beflügelte nicht nur die Evolution der Bestäuber und tierischen Samenverbreiter. Auch chemische Verteidigung gegen pflanzenfressende Insekten führte zu einem Anstieg der Artenvielfalt, besonders auf der Seite der Insekten. Viele Pflanzenarten führen in ihren Blättern, Stängeln oder Früchten Giftstoffe, um Schädlinge fernzuhalten. Zu solchen natürlichen Insektiziden gehören Stoffe, die auch im Pflanzenbau Anwendung finden, wie die Pyrethrine aus Chrysanthemen. Zwischen herbivoren Insekten und Pflanzen fand schon seit langem ein eigentlicher Giftkrieg statt, denn auch die Insekten evolvierten und entwickelten Abwehrmechanismen, beispielsweise in Form von bestimmten Enzymen, die Pflanzengifte unwirksam machen. Nur so ist es möglich, dass gewisse Schmetterlingsraupen gerade giftige Pflanzenarten als ihre Nahrungspflanzen nutzen.

Gräser und Grasländer

Ein weiterer Höhepunkt der neueren Erdgeschichte war die Evolution von Gräsern. Die heutigen Gräser bilden eine riesige Pflanzenfamilie mit etwa 12.000 Arten. Sie sind über den ganzen Globus verteilt und kommen in allen Klimazonen vor. Das Gras ist ein Erfolgsmodell der Pflanzen, und Gräser veränderten einiges auf dem Land. Gräser gehören zu den Blütenpflanzen wie Rosen und Tulpen, der Pollen wird bei ihnen jedoch vom Wind übertragen. Daher sind ihre Blüten unscheinbar.

Die ersten Gräser tauchten laut Fossilfunden vor etwas mehr als 65 Mio. Jahren auf – also zu dem Zeitpunkt, als die Dinosaurier bereits dem Untergang geweiht waren und bald aussterben sollten. Forscher hatten Reste von Grasblättern in versteinertem Dung von Dinosauriern gefunden, die Riesenechsen waren also möglicherweise die ersten Weidetiere.

Gräser beschränkten sich zunächst auf Waldgebiete und Sümpfe, wuchsen dann aber auch in der offenen Landschaft. Im Gegensatz zu Bäumen konnten Gräser auch trockene und heiße Gegenden besiedeln, sie entwickelten entsprechende Anpassungen. Vor acht bis zehn Mio. Jahren breiteten sich Grasländer auf der Erde aus, Meere von Grashalmen, die bis heute als Prärien in Nordamerika, Savannen in den Tropen und Steppen in Asien überdauert haben. Der Vorgang ist nicht alleine auf ein trockeneres Klima zurückzuführen. Ein anderes Naturphänomen förderte die Ausbreitung von Gräsern auf Kosten von Wäldern, das Aufkommen des Gras-Feuer-Zyklus. Hinweise darauf fanden Forscher in der Tiefe des Pazifik, als sie die

Sedimentschichten des Ozeanbodens genau analysierten. Sie stellten in etwa 8 Mio. Jahre alten Schichten eine ungewöhnlich hohe Menge an Holzkohleteilchen fest – viel mehr als in den älteren Schichten. Dies ist ein untrügliches Zeichen dafür, dass es auf dem Land begonnen hat, ordentlich zu brennen. Bei einem Waldbrand reißt der Wind federleichte, verbrannte Stücke von Zweigen und Blättern mit, verfrachtet sie, bis sie ins Meer gelangen und absinken.

Die Wissenschaftler gehen von folgendem Szenario aus: Als das Klima trockener wurde und Trockenzeiten aufkamen, gab es in den Wäldern Lücken durch abgestorbene Bäume. Diese konnten von Gräsern besiedelt werden. Grashalme aber häufen eine leicht entzündliche Biomasse an, vor allem während einer Trockenzeit, es kommt vermehrt zu Bränden. Damit ist der Zyklus in Gang gesetzt, denn das Feuer zerstört Bäume und bereitet frischen Boden für die Gräser. Feuer fördert Gräser, Gräser fördern Feuer. Das funktioniert aber nur, wenn Gräser Buschbrände überleben können. Die heutigen Savannengräser zeigen wie: Im Boden verborgen liegen kräftige Ausläufer, geschützt vor den Flammen, die leicht wieder austreiben können.

Gräser und Weidetiere

Gräser brachten nicht nur vermehrt Feuer auf die Erde und in der Folge auch Pflanzenarten, die an Feuer angepasst sind. Das Zusammentreffen von Gräsern und Säugetieren führte zu zwei Entwicklungen, die später für den

Menschen größte Bedeutung erlangen sollten: fraßresistente Gräser und große Pflanzenfresser. Vielen Gräsern macht es überhaupt nichts aus, wenn sie ständig abgefressen werden, weil sie immer wieder neu austreiben können. Ihre Knospen für neue Halme und Blätter liegen dicht dem Boden auf oder sind sogar im Boden versteckt. Nur so ist es möglich, abgefressene Teile zu ersetzen. Das Wechselspiel zwischen Gräsern und pflanzenfressenden Säugetieren hat all diejenigen Tierarten hervorgebracht, die etwa in der afrikanischen Savanne bewundert werden, wie Zebras, Gnus oder Gazellen. Diese wiederum zogen schnelle Raubtiere wie Löwen nach sich.

Die Geschichte der Menschheit wäre ohne Gräser anders verlaufen. Gräser lieferten nicht nur Getreide, sondern auch Pferd, Rind und Schaf, von Baumaterial wie Schilf und Bambus ganz abgesehen.

Die heutige Biodiversität, eine Momentaufnahme

In geologischen Zeiträumen gedacht, ist die heutige Zusammensetzung der Biodiversität eine kurze Momentaufnahme. Auch ohne Einfluss des Menschen würde sie sich ändern, wenn auch allmählich. Was wir heute vorfinden, beruht auf den Vorgängen der letzten erdgeschichtlichen Epochen. Klimatische Änderungen, evolutive Vorgänge als Antwort auf sich ändernde Umweltbedingungen und gegenseitige Anpassungen formen und gestalten die Artenvielfalt und die Arten selbst, und zwar fortwährend. Das sind aus unserer Sicht sehr

langsame Prozesse. Und der Zufall spielt wesentlich mit. Niemand kann sagen, wie sich die Biodiversität entwickelt hätte, wenn die Dinosaurier nicht ausgestorben wären oder wenn es keine starken Klimaschwankungen zu verschiedenen Zeiten in der Erdgeschichte gegeben hätte. Die Biodiversität würde sich in einem anderen Kleid zeigen, so viel ist klar.

Heute haben wir mit dem Einfluss des Menschen – er wird uns noch beschäftigen – eine andere Dimension der Veränderung bekommen. Der Mensch hat in sehr viel kürzerer Zeit als in erdgeschichtlichen Zeitepochen für manchen Tumult gesorgt, der sich auf die gesamte Biodiversität auswirkt.

Dabei brauchen wir weitaus mehr Biodiversität, als uns bewusst ist.

Weiterführende Literatur

1. Beerling D (2007) The emerald planet. How plants changed Earth's history. Oxford University Press, Oxford
2. Benton MJ (2010) The origins of modern biodiversity on land. *Phil Trans R Soc* 365:3667–3679
3. Kadereit JW, Körner C, Kost B, Sonnewald U (2014) Lehrbuch der Pflanzenwissenschaften. Springer Spektrum, Berlin
4. Prasad V, Strömberg CAE, Alimohammadian H, Sahni A (2005) Dinosaur coprolites and the early evolution of grasses and grazers. *Science* 310:1177
5. Pyenson ND, Vermeij GJ (2016) The rise of ocean giants: maximum body size in Cenozoic marine mammals as an indicator of productivity in the Pacific and Atlantic Oceans. *Biol Lett* 12:e20160186

6. Vermeij GJ (1977) The Mesozoic marine revolution: evidence from snails, predators and grazers. *Palaeobiology* 3:245–258
7. Wang H, Moore MJ, Soltis PS, Bell CD, Brockington SF, Alexandre R, Davis CC, Latvis M, Manchester SR, Soltis DE (2009) Rosid radiation and the rapid rise of angiosperm-dominated forests. *Proc Natl Acad Sci* 106:3853–3858

Teil IV

Was nützt uns Biodiversität?

12

Schatzkammer Natur

Wie viel Biodiversität brauchen wir zum Leben? Wie viele Arten, wie viele Gene in den Arten und wie viele Lebensräume? Schwierige Fragen und im Grunde genommen müßige Fragen. Biodiversität ist Teil der Natur, die uns umgibt, genauso wie der Himalaya oder die Sahara. Und die Natur ist so beschaffen, dass sie an vielen Orten mit einer überbordenden Artenvielfalt aufwartet, an anderen Orten jedoch mit nur wenigen Arten. So ist der artenarme Nadelwald des hohen Nordens genauso von Bedeutung wie ein artenreicher Laubwald, denn beide binden Kohlendioxid, halten das Klima kühl, reinigen die Luft und liefern Pilze und Holz.

Dass Biodiversität für uns Nutzen und Wert hat, ist unbestreitbar. Biodiversität ist weit mehr als eine bloße Bereicherung und ein bewundernswertes Phänomen. Sie ist für unser tägliches Leben von größter Bedeutung. Biodiversität

schaft Arbeitsplätze, ernährt uns, erhält uns gesund, bietet Erholungsräume, liefert sauberes Wasser und ermöglicht überhaupt erst unsere Existenz. Biodiversität ist für unseren Alltag entscheidend, nicht nur durch all die Pflanzen und Tiere, die wir unmittelbar brauchen, sondern auch indirekt durch die vielfältigen Funktionen einer intakten Natur. Gerade diesbezüglich haben neuere Forschungen Erstaunliches zutage gefördert. Eine hohe Biodiversität stabilisiert Ökosysteme und schützt uns vor Krankheiten, um nur zwei Beispiele zu nennen. Davon in den folgenden Kapiteln mehr.

Vorerst möchte ich bei den Arten bleiben, die für unser tägliches Leben unentbehrlich sind. Von besonderer Bedeutung für uns ist die Nahrungsaufnahme. Wie viele Arten brauchen wir, um uns zu ernähren? Auch diese Frage ist nicht leicht zu beantworten! Man sagt oft, dass nur ganz wenige Arten von Pflanzen und Tieren den größten Teil der Welternährung decken – Kartoffeln, Mais, Reis und Weizen auf der einen Seite, Rind, Schaf, Schwein und Huhn auf der anderen Seite. Doch niemand kann von diesen acht Arten alleine leben, für eine gesunde Ernährung benötigt man schließlich auch Vitamine aus Früchten und Gemüse – und Pfeffer oder Thymian, soll das Essen nicht fade schmecken.

Biodiversität für die Küche

Wie viele Arten stecken in einem Essen? Ein Rezept zu analysieren und all die Arten herauszusuchen ist ein Spaß für die ganze Familie. Nehmen wir dieses dreigängige Menü:

gefüllte Artischocken
Seezungenröllchen in Pfeffersosse mit Spargelspitzen
und Wildreis
Birnen in Schaumsoße

Die Analyse ergibt 18 verschiedene Pflanzenarten und drei Tierarten – Huhn, Kuh und Seeszunge – die direkt oder in Form von Produkten wie Hühnerbouillon oder Zucker Bestandteil des Gerichtes sind. Und wenn nach dem Essen noch Kaffee serviert wird, kommt eine weitere Pflanzenart hinzu.

Diese 22 Arten hängen ihrerseits von weiteren Arten ab. Der Birnbaum etwa braucht Bestäuber wie die Honigbiene, damit er Früchte ansetzen kann – eine weitere Art. Die Honigbiene aber wird nicht alleine von Birnbäumen leben können, da diese nicht das ganze Jahr über blühen. Damit ein Bienenstaat bestehen kann, sind vom Frühjahr bis in den Herbst viele verschiedene Blumen nötig, die zu verschiedenen Zeiten blühen. Imker sprechen von der Blütentracht. Viele dieser Blumen wiederum sind zusätzlich auf andere Bestäuber wie Schmetterlinge, Hummeln, Schwebfliegen oder Wildbienen angewiesen, denn die Honigbiene alleine kann unmöglich alle Blüten bestäuben. All die Pflanzen stecken im Boden, in einem Substrat, das durch die Aktivität unzähliger Bodenorganismen erst entstanden ist und aufrechterhalten wird. Die Organismen reichen von Bakterien bis zu Milben, Ameisen, Regenwürmern und Mykorrhizapilzen. Und weil alle irdischen Lebewesen das Zeitliche segnen, braucht es auch Zersetzer, die tote Organismen abbauen und die Stoffkreisläufe aufrechterhalten.

Dass wir zu Gewürzpflanzen greifen können, hängt wiederum von einer Vielzahl weiterer Arten ab, die in der Vergangenheit auf die Pflanzen eingewirkt und dafür gesorgt haben, dass sie Gewürzstoffe enthalten. Dabei handelt es sich um sogenannte sekundäre Inhaltsstoffe – chemische Verbindungen, die eine Pflanze nicht zum Aufbau von Stängeln oder Blättern benötigt, sondern meist ein Schutzmittel gegen pflanzenfressende Tiere sind, allen voran gegen Insekten. Ob Piperin in der Pfefferpflanze, Koffein in den Früchten des Kaffeestrauches oder Nikotin in den Blättern der Tabakpflanze, alle diese Inhaltsstoffe sind natürliche Insektizide, die die Pflanzen gegen Schädlinge schützen. Neben Fraß durch hungrige Insekten haben auch andere ökologische Beziehungen auf die Pflanzen eingewirkt. Der Kaffeestrauch konnte sich nur deswegen bis in die moderne Zeit erhalten und vom Menschen in Kultur genommen werden, weil Tiere seine Früchte verbreitet hatten. Die roten Steinfrüchte sind an Vogelverbreitung angepasst. Hätten sich im Laufe der Evolution nicht die biologischen Wechselbeziehungen zwischen Arten ergeben, wie in Kap. 11 geschildert, hätten wir keine Gewürzpflanzen, keine Obstbäume und auch keine pflanzlichen Arzneimittel (Abb. 12.1).

Schon jetzt sind wir bei mehreren Hundert Arten, die auf irgendeine Weise zum Menü von oben beigetragen haben. Und die drei Tierarten? Hühner brauchen Samen zum Picken und die Kuh braucht eine Weide oder Heu mit Gräsern und Kräutern. Die Seeszunge ist ein Raubfisch, sie ernährt sich von Borstenwürmern, Muscheln und kleinen Krebsen. Diese wiederum ... *Da capo al fine* steht zuweilen in Musiknoten, wenn einige Takte wiederholt werden sollen.



Abb. 12.1 Das reiche Angebot an Gewürzen, Früchten und Gemüse auf den Märkten verdanken wir der Biodiversität. (© Nataly-Nete/stock.adobe.com)

Nutzpflanzen und ihre Verbündeten

Je weiter wir diese Gedanken spinnen, desto diffuser wird die Angelegenheit. Bei den indirekt beitragenden Arten wird es schwierig, eine Liste aufzustellen. Genau wegen dieser Diffusität ist es so schwierig, der Biodiversität einen Wert zuzuordnen. Vergleichbar ist das mit der Kollektivschuld oder Kollektivverantwortung. Man weiß nicht so recht, wer alles zum Kollektiv gehört. Die Überlegungen machen auch klar, dass wir keinen Katalog mit den lebensnotwendigen Arten aufstellen können. Es gibt auch keinen Schwellenwert für Biodiversität. Wir können nicht

sagen, ab zehn Arten pro Quadratmeter herrscht auf einer Wiese Artenvielfalt. Wir können aber die Natur selbst als Maßstab nehmen. Wenn ein bestimmter Lebensraum von Natur aus artenreich ist, sollten wir das als gegeben hinnehmen; und wenn etwa der natürliche Nadelwald im hohen Norden artenarm ist, so stellt auch dies eine ganz natürliche Situation dar.

Ich bleibe in diesem Kapitel bei den Nutzpflanzen. Das Standardwerk zur globalen Übersicht von Nutzpflanzen, *World Economic Plants*, listet 12.000 Pflanzenarten. Eine erstaunlich hohe Zahl, und das sind nur die wichtigsten Arten. Jede dieser Arten hängt von vielen weiteren Arten ab. Doch es gibt sicherlich noch sehr viele weitere Nutzpflanzen. So werden alleine für die traditionelle chinesische Medizin schätzungsweise ebenso viele Pflanzenarten verwendet.

Wir beziehen weitaus mehr Produkte aus der Natur, als gemeinhin angenommen, selbst in unserer technisierten Welt. Milliarden schwere Industrien leben von Naturerzeugnissen, angefangen von Baumwolle und Schafswolle für Kleidung, Holz für fast alle Zwecke, bis hin zu Genussmitteln und Medikamenten. Die Suche nach neuen brauchbaren Arten und Stoffen geht dabei weiter, denn es gibt in unserer globalisierten Welt neue Herausforderungen. Dazu gehören sicher die Bekämpfung des Welthungers in einer Zeit der ständig wachsenden Bevölkerung und eine Anpassung der Landwirtschaft angesichts des Klimawandels, der Böden vertrocknen lässt. Aber nicht nur bei den Nahrungspflanzen wird nach neuen Arten und Sorten gesucht, auch Energiepflanzen und neue Wirkstoffe für Arzneimittel gewinnen an Bedeutung. Und

nicht allein bei Pflanzen wird es Veränderungen geben. Schon jetzt sind essbare Insekten auf dem europäischen Markt erhältlich, was vor ein paar Jahrzehnten noch undenkbar war.

Für all diese Bemühungen benötigen wir Biodiversität – eine reiche Auswahl an Arten, die in das natürliche Netz der Beziehungen zwischen Arten eingebettet sind, sich entsprechend evolviert haben und so für uns Menschen interessante Eigenschaften aufweisen.

Neue Pflanzen auf die Felder

Thomas Jefferson (1743–1826), einer der Gründerväter der Vereinigten Staaten von Amerika, soll einmal gesagt haben, das Beste, das jemand für sein Land tun könnte, sei die Einführung einer neuen Nutzpflanze. Die Suche nach neuen brauchbaren Pflanzen ist immer noch aktuell.

Ein Kandidat steht in langen Reihen auf dem Gelände einer Versuchsgärtnerei in der Nähe von Erfurt. Die Durchwachsene Silphie (*Silphium perfoliatum*) stammt aus Nordamerika und wird bis zu 3 Meter hoch. Ihre gelben Blüten gleichen denen einer Sonnenblume. Sie produziert eine ordentliche Biomasse, und für den Anbau ist es praktisch, dass sie hohe und kaum verzweigte Stängel bildet. Sie wird als künftige Energiepflanze getestet, denn durch Raps alleine wird man Benzin und Diesel nicht ersetzen können, sollte dies überhaupt jemals gelingen. Auf der Suche nach geeigneten Energiepflanzen kommen auf einmal ganz neue Arten auf die Felder. Neben der Durchwachsenen Silphie prüfen Agronomen auch

den Riesenchinaschilf (*Miscanthus × giganteus*) oder den Anbau von Weiden. Das Bild der Felder wird sich ändern.

Auch für die Sicherstellung der Welternährung spielen neue Arten zunehmend eine Rolle. Dabei greifen Wissenschaftler der Nutzpflanzenforschung oft auf uralte und längst vergessene Kulturpflanzen zurück, wie auf die Quinoa (*Chenopodium quinoa*). In Südamerika pflanzten die Bauern bereits vor 5000 Jahren Quinoa; die Pflanze wächst auch in 4000 Metern Höhe bestens und liefert hochwertiges Eiweiß. Die westliche Welt entdeckte die Pflanze erst 1993 wieder, und die Gründe sind alles andere als rühmlich. Als im 16. Jahrhundert die Spanier auf ihren Eroberungszügen in Südamerika die Inkas und Azteken unterwarfen, hatten sie den Anbau von Quinoa verboten; dadurch sollten die Völker geschwächt werden. Die Spanier brachten das Gewächs auch nicht nach Europa, daher blieb es für lange Zeit unbekannt. Durch eine Studie der amerikanischen Raumfahrtbehörde NASA wurde 1993 der mögliche Wert der Pflanze festgestellt, auch hinsichtlich der Herstellung von Astronautennahrung.

Dass Agronomen in Deutschland und in anderen Regionen neue Pflanzenarten als mögliche Energie- oder Nahrungspflanzen in Betracht ziehen, hat wieder mit Biodiversität zu tun, und zwar mit der globalen Verteilung von Arten. Sie erinnern sich, in Nordamerika wachsen ganz andere Pflanzenarten als in Europa. So haben wir in der europäischen Flora keine Staude, die so groß wird wie die Durchwachsene Silphie und denselben Zweck erfüllen würde. Und eine Pflanze wie die Quinoa ist nun einmal in Südamerika entstanden. Dass Kandidaten für künftige Nutzpflanzen in Übersee gesucht werden, hat mit der

Evolution der Artenvielfalt auf den verschiedenen Kontinenten zu tun.

Das gilt in noch viel größerem Maß für die Pharmaindustrie. Neue Wirkstoffe werden nicht nur in Pflanzen gefunden, sondern auch bei vollkommen unerwarteten Arten auf dem Land wie im Meer.

Auf der Suche nach neuen Medikamenten

Seit der Antike nutzt der Mensch pflanzliche Inhaltsstoffe als Heilmittel, im Mittelalter legten Mönche und Ärzte Kräutergärten an und stellten farbenprächtige Bildbände über Heilpflanzen zusammen. Pflanzliche Heilmittel spielen auch heute eine überaus wichtige Rolle, so beruht eines der verbreitetsten Antidepressiva auf Wirkstoffen des Johanniskrauts.

Was die kleine Essensanalyse im Abschnitt „Biodiversität für die Küche“ ergeben hat, gilt auch für Arzneimittel: Pflanzliche Inhaltsstoffe überwiegen bei weitem tierische Inhaltsstoffe. Doch seit einigen Jahren werden auch andere Organismengruppen auf brauchbare Wirkstoffe untersucht. Die Forscher suchen zunehmend in den Meeren – und sie werden fündig. Damit sind wir inmitten der Naturstoffchemie angelangt, einem Wissenschaftszweig, der Biodiversität und Chemie verbindet. Ein Ziel ist, neue biologisch wirksame Stoffe zu identifizieren. Meist sind es die sekundären Inhaltsstoffe, die im Zentrum des Interesses stehen.

Frank Petersen, Leiter der Naturstoffforschung bei Novartis, erklärte in einem Vortrag, dass zurzeit etwa 160.000 Naturstoffe von landlebenden Arten beschrieben wurden und etwa 15.000 von Meeresorganismen. Eine enorme Anzahl und ein riesiger potenzieller Markt für die Pharmaindustrie. Auch in Bakterien und Pilzen hatten Forscher vielversprechende Inhaltsstoffe gefunden. Petersen nennt ein Beispiel einer Pflanze und eines Bakteriums. Die Pflanze heißt Einjähriger Beifuß (*Artemisia annua*) und wächst in Asien bis auf 3700 Metern Höhe. In Europa und Nordamerika kommt sie gelegentlich als verwildertes Unkraut vor. Schon 1977 hatten Biochemiker das Artemisinin identifiziert und als potenzielles Antimalariamittel wiederentdeckt – im alten China war diese Wirkung schon im 4. Jahrhundert bekannt. Artemisinin führte 1994 zur Entwicklung zweier wichtiger Medikamente zur Malariabehandlung. Das Beispiel zeigt auch den langen Weg von der Identifikation eines interessanten Moleküls, der Strukturaufklärung, bis zur Entwicklung eines Medikaments.

Das erwähnte Bakterium ist außergewöhnlich, denn es wurde 1964 auf der Osterinsel aus Bodenproben isoliert. Der Inhaltsstoff Rapamycin findet als Immunsuppressivum Anwendung; solche Medikamente werden bei Gewebe- und Organtransplantationen verabreicht, um die Abstoßungsreaktion des Körpers zu unterdrücken.

Vielversprechende Inhaltsstoffe werden nicht nur in Pflanzen und Bakterien gefunden, sondern auch in Pilzen und wirbellosen Meeresorganismen wie Schwämmen und Schnecken. Aus einem marinen Schwamm namens *Tectithya crypta* in der Karibik hatten Pharmakologen Stoffe

isoliert, die zur Entwicklung von Medikamenten gegen AIDS und andere Viruserkrankungen führten.

Exkurs: Die Peptide der Kegelschnecken

Kegelschnecken umfassen etwa siebenhundert Arten, die in tropischen Meeren leben. Sie zeichnen sich durch prächtige Gehäuse aus und ernähren sich räuberisch von Borstenwürmern, anderen Schnecken oder Muscheln. Einige Arten fangen Krebse oder gar Fische. Das erscheint paradox – eine langsame Schnecke auf Jagd nach einem schnellen Fisch. Doch manche Arten der Kegelschnecken stoßen blitzschnell mit einem harpunenartigen Organ zu und lähmen oder töten ihre Beute mit Giften, wie bei einer Giftschlange. Das macht Kegelschnecken für Taucher gefährlich, denn die Gifte mancher Arten sind auch für uns Menschen tödlich. Eine fischfressende Kegelschnecke braucht aber ein hochwirksames Gift, denn der Fisch muss auf der Stelle reglos sein, damit er in aller Ruhe und mit der Langsamkeit einer Schnecke verzehrt werden kann.

Pharmakologen interessieren sich für diese Giftstoffe. Dabei handelt es sich um kleine Eiweißstoffe, sogenannte Peptide, von denen jede Art eine ganz bestimmte Mischung bereithält. Wissenschaftler gehen davon aus, dass eine einzelne Art an die zweihundert verschiedene Peptide bildet – bei der Kegelschneckenarten insgesamt ein riesiger Fundus neuer Wirkstoffe.

Ein Peptid der Kegelschnecken, das Ziconotid, hat bereits zu einem neuen Schmerzmittel geführt, das etwa tausend Mal wirksamer als Morphin ist. Für Patienten mit chronischen Schmerzen ist dies ein Segen, denn im Gegensatz zu Morphin führt es nicht zur Entwicklung von Toleranz und Süchtigkeit im Körper.

Bisher hatten Wissenschaftler nur sechs der Kegelschneckenarten und nur etwa hundert der vielen Peptide untersucht. Da wird sich noch manch neue Anwendung zeigen.

Von allen Arten sei bisher aber nur ein geringer Anteil auf brauchbare Inhaltsstoffe geprüft worden, so Russell Cox von der Universität Hannover. Cox ist Professor für Mikrobiologische Chemie und Geschäftsführer des neuen Forschungsinstitutes „Biomolekulares Wirkstoffzentrum“, das sich unter anderem der Isolierung, Identifizierung und Synthese neuer Wirkstoffe widmet. Cox selbst glaubt, dass Pilze künftig an Bedeutung zunehmen werden; aber jeder Forscher bearbeite seine bevorzugte Organismengruppe, sodass sich allgemeine Trends kaum erkennen lassen.

Gene für die Zukunft

Ich hatte in Kap. 1 die drei Komponenten der Biodiversität erwähnt, genetische Vielfalt, Artenvielfalt und Lebensraumvielfalt. Wie steht es um die Gene? Wir verdanken der genetischen Vielfalt mindestens so viel wie der Artenvielfalt. Das zeigen die unzähligen Sorten der wichtigsten Nahrungspflanzen. Von der Kartoffel existieren rund 5000 Sorten, alleine in den südamerikanischen Anden werden von den Bauern etwa 3800 Sorten gepflanzt. Vom Reis existieren weltweit gar 120.000 Sorten. Alle Nutzpflanzen und Nutztiere sind gezüchtete Sorten oder Rassen, die mit der Wildform nicht mehr viel gemein haben. Pflanzensorten und Tierrassen sind nichts anderes als genetische Varianten einer Wildart, die durch Domestikation erzeugt wurden. Der Prozess der Domestikation ist für sich schon spannend genug und zeigt das ganze Potenzial genetischer Variation. Durch Kreuzen und beständiger und gezielter Auslese lässt sich eine Art in beinahe jede beliebige Form

züchten – vorausgesetzt, die entsprechenden Gene sind vorhanden. Ohne genetische Vielfalt in den ursprünglichen Wildarten gäbe es nicht diese Sortenvielfalt. Bei der Züchtung zeigt sich, dass die Gesamtheit der Gene, das Genom, verformbar und knetbar ist. Das ist besonders auffällig beim Haushund, bei dem es Züchter auf etwa 800 verschiedene Rassen gebracht haben. Diese reichen vom frechen Dackel bis zum gutmütigen Berner Sennenhund, und niemand erkennt mehr die Wildform, den Wolf.

Die Sortenentwicklung von Nutzpflanzen ist noch längst nicht abgeschlossen. Das Internationale Kartoffelinstitut in der peruanischen Hauptstadt Lima und das Internationale Reisforschungsinstitut auf den Philippinen widmen sich der Verbesserung von Sorten, aber nicht nur. Es geht auch um die Verbesserung der Anbautechniken und der Lebenssituation der Bauern.

Warum neue Sorten? Genügen denn die vielen schon vorhandenen Sorten nicht mehr? In unserer Zeit gibt es neue Herausforderungen, etwa Anpassungen an den Klimawandel oder die Entwicklung von Schädlingsresistenz. So arbeiten Wissenschaftler des Internationalen Reisforschungsinstitutes an der Züchtung trockenresistenter Reissorten; diese brauchen dann nicht mehr im Wasser zu stehen. Schädlingsresistenz ist ein wichtiges Thema der modernen Pflanzenzüchtung, nicht nur bei Feldfrüchten, sondern auch bei Obst und bei Zierpflanzen. Sorten, die gegen bestimmte Schädlinge resistent sind, brauchen viel weniger Pestizide, was Kosten spart und die Umwelt schont.

Viele Juwelen dank Artenvielfalt

Die Anzahl von Arten, die ich in diesem Kapitel erwähnt hatte, ist nicht gerade sehr hoch. Die Organisation „Plants for a Future“ spricht aber von 20.000 essbaren Pflanzenarten; da kann noch manche künftige Kulturpflanze entdeckt werden.

Selbst wenn wir letztlich von einer eher geringen Anzahl von Arten ernährt werden, verdanken wir dies der Biodiversität. Der Bezug ergibt sich aus der Trefferwahrscheinlichkeit, die Juwelen zu finden. Längst nicht alle Pflanzen- und Tierarten eignen sich für unsere Ernährung und lassen sich kultivieren oder domestizieren. Je größer die Auswahl aber ist, umso besser stehen die Chancen, eine neue brauchbare Pflanze zu finden. Das gilt besonders für pharmakologische Wirkstoffe, die nicht nur aus Pflanzenarten isoliert werden. Die enorme Artenvielfalt ist wie eine Schatzkammer, aus der bei Bedarf das eine oder andere gute Stück herausgenommen wird. Wenn aber die Schatzkammer durch den fortschreitenden Artenverlust an Wert verliert, wird es immer schwieriger, neue Juwelen zu finden.

Weiterführende Literatur

1. Chivian E, Bernstein A (Hrsg) (2008) Sustaining life: How human health depends on biodiversity. Oxford University Press, New York
2. Chivian E, Bernstein A (2010) How our health depends on biodiversity. Center for health and the global environment.

<http://www.chgeharvard.org/sites/default/files/resources/182945%20HMS%20Biodiversity%20booklet.pdf>.

Zugegriffen: 9. Aug. 2017

3. Petersen F (2017) Accessing microorganisms as genetic resources for natural products in drug discovery. https://www.ifpma.org/wp-content/uploads/2016/02/Frank_Petersen.pdf. Zugegriffen: 18. Nov. 2017
4. Plants for a Future (2012) Edible plants: an inspirational guide to choosing and growing unusual edible plants. Plants for a Future, Dawlish, UK
5. Vietmeyer N (2008) Underexploited tropical plants with promising economic value: the last 30 years. *Trees for Life Journal* 3:1–13. <http://www.TFLJournal.org>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
6. Wiersema JH, León B (2013) *World economic plants: a standard reference*. CRC Press, Boca Raton

13

Gesund dank Biodiversität

Die Erreger der Lyme-Borreliose sind spiralförmige Bakterien, die der Bakteriologe Willy Burgdorfer 1981 entdeckte und ihm zu Ehren den Namen *Borrelia burgdorferi* erhielten. Die Infektionskrankheit kommt in der gesamten nördlichen Halbkugel vor, die Erreger werden von Zecken übertragen. Die Epidemiologie der Krankheit ist komplex, weil das Bakterium in den unterschiedlichsten Wirten lebt. Die Zecken stechen alles, was warmblütig ist, sie infizieren außer Menschen auch verschiedene Arten von Säugetieren und Vögeln. Nicht alle Zecken tragen das Bakterium in sich; in Deutschland liegt die Befallsrate je nach Region zwischen 6 und 35 Prozent. Lyme-Borreliose ist die häufigste zeckenübertragene Infektionskrankheit. An ihr offenbart sich auch die oft übersehene Tatsache, dass viele Erreger von Infektionskrankheiten des Menschen auch in anderen Arten vorkommen. Mediziner

gehen von etwa 60 Prozent aus. – Aber warum erzähle ich das alles?

Artenvielfalt schützt vor Infektionen

Eine Studie aus Nordamerika bewies den Zusammenhang zwischen Befallsrate der Zecken mit Borreliose-Erregern und der Artenvielfalt von Säugetieren in einem Gebiet unweit von New York. Verschiedene Tierarten wirken als sogenannte Reservoirwirte für den Borreliose-Erreger, was bedeutet, dass die Tiere den Erreger in sich tragen, aber nicht erkranken. Sie stellen gleichsam umherstreifende Vorratskammern des Bakteriums dar, aus denen Zecken die Erreger auf andere Tiere und den Menschen übertragen. Nun wirken aber nicht alle Tierarten in gleichem Maß als Reservoirwirt. Aus der Sicht des Bakteriums gibt es geeignete und weniger geeignete Tiere, was einen Einfluss auf die Vermehrungsrate des Bakteriums im Wirt hat. Ein effizienter Reservoirwirt im Untersuchungsgebiet ist die nordamerikanische Weißfußmaus, weil sie ungleich mehr Erreger mit sich herumträgt als andere Tierarten. Ob Menschen infiziert werden oder nicht, hat sehr viel mit Wahrscheinlichkeiten und Trefferwahrscheinlichkeiten zu tun: Wie groß sind die Populationen der verschiedenen Wirte, wie viele Zecken gibt es, welche Tierarten werden von den Zecken wie oft gebissen?

Die Wissenschaftler schwärmten im Spätsommer in der Umgebung von New York aus und fingen Weißfußmäuse, Streifenhörnchen, Grauhörnchen, Waschbären, Rehe und Singvögel ein, um die Zecken auf ihnen auszuzählen und

im Labor auf den Erreger zu testen. Sie sammelten Tiere an den verschiedensten Orten, die sich in der Artenvielfalt und Anzahl Tiere pro Art unterschieden: Waldränder, das Waldesinnere, Wegränder. Mit anderen Worten, vom Menschen weitgehend unbeeinflusste Lebensräume und solche, die stark beeinflusst sind. Das ist wesentlich, denn was die Forscher feststellten, hat mit diesem Einfluss zu tun: Das Infektionsrisiko in Gebieten mit vielen Tierarten war deutlich geringer als in Gebieten mit wenigen Tierarten. Letztere sind aber gerade degradierte Lebensräume, und in solchen fühlt sich die Weißfußmaus besonders wohl. Sie ist aber ein wirkungsvoller Reservoirwirt. Kurz und gut, in beeinträchtigten Lebensräumen ist das Infektionsrisiko hoch, weil viele Mäuse vorhanden sind und andere Wirte fehlen. „Unsere Studie macht klar, dass die Erhaltung der Vielfalt an Wirbeltieren und deren Lebensräume die Infektionsrate der Lyme-Borreliose vermindert“, so die Schlussfolgerung der Wissenschaftler [1, S. 567].

Von Malaria bis zum West-Nil-Virus

Was für Borreliose gilt, hatten Forscher auch bei anderen Krankheitserregern festgestellt. Seit einigen Jahren erkennen Ökologen und Präventivmediziner gleichermaßen die schützende Funktion von Artenvielfalt bezüglich des Auftretens von Infektionskrankheiten. Bezeichnend ist, dass diese Befunde erst durch Zerstörung der Lebensräume mitsamt der darin lebenden Artenvielfalt an den Tag gelegt wurden. Erst durch den Vergleich intakter Lebensräume mit degradierten Lebensräumen konnte die Bedeutung

von Artenvielfalt für die Verminderung von Infektionsraten gezeigt werden.

Die Mechanismen sind manchmal vollkommen unvorhersehbar, wie bei den Malaria übertragenden Stechmücken. Von den weltweit etwa 3500 verschiedenen Stechmückenarten übertragen längst nicht alle Krankheitserreger. Malaria beispielsweise wird nur von etwa vierzig Arten der Gattung *Anopheles*, den Malariamücken, übertragen. In tropischen Regenwäldern leben meist verschiedenste Stechmückenarten. Was Präventivmediziner noch nicht verstehen, aber im gesamten Verbreitungsgebiet der Malaria beobachten, ist der starke Einfluss von Rodung auf die Infektionsgefahr für den Menschen. Wird Wald gerodet, vermindert das die Artenvielfalt der Stechmücken; die Arten, die übrig bleiben, sind aber gerade die besten Malariaüberträger. Das lässt sich im Amazonas genauso beobachten wie in Ostafrika oder Asien. Im Amazonas etwa führte das Roden von Wald zu einem sprunghaften Anstieg der Häufigkeit der Malariamücke *Anopheles darlingi*, auf Kosten der anderen zwanzig Arten – Arten, die im Wald lebten und weniger effizient in der Übertragung der Malariaerreger waren.

In einem intakten Tropenwald wirkt die Vielfalt an Stechmücken verdünnend, wie Experten es ausdrücken. Die Erreger verteilen sich auf mehr Überträger und Zwischenwirte, was das Risiko der Infektion eines Menschen mindert. In ganz ähnlicher Weise fördert die Zerstörung des Lebensraumes Wald das Ausbreiten der Schistosomiasis oder Bilharziose. Erreger sind kleine Saugwürmer, die Schnecken als Zwischenwirt nutzen. Wenn Wald gerodet wird, ändern sich die Lebensbedingungen massiv, auch

für die vielen Schneckenarten. Die meisten können nicht mehr existieren und diejenigen Arten, die übrig bleiben, sind unglücklicherweise die besonders effizienten Zwischenwirte.

Daher erstaunt es nicht, dass Parasitologen, Mediziner und Biologen besorgt sind über den fortschreitenden Schwund an natürlichen Lebensräumen. Auch andere Krankheitserreger wie das West-Nil-Virus und die Hantaviren breiten sich zunehmend aus, weil die natürliche Artenvielfalt in den Lebensräumen dezimiert wird. Dadurch fehlen auch Raubtiere, die zur Regulation der Wirtspopulationen beitragen. Es ist nicht nur der Klimawandel, der Infektionen begünstigt, auch der Verlust an Biodiversität trägt direkt dazu bei.

Auch Pflanzenpathogene und Wildtierkrankheiten

Nicht nur das Auftreten von Infektionskrankheiten des Menschen steht in Zusammenhang mit Biodiversität und deren Verlust. Auch Pflanzenkrankheiten, verursacht durch Pilze, Viren oder Bakterien, unterliegen genau denselben Mustern. Das konnte ein Experiment an der Universität Jena zeigen, für das Forscher verschiedene Pflanzenarten in unterschiedlichen Kombinationen anpflanzten – von Monokulturen bis zu artenreichen Mischkulturen. Das Auftreten von Pilzkrankungen auf den Pflanzen war in den Versuchseinheiten mit vielen Arten deutlich geringer als in denen mit nur einer oder

wenigen Arten. Pflanzen sind ständig Pilzsporen ausgesetzt. Wer beim Spaziergang durch Wald und Wiese aufmerksam die Pflanzen betrachtet, wird überall Spuren von Pathogenen finden. Viele der Pilze sind spezifisch und befallen nur wenige Pflanzenarten. Es scheint so, dass es für die Pathogene schwierig ist, geeignete Pflanzen zu finden, wenn viele Pflanzenarten gemeinsam vorkommen.

Dass die Epidemiologie von Wildtiererkrankungen denselben Prinzipien folgt wie die menschlicher Infektionen, liegt auf der Hand. Auch hier wirkt Biodiversität abfedernd, und durch eine hohe Anzahl Tierarten kommt es wieder zu einem Verdünnungseffekt. Krankheitserreger von Wildtieren haben für unsere Gesundheit eine Bedeutung, wenn die Gefahr des Überspringens auf den Menschen besteht. Etwa beim Milzbrand-Erreger (*Bacillus anthracis*) in Afrika, der Menschenaffen wie den Schimpansen und andere Wildtiere befällt; auch Menschen können sich infizieren. Das Robert Koch-Institut in Berlin berichtet von einer neuen Spielart des Bakteriums, das im Taï-Nationalpark an der Elfenbeinküste weit verbreitet ist und eine ernste Bedrohung für die Schimpansen darstellen könnte. Für eine genaue Risikoabschätzung brauche es aber Langzeitstudien, wie Fabian Leendertz, Veterinärmediziner am Robert Koch-Institut, erklärt: „Einerseits, um gefährdete Tierarten besser schützen zu können. Andererseits sind gerade Infektionen bei Menschenaffen Indikatoren für Krankheiten, die auch dem Menschen gefährlich werden könnten [2].“

Artenvielfalt als Wohlfühlfaktor

Szenenwechsel: Wenn hier in der Region der Mohn blüht und rote Tupfen ganze Roggenfelder überziehen, halten Leute an, machen Fotos, pflücken Mohnblumen und sind entzückt. Der Mohn ist attraktiv, wir wertschätzen ihn. Er beeinflusst unser Gemüt – allerdings weitaus mehr als das ebenso häufige Rispengras. Hätte der Mohn kleine grüne Blüten statt große rote, würde sich niemand um ihn kümmern. Nun ist der Mohn nur eine einzelne Art, und eine der beliebteren. Andere Arten sind naturgemäß weniger beliebt und fallen in die Kategorien Unkraut und Ungeziefer. Wir werten also Arten, nehmen eine Einstufung vor bezüglich Ästhetik, Nutzen und Schaden. Wie steht es aber mit der Artenzusammensetzung, der Vielfalt? Macht es einen Unterschied, ob eine Wiese bunt ist oder nur grasgrün?

Im Jahr 1984 veröffentlichte der Humangeograf Roger Ulrich eine oft zitierte Studie. Er verglich die Genesungszeit von Patienten in einem Krankenhaus, die sich alle derselben Operation unterziehen mussten. Alle Patienten waren in ähnlichen Zimmern untergebracht, der Blick aus dem Fenster unterschied sich aber. Konnten die einen lediglich auf eine Ziegelwand starren, sahen die anderen grüne Bäume im Garten. Ulrich analysierte die Daten aus den Krankenakten wie Dauer des Aufenthaltes, Verabreichung von Medikamenten und Notizen des Pflegepersonals. Der Vergleich der beiden Patientengruppen entpuppte sich als ziemlich aufschlussreich: Patienten mit Blick auf die Grünanlage erholten sich rascher und

brauchten weniger Medikamente als die Patienten mit Blick auf die langweilige Ziegelwand.

So bemerkenswert die Studie auch ist, mit Biodiversität selbst hat sie nichts zu tun. Die Frage lautete, ob das Vorhandensein einer Grünanlage einen positiven Einfluss auf die Genesung hatte; ob das nun eine oder mehrere Baumarten waren, spielte keine Rolle. Die Studie belegt aber die Heilkraft der Natur, wir sind unbewusst mit ihr verbunden (Abb. 13.1). Natur als Erholungsraum ist für uns unentbehrlich, was die hohen Besucherzahlen von Nationalparks und Naturparks zeigen. In Deutschland besuchen etwa 290 Mio. Menschen jährlich die Naturparks, Nationalparks und Biosphärenreservate in unserem Land.



Abb. 13.1 Wir lieben bunte und abwechslungsreich gestaltete Gärten, mit anderen Worten, Gärten mit hoher Biodiversität. (© Krawczyk-Foto/stock.adobe.com)

Möchten Forscher den ästhetischen Nutzen und die emotionale Bedeutung von Natur erfassen, um etwa herauszufinden, welche landschaftliche Vielfalt wir bevorzugen und wie Biodiversität uns anspricht, stoßen sie auf folgendes Problem: Wie soll man das erfassen?

In der Marktforschung und Meinungsforschung ergeben sich ähnliche Schwierigkeiten. Daher arbeiten die Experten auf diesem Gebiet sehr viel mit Umfragen: Auf einer Skala von eins bis zehn, wie gefällt Ihnen die Verpackung des Produktes? Wie finden Sie die Außenpolitik der CDU?

Warum also nicht diese Methoden in der Biodiversitätsforschung anwenden? Dies taten Wissenschaftler in der britischen Stadt Sheffield. Sie nahmen fünfzehn öffentliche Grünanlagen der Stadt unter die Lupe, erfassten die pflanzliche Artenvielfalt sowie die Schmetterlings- und Vogelarten. Dann befragten sie Personen, die sich gerade auf den Flächen aufhielten, wie sie die Grünfläche empfinden, ob sie ihnen gefällt und sie einen Erholungswert aufweist. Wie das bei Umfragen so üblich ist, konnten die Personen eine Bewertung mit einer Note vornehmen. Interessant ist, dass der empfundene Erholungswert mit zunehmender Anzahl von Pflanzenarten ebenfalls zunimmt. Die Wissenschaftler sprechen von einem psychologischen Nutzen artenreicher Grünflächen und kommen zum Schluss: „Das bloße Anlegen einer Grünanlage übersieht die Tatsache, dass solche Flächen in sehr unterschiedlicher Weise zur Volksgesundheit und zum Erhalt von Biodiversität beitragen [3, S. 393].“ Stadtplaner sollten also möglichst viele Arten in die Städte bringen, das ist gut für Mensch und Natur.

Nun mag man einwenden, dass dies nur eine Einzelstudie sei und daher nicht repräsentativ. Doch die Ergebnisse decken sich frappant mit den Ergebnissen der Arbeit von Petra Lindemann-Matthies von der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe. Die Professorin untersucht schon seit vielen Jahren die Wahrnehmung von Biodiversität in der breiten Bevölkerung.

Für ein Wahrnehmungsexperiment setzten sie und ihre Mitarbeiter als Ausgangsmaterial Tausende von Pflanzen in Töpfe. Die Forscher präsentierten in botanischen Gärten kleine künstliche Wiesen, indem sie auf Tischen Töpfe mit verschiedenen Wiesenpflanzen miteinander kombinierten. Manche Quadrate enthielten nur eine einzige Art, andere ein paar mehr, wiederum andere bis zu 64 Arten. Damit bildeten sie das ganze Spektrum von eintönig bis bunt und artenreich ab. Die Schau stand für drei Wochen zur Verfügung und Besucher konnten eine Bewertung vornehmen: Welches der Quadrate wirkt am natürlichsten, am wertvollsten oder einfach am schönsten? Auch hier ergab sich eine klare Beziehung zwischen der Anzahl von Pflanzenarten und der Wertschätzung durch die Besucher: Mit zunehmender Artenvielfalt erhielten die Quadrate bessere Noten.

Auch in echten Wiesen zeigten sich solche Trends, wenn artenarme und artenreiche Flächen entlang von Wegen markiert wurden und vorübergehende Besucher um ihre Meinung gebeten wurden. Und nicht nur bei der Artenvielfalt, auch bei der Lebensraumvielfalt gibt es einen positiven Zusammenhang zwischen Vielfalt und Wertschätzung.

Wir wollen und brauchen Biodiversität

Die verringerte Übertragungshäufigkeit von Krankheiten in artenreichen Lebensräumen macht klar, dass Biodiversität uns schützt und somit eine wichtige Funktion erfüllt. Die Studien zur Wahrnehmung zeigen, dass Biodiversität unabhängig von jeglicher Funktion auch einen Einfluss auf unsere Psyche und unser Wohlbefinden hat. Die Wertschätzung durch den Menschen, ob bewusst oder unbewusst, wird so zu einem wichtigen Argument für den Naturschutz. „Die Erhaltung von Biodiversität hängt stark von der Wertschätzung durch den Menschen ab“, so Lindemann-Matthies und ihre Mitarbeiter.

Bei diesen Studien treffen Naturwissenschaften auf Geisteswissenschaften. Für die Bedeutung des Gegenstandes „Biodiversität“ in der Gesellschaft interessieren sich tatsächlich zunehmend Philosophen und Ethiker; im Zentrum steht die Frage nach dem Eigenwert oder moralischen Wert von Natur und Biodiversität. Dabei handelt es sich um die Vorstellung, dass ein Ökosystem oder die Population einer Art ein schützenswertes Gut ist, das wir brauchen und dessen Verlorengang und Fehlen – etwa durch Zerstörung durch uns selbst – wir bedauern würden. Gérald Hess, Dozent für Umweltethik und Umweltphilosophie an der Universität Lausanne, sagt: „Die Vorstellung eines Eigenwertes der Biodiversität setzt also voraus, dass sich der Mensch selbst als integraler Bestandteil der Natur begreift“ [4, S. 13]. Dies sind Gedanken, die bereits der amerikanische Wildtierbiologe und Ökologe Aldo Leopold (1887–1948) formulierte, wenn er von der „Land-Ethik“ sprach.

Im letzten Kapitel haben wir gesehen, dass Biodiversität uns mit lebensnotwendigen Produkten versorgt. Die vielleicht wichtigste Bedeutung liegt aber in der Bereitstellung von so selbstverständlichen Dingen wie Trinkwasser und Boden.

Literatur

1. LoGiudice K, Ostfeld RS, Schmidt KA, Keesing F (2003) The ecology of infectious disease: effects of host diversity and community composition on Lyme disease risk. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* 100:567–571
2. Robert Koch-Institut, Pressemitteilung vom 3. August 2017. http://www.rki.de/DE/Content/Service/Presse/Pressemitteilungen/2017/06_2017.html. Zugriffen: 9. Aug. 2017
3. Fuller RA, Irvine KN, Devine-Wright P, Warren PH, Gaston KJ (2007) Psychological benefits of greenspace increase with biodiversity. *Biol Lett* 3:390–394
4. Hess G (2016) Vom Eigenwert der Biodiversität. Hotspot – Zeitschrift des Forum Biodiversität Schweiz 34, 12–13

Weiterführende Literatur

5. Chivian E, Bernstein A (2010) How Our Health Depends on Biodiversity. Center for Health and the Global Environment. <http://www.chgeharvard.org/resource/how-our-health-depends-biodiversity>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
6. Daszak P, Andrew A, Cunningham AA, Hyatt AD (2000) Emerging infectious diseases of wildlife – threats to biodiversity and human health. *Science* 287:443–449

7. Keesing F, Belden LK, Daszak P, Dobson A, Harvell CD, Holt RD, Hudson P, Jolles A, Jones KE, Mitchell CE, Myers SS, Bogich T, Ostfeld RS (2010) Impacts of biodiversity on the emergence and transmission of infectious diseases. *Nature* 468:647–652
8. Leopold A (1992) *Am Anfang war die Erde*. Sand County Almanac. Plädoyer zur Umwelt-Ethik. Kneesebeck GmbH, München
9. Lindemann-Matthies P, Junge X, Matthies D (2010) The influence of plant diversity on people's perception and aesthetic appreciation of grassland vegetation. *Biol Cons* 143:195–202
10. Lindemann-Matthies P, Briegel R, Schüpbach B, Junge X (2010) Aesthetic preference for a Swiss alpine landscape: the impact of different agricultural land-use with different biodiversity. *Landscape and Urban Planning* 98:99–109
11. Pongsiri MJ, Roman J, Ezenwa VO, Goldberf TL, Koren HS, Newbold SC, Ostfeld RS, Pattanayak SK, Salkeld DJ (2009) Biodiversity loss affects global disease ecology. *Bioscience* 59:945–954
12. Rottstock T, Joshi J, Kummer V, Fischer M (2014) Higher plant diversity promotes higher diversity of fungal pathogens, while it decreases pathogen infection per plant. *Ecology* 95:1907–1917
13. Ulrich RS (1984) View through a window may influence recovery from surgery. *Science* 224:420–421

14

Die Natur als Dienstleistungsbetrieb

Wir leben in einer Dienstleistungsgesellschaft. Wer zum Beispiel mit Bus und Straßenbahn zur Arbeit fährt, benutzt den sogenannten tertiären Sektor der Volkswirtschaft, den Dienstleistungssektor, der heutzutage einen beträchtlichen Anteil ausmacht. Es mag erstaunen, dass in den 1980er-Jahren ein Begriff auftauchte, der Ökologie und Dienstleistungen miteinander verknüpfte: „Ecosystem services“, also Ökosystemdienstleistungen. Was ist damit gemeint? Der Duden definiert eine Dienstleistung als eine „nicht unmittelbar der Produktion dienende Leistung, Arbeit“ [1]. Übertragen auf ein natürliches Ökosystem wären das also Zusatzleistungen, nicht die eigentliche Produktion von Lebewesen, Biomasse und die damit verbundenen Stoffkreisläufe. Diese Zusatzleistungen kommen uns zugute. Im Grunde genommen sind Ökosystemdienstleistungen eine banale Selbstverständlichkeit, nämlich, dass wir von der

Natur leben und ohne sie nicht existieren können. Das wissen wir seit Adam und Eva. Die Zusammenhänge zwischen dem Vorhandensein natürlicher Lebensräume und unserer Lebensqualität wurden freilich lange Zeit ignoriert und werden es immer noch.

Ein früher Protagonist im Aufzeigen der Bedeutung von Ökosystemdienstleistungen war der US-amerikanische Staatsmann und Schriftsteller George Perkins Marsh (1801–1882); er war ein Vordenker des Naturschutzes. Seine langen Aufenthalte im Mittelmeergebiet zeigten ihm, was degradierte Landschaften uns antun, vor allem das Abholzen ganzer Wälder. In seinem Buch *Man and Nature* erkannte er den Nutzen einer intakten Natur und schrieb etwa über das Auftreten von Schädlingen: „Der Mensch hatte für eine Zunahme von Insekten und Würmer gesorgt, weil er die Vögel und Fische zerstörte, die sich davon ernährten“ [2, S. 96]. In dieser Aussage steckt die ganze Ökologie, von der gegenseitigen Abhängigkeit der Arten bis hin zur Regulierung ihrer Populationen und dem Nutzen für uns.

Die Wiederentdeckung von Ökosystemdienstleistungen entpuppt sich als ein wertvolles Hilfsmittel, um die Bedeutung von Biodiversität für uns Menschen zu untermauern. Unsere Abhängigkeit von der Natur ist aus unserem Bewusstsein verschwunden – da ist jeder Ansatz recht, diese Tatsache zu verdeutlichen.

Die Ökosystemdienstleistungen

Richtig in Fahrt kam der Ansatz der Ökosystemdienstleistungen mit Kofi Annan, Generalsekretär der Vereinten Nationen von 1997 bis 2006. Er rief ein umfangreiches Projekt namens „Millenium Ecosystem Assessment“ ins Leben, das 2001 begann und vier Jahre in Anspruch nahm. Über tausend Wissenschaftler und Experten aus 95 Ländern stellten einen umfangreichen Bericht über den Zustand der natürlichen Lebensräume der Erde zusammen und arbeiteten Maßnahmen aus, um den Schutz und die nachhaltige Nutzung derselben zu gewährleisten. Das Aufrechterhalten von Ökosystemdienstleistungen stand dabei im Mittelpunkt der Beurteilung. So heißt es in einer Zusammenfassung des Berichtes [3, S. 1, Übersetzung des Autors]:

Jeder auf der ganzen Welt hängt vollkommen von den Ökosystemen ab und den Leistungen, die sie erbringen, wie Nahrung, Wasser, Regulierung von Pathogenen und Pestorganismen, Regulierung des Klimas, spirituelle und ästhetische Befriedigung.

Der Service, den uns die Natur tagtäglich bietet, kostet nichts, und genau deswegen sind wir uns dessen gar nicht bewusst. Das würde sich schlagartig ändern, wenn diese Dienstleistungen wegfallen würden und durch technische Hilfsmittel ersetzt werden. Um welche Art von Service handelt es sich denn? Um nicht weniger als das Bereitstellen der Grundlage für unsere Volkswirtschaft. Und dieses Bereitstellen beruht auf Biodiversität.

Exkurs: Die Ökosystemdienstleistungen

Die Autoren des „Millenium Ecosystem Assessment“ unterscheiden vier Kategorien von Ökosystemdienstleistungen, die aufeinander aufbauen und alle für unser tägliches Leben von Bedeutung sind:

Unterstützende Dienstleistungen. Sie erlauben die Existenz der Menschen und ermöglichen die Wirtschaft. Gemeint sind Prozesse und Eigenschaften natürlicher Lebensräume, die für jegliches Leben unabdingbar sind. Dazu gehören: Bodenbildung, Sauerstoffbildung, Nährstoffkreisläufe, Abbauprozesse, Artenvielfalt, genetische Vielfalt der Arten.

Bereitstellende Dienstleistungen. Sie decken unsere Grundbedürfnisse ab: Bereitstellen von sauberem Wasser, Nahrung, Baumaterial wie Holz und Fasern, Rohstoffe für Arzneimittel und andere Erzeugnisse, Energieträger.

Regulierende Dienstleistungen. Diese sind eng verwandt mit den unterstützenden Dienstleistungen. Sie umfassen Vorgänge in der Natur, ohne die unser Leben weitaus weniger angenehm wäre: Regulierung des Klimas, Verminderung der Auswirkungen von Hochwasser und Trockenheit, Regulierung der Bestände von Krankheitserregern und Schädlingen, Reinigung von Luft und Wasser, Abbau von Abfall, Bestäubung von Wild- und Kulturpflanzen.

Kulturelle Dienstleistungen. Sie können nicht vernachlässigt werden, denn sie beeinflussen ganz direkt unsere Stimmung und den Grad des Wohlfühlens: Erholung, Naturerlebnisse und Naturtourismus, ästhetische Befriedigung, spirituelle Erfüllung, Ruhe.

Im vorigen Kapitel habe ich bereits von zwei Dienstleistungen gesprochen, der Regulierung von Krankheitserregern und dem ästhetischen Wert von Natur und Biodiversität.

Ohne Boden keine Wirtschaft

Eine der offenkundigsten Ökosystemdienstleistung ist die Bildung von Boden. Ohne Ackerkrume könnte kein Bauer der Welt Weizen und Kartoffeln anbauen, keine Viehwirtschaft betreiben. Ohne Humus könnte kein Wald bestehen, dem wir Holz, Pilze und Beeren entnehmen. Für uns ist das Vorhandensein von Boden so selbstverständlich, dass wir zu keinem Zeitpunkt darüber nachdenken, woher er kommt und wie er entsteht. Nur wenn wertvoller Boden durch Erosion abgetragen oder unfruchtbar wird, werden wir daran erinnert, dass diese natürliche Ressource auf einer intakten Natur beruht. Wenn in früheren Zeiten Erntedankfeste gefeiert wurden, dann wurde unbewusst dem Boden gehuldigt.

Bodenbildung ist für mich geradezu der Inbegriff einer Ökosystemdienstleistung und zudem eine, die von Biodiversität abhängt. Boden ist schließlich nicht nur ein Gemenge von abgestorbenem organischem Material und kleinsten Gesteinspartikeln, Boden ist voller Lebewesen. Vielleicht würde sich so manche Gärtnerhand erschreckt zurückziehen, wenn sie wüsste, was alles in dem braunen Substrat kreucht und fleucht!

Dazu ein paar Schätzungen: Der Boden eines mitteleuropäischen Waldes enthält in jedem Quadratmeter neben unzähligen Bakterien, Pilzen und Algen bis zu 400.000 Milben, ebenso viele Springschwänze, eine Gruppe urtümlicher Insekten, ferner zwischen 100 und 500 Regenwürmern, zwischen 50 und 1000 Schnecken und noch viele weitere Organismen wie Insektenlarven, Fadenwürmer,

Pilze und Einzeller. All diese Bodenorganismen sind nicht nur in unvorstellbar hoher Individuenzahl vorhanden, auch ihre Artenzahlen beeindrucken. So leben in Deutschland rund 2000 verschiedene Arten von Fadenwürmern und über 500 Arten von Springschwänzen. Auch die Regenwürmer warten mit 46 verschiedenen Arten auf.

Der Prozess der Bodenbildung ist so komplex, dass noch viele offene Fragen bestehen. Forscher sind sich aber einig, dass es ein Zusammenspiel von sehr vielen verschiedenen Arten geben muss, um aus abgestorbenen Pflanzen und Tieren durch Abbau und Mineralisation fruchtbaren Boden entstehen zu lassen. Dazu sind sowohl Pflanzen notwendig, die kraft der Fotosynthese aus Kohlendioxid und Wasser organische Substanz aufbauen, als auch Zersetzer, die dafür sorgen, dass tote Organismen, Laub und Fallholz wieder zu Boden werden. Benötigt werden Bakterien und Pilze, deren Stoffwechsel wasserlösliche Nährstoffe erzeugt, ohne die Pflanzen nicht wachsen können.

Ist Boden ersetzbar? Auf den Feldern niemals. In Gewächshäusern kommt mitunter ein künstlicher Bodenersatz zum Zuge, wenn etwa Tomaten auf Steinwolle wachsen. Ein Weizenfeld kann aber unmöglich auf Hydrokultur gesetzt werden. Welch immense Bedeutung die Humusbildung hat, zeigt sich an Stellen, an denen er uns wörtlich unter den Füßen weggezogen wird: Durch Bodenerosion verlorener Humus kann nicht ersetzt werden.

Die Feldfrüchte und viele weitere Nutzpflanzen beanspruchen indes einen weiteren Service der Natur, ohne den sie für uns nutzlos wären.

Bestäuberservice

Wenn in den Frühjahrs- und Sommermonaten ein emsiges Brummen über den Rapsfeldern oder in den Obstbäumen herrscht, wird eine weitere Dienstleistung der Natur an uns Menschen geleistet, die Bestäubung. Apfelbäume, Raps und Kartoffeln werden von Insekten bestäubt. Die Übertragung von Blütenstaub von einer Blüte auf die andere ist unabdingbar, andernfalls tragen die Pflanzen keine Früchte. Schließlich ist die Bestäubung ein wichtiger Schritt der geschlechtlichen Vermehrung im Leben einer Pflanze. Erst wenn die Pollenkörner die Samenanlagen befruchtet haben, reifen all die Obst- und Gemüsesorten heran, die wir auf den Regalen eines Supermarktes finden. Von den Nutzpflanzen werden weitaus mehr Arten von Insekten bestäubt, als man vermuten würde (Abb. 14.1). Nur unsere Getreidesorten werden vom Wind bestäubt und benötigen keine tierischen Postboten.

Nun könnte man meinen, dass es einerlei ist, wer den Raps oder die Kartoffeln bestäubt. Wenn Honigbienen den Vorgang tätigen, ist ja alles in Ordnung. Hier heißt es einmal zu schauen, welche Insekten Nutzpflanzen bestäuben. Das Spektrum ist erstaunlich groß, wie Tab. 14.1 zeigt. Die Honigbiene spielt dabei nur eine untergeordnete Rolle!

Das fleißige Volk der Blütenbesucher umfasst also bei weitem nicht nur die Honigbiene. Wildbienen und eine ganze Reihe anderer Insektengruppen tragen ebenfalls maßgeblich zur Bestäubung der Kulturpflanzen bei. Alle diese Bestäuber verrichten den Dienst an unseren Kulturpflanzen nebenbei; damit sie existieren können, benötigen



Abb. 14.1 Blütenbesuchende und bestäubende Insekten spielen eine immens wichtige Rolle für die Landwirtschaft. (© Silvia Hahnefeld/stock.adobe.com)

sie aber viele weitere Wildpflanzen. Die Bestäubung zeigt wie kein anderes Beispiel, warum eine Ökosystemdienstleistung eine gesunde und artenreiche Natur erfordert, denn die Artenvielfalt an Bestäubern wird nur durch eine entsprechende Artenvielfalt an Pflanzen gewährleistet.

Eine Gruppe amerikanischer Wissenschaftler hatte den Zusammenhang zwischen erfolgreicher Bestäubung und Biodiversität am Kaffeestrauch zeigen können. Sie untersuchte den Fruchtansatz in Kaffepflanzungen auf einer Farm in Costa Rica und nutzte den Umstand, dass einige der Pflanzungen sich ganz in der Nähe von Tropenwald befanden, andere hingegen inmitten von Weiden und Zuckerrohrfeldern. Die Biologen fanden heraus, dass

Tab. 14.1 Weltweite Übersicht zu Bestäuberklassen von 960 Nutzpflanzen (Nahrungspflanzen und Medizinalpflanzen). Die Prozente addieren sich zu mehr als hundert, weil verschiedene Pflanzenarten von mehreren Bestäuberklassen besucht werden. (Nach Daily 1997)

Bestäuberklasse	Anzahl Pflanzenarten	Prozent der Pflanzenarten
Wind	47	4,9
Vögel	52	5,4
Fledermäuse	103	10,7
Schmetterlinge	35	3,7
Fliegen	179	18,7
Käfer	48	5,0
Honigbiene	122	12,7
Wildbienen	796	82,9
Wespen	46	4,8
Weitere Insekten	78	8,2

Kaffeeplanzen in der Nähe des Waldes – Heimat zahlreicher Bestäuber – etwa 20 Prozent mehr Ertrag lieferten als diejenigen im offenen Grünland. Das entspräche einem jährlichen Gewinn von etwa 60.000 US-Dollar für nur diese eine Farm, so die Autoren der Studie.

Könnten wir die Bestäuber ersetzen? Wohl kaum. In einem Rapsfeld müssten Hunderte menschliche Bestäuber mit Pinselchen in der Hand den Pollen von Hand übertragen. Ein aussichtsloses Unterfangen, dennoch spielt der Mensch in Ausnahmesituationen Biene. In China werden auf manchen Apfelplantagen die Bäume von Hand bestäubt, weil keine Bienen vorhanden sind, entweder weil sie durch Pestizide verschwunden sind oder

im betreffenden Gebiet nicht vorkommen. Also sammeln Männer und Frauen den Blütenstaub ein und übertragen ihn auf die Blüten anderer Bäume. Eine mühsame und zeitraubende Arbeit, für 100 Bäume benötigt man 25 menschliche Bestäuber.

Weitere Dienstleistungen

Zu den übrigen Ökosystemdienstleistungen gehört etwa die natürliche Kontrolle von Schädlingen. Vögel wirken regulierend auf die Populationen von Schadinsekten, fehlen sie, kommt es zu unangenehmen Verschiebungen zugunsten des Schädlings. Raubtiere kontrollieren die Bestände von lästigen Nagetieren wie Ratten und Mäuse. Mit anderen Worten, wenn die vier Berufsgattungen aus Kap. 8 in ausgewogenem Verhältnis zueinander vorhanden sind, ziehen wir großen Nutzen daraus.

Andere Dienstleistungen versorgen uns mit sauberem Wasser und sauberer Luft. Hier sind es vor allem die Wälder, die uns unschätzbare Dienste erweisen. Auenwälder entlang von Flüssen dämpfen die Auswirkungen von Hochwasser, indem sie als natürliche Zwischenspeicher die Wassermassen auffangen. Aber auch der sonstige Waldboden speichert bis zu 200 Liter pro Quadratmeter und verhindert einen starken Oberflächenabfluss. Das langsam versickernde Wasser wird vom Boden gefiltert und füllt unsere Grundwasserreserven. Wir genießen die frische und gute Waldluft, weil das Laub der Bäume Staub- und Rußpartikel aus der Luft filtert. Ein Hektar Fichtenwald filtert jedes Jahr 420 Kilogramm Schmutzpartikel aus, die mit

dem Regen in den Boden gewaschen und dort dem Stoffkreislauf zugeführt werden.

Ganz andere Wälder schützen die Küsten vor Fluten und Erosion. Mangrovenwälder, halb im Wasser stehend und halb an der Luft, dienen zudem vielen kommerziell genutzten Meerestieren als Laichgründe. Die Jungfische finden hier ausreichend Nahrung und können sich vor Feinden verstecken. Das gilt auch für Korallenriffe und Seegraswiesen, zwei stark bedrohte Lebensräume der Meere. Deren Verschwinden hätte unabsehbare Konsequenzen für uns.

Was sind die Dienstleistungen wert?

Eine Fahrkarte Berlin – Stuttgart kostet einen bestimmten Betrag, die Dienstleistung „Personentransport“ hat einen bestimmten Wert. Haben die verschiedenen Ökosystemdienstleistungen auch einen Wert? Um solche Einschätzungen bemühen sich Wissenschaftler, um den Leistungen der Natur einen monetären Betrag zuzuordnen. Keine leichte Aufgabe, für manche Dienstleistung der Ökosysteme ist dies schlicht unmöglich, für andere wenigstens ansatzweise möglich. So hat es nicht den geringsten Sinn, den Wert unserer Atmosphäre zu schätzen, weil sie unersetzbar ist und damit auch von unermesslichem Wert. Man könnte jedoch die Bereitstellung sauberer Luft durch die Filterleistung eines Hektars Wald in Geld ausdrücken, indem man die Kosten für eine technische Ersatzlösung berechnet. Oder man könnte den Ertragsausfall auf den

Kaffeeplantagen in Costa Rica durch das Fehlen einer Ökosystemdienstleistung als Geldsumme auszudrücken. Wenn die Kosten durch Leistungsverluste erfasst werden können, erlaubt dies eine Schätzung des Wertes.

Ein internationales Team von Biologen hat versucht, aufgrund vieler Einzeluntersuchungen den Wert verschiedener Ökosystemdienstleistungen anzugeben. Sie werteten Hunderte von Studien aus und kamen zum Schluss, dass alle Dienstleistungen der gesamten Biosphäre zusammen einem jährlichen Gewinn zwischen 16 und 54 Bio. US-Dollar entsprechen. Eine Billion ist eine Eins mit zwölf Nullen. Eine unvorstellbare Zahl! Anschaulicher sind die Werte für einzelne Ökosysteme. Korallenriffe etwa bewerten die Autoren der Studie mit etwa 6000 US-Dollar jährlich für jeden Hektar dieses Ökosystems. Das sind theoretische Überlegungen, die schwer nachzuvollziehen sind. Sie zeigen aber den unschätzbaren Wert gut funktionierender Dienstleistungen der Natur.

Wie viele Arten muss es geben?

Ein pragmatisch denkender Mensch könnte die Frage stellen, ob es denn die Pappelblattlaus, ein etwa 2 Millimeter großes Insekt, oder die Tafelente geben muss, um all die Ökosystemdienstleistungen zu bewerkstelligen. Für die Bestäubung unserer Kulturpflanzen benötigt man schließlich keine Blattläuse, und Enten tragen nicht zum Hochwasserschutz bei. Und wenn ein Wald als Lawenschutz wirkt oder die Luft filtert, genügt da nicht eine einzige Baumart? Bei den meisten der erwähnten

Ökosystemdienstleistungen steht tatsächlich das Vorhandensein eines bestimmten Ökosystems wie Wald im Vordergrund, unabhängig von der darin enthaltenen Artenvielfalt. Macht es einen Unterschied, ob eine, ein paar wenige oder viele Arten vorhanden sind?

Auch die berühmtesten Biodiversitätsforscher hätten Schwierigkeiten, auf solche Fragen eine schlüssige Antwort zu geben. Aber genau diese Fragen stehen im Fokus der Forschung. Wie viele Arten sind entbehrlich, ohne dass das Ökosystem umkippt und nicht mehr funktioniert?

Zunächst einmal müssen wir uns darüber klar werden, was Umkippen und Nichtfunktionieren bedeuten. All die Ökosystemdienstleistungen beruhen auf Stabilität. Nur Ökosysteme, die über lange Zeit stabil bleiben und nicht etwa durch massive Störungen zugrunde gehen, können auf die Dauer die Dienstleistungen aufrechterhalten. Wenn die Wälder des Yellowstone-Nationalparks nicht eine innere Stabilität hätten, wären sie durch die verheerenden Waldbrände für immer zerstört worden. Auch der Bestäubungsdienst hängt von dauerhaften Zuständen ab. Wenn die Populationen an Bestäubern von Jahr zu Jahr große Schwankungen aufweisen würden, dann wäre diese Dienstleistung eine instabile und nicht vorhersehbare. Stabile Bestäuberpopulationen existieren dank eines reichhaltigen Blütenangebotes, womit wir wieder bei der Biodiversität sind. Somit ergibt sich die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Biodiversität und Stabilität. Das ist Thema des nächsten Kapitels.

Literatur

1. Duden Band 10 (2002) Das Bedeutungswörterbuch. Dudenverlag, Mannheim
2. Marsh GP (1864) Man and nature or: physical geography as modified by human action. Faksimile der 1. Aufl., hg. von David Lowenthal. University of Washington Press, Seattle and London, 2003
3. Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and Human Well-being: synthesis. Island Press, Washington, DC

Weiterführende Literatur

4. Cardinale BJ, Duffy E, Gonzalez A, Hooper DU, Perrings C, Venail P, Narwani A, Mace GM, Tilman D, Wardle DA, Kinzig AP, Daily GC, Loreau M, Grace JB, Larigauderie A, Srivastava DS, Naeem S (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486:59–68
5. Costanza R, d'Arge R, de Groot R, Farber S, Grasso M, Hannon B, Limburg K, Naeem S, O'Neill RV, Paruelo J, Raskin RG, Sutton P, van den Belt M (1997) The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387:253–260
6. Chivian E, Bernstein A (2010) How our health depends on biodiversity. Center for health and the global environment. <http://www.chgeharvard.org/resource/how-our-health-depends-biodiversity>
7. Daily GC (Hrsg) (1997) Nature's services. Societal dependence on natural ecosystems. Island Press, Washington

8. Ricketts TH, Daily GC, Ehrlich PR, Michener CD (2004) Economic value of tropical forest to coffee production. *Proc Natl Acad Sci* 101:12579–12582
9. Stiftung Unternehmen Wald (2017) <https://www.wald.de/der-wald/>
10. Xylander WER, Lehmitz R, Hohberg K, Lang B, Russell DJ (2015) Boden – ein unterschätzter Lebensraum. *Biologie in unserer Zeit* 6:388–395

15

Biodiversität gibt Sicherheit und Stabilität

Unweit der Metropole Minneapolis im US-Bundesstaat Minnesota liegt in mitten einer lieblichen Landschaft eine biologische Feldstation der University of Minnesota. Verschiedene Lebensräume treffen hier aufeinander und ergeben ein buntes Mosaik: Laubmischwälder, Nadelwälder, Wiesen, zudem ein paar Moore. Alles in allem eine artenreiche Gegend. Das Cedar Creek Ecosystem Science Reserve wurde bereits 1940 für Forschungszwecke ausgewiesen. Hier können Ökologen ungestört Langzeituntersuchungen durchführen. So wie David Tilman, der hier schon früh mit Studien zur Rolle von Artenreichtum auf die Entwicklung von Vegetation begann. Er und seine Mitarbeiter steckten in den Wiesen Hunderte von Probequadraten ab und kennzeichneten sie als Dauerbeobachtungsflächen. Jedes Jahr zählten die Forscher in jeder Probefläche die Anzahl von Pflanzenarten sowie ihre Häufigkeiten aus und bestimmten

die Biomasse. Das sind wichtige Kenngrößen zur langfristigen Entwicklung der Biodiversität.

Nun trat im Jahr 1988 in den USA eine extreme Dürre auf. Sie führte zu verheerenden Bränden, nicht nur im Yellowstone-Nationalpark, sondern an vielen anderen Stellen im Westen; in Minnesota und in anderen Staaten des Mittleren Westens erlitten Bauern enorme Ertragseinbußen.

Ich glaube nicht, dass Tilman und die anderen Wissenschaftler sich über die extreme Trockenheit gefreut haben, aber sie bot eine einmalige Gelegenheit. Die Forscher bekamen ein natürliches Experiment geschenkt.

Viele Arten verkraften mehr

Weil die Forscher schon seit Jahren Daten erfasst hatten und die Datenerhebung während der Dürreperiode und danach weiterging, konnten sie die Reaktion der Prärie auf außergewöhnliche Trockenheit direkt erfassen. Eine Frage stand im Mittelpunkt: Sind artenreiche Wiesenflecken gegenüber Dürre weniger empfindlich als artenarme? Erholen sich diese rascher? In einer Wiese ist die Artenzahl nicht in jedem Quadratmeter genau gleich hoch. Es gibt Flecken, wo ein paar wenige Grasarten vorherrschen, und solche, wo viele Gräser und Präriepflanzen zusammen vorkommen.

Für jedes der 207 Probequadrate hatten Tilman und sein Kollege John Downing seit 1982 die jährliche Menge an Biomasse und die genaue Artenzahl erfasst. Sie stellten nun eine einfache Rechnung auf: Für jedes Quadrat berechneten sie das Verhältnis der Biomasse des Jahres 1988 zur Biomasse des Jahres 1986. Mit anderen Worten, sie verglichen die Produktivität während der Dürre mit der

Produktivität davor. Diese Zahl setzten sie in Beziehung zur Anzahl von Pflanzenarten der Probequadrate, bezogen auf das Jahr 1986.

Und siehe da, welch deutlicher Trend sich abzeichnete! Artenreiche Quadrate erlitten eine viel geringere Einbuße an Biomasse als artenarme Quadrate. Eine klare Beziehung offenbarte sich: Mit zunehmender Artenzahl erträgt die Prärie Trockenheit besser. Die Trockenheit verminderte die Produktivität in artenreichen Quadraten etwa um die Hälfte, in artenarmen Quadraten hingegen um nahezu 90 Prozent.

Kein Wunder, dass die Studie in der renommierten Fachzeitschrift *Nature* veröffentlicht wurde. Wie aber erklären sich die Forscher die Befunde? Tilman und Downing schreiben [1, S. 364, Übersetzung des Autors]:

Artenreichtum führte zu einer höheren Resistenz gegenüber Trockenheit, weil artenreiche Probequadrate eher einige trockenresistente Pflanzenarten enthalten als artenarme. Das Wachstum dieser Arten kompensierte teilweise den Wachstumsverlust anderer Arten.

Mit anderen Worten, eine artenreiche Lebensgemeinschaft vermag eher unvorhergesehene Wetterkapriolen zu verkraften als eine artenarme. Biodiversität wirkt puffernd und mildernd.

Mit Biodiversität experimentieren

Mit Tilmans Untersuchungen sind wir bei einem der wichtigsten Forschungsthemen der modernen Biodiversitätsforschung angelangt. Die Frage, ob artenreiche Lebensgemeinschaften besser gegenüber äußerlichen Veränderungen

gewappnet sind als artenarme, ist aktueller denn je. Zum einen wegen des Klimawandels, der zu häufigeren Extremwetterereignissen wie Starkregen und Dürre führt. Zum andern wegen des anhaltenden Artenschwundes durch Umweltverschmutzung und Degradierung von Lebensräumen. Wie reagieren die Artengemeinschaften darauf? Wie viele Arten eines tropischen Regenwaldes oder einer Wiese sind entbehrlich, ohne den Ökosystemdienstleistungen zu schaden? Oder anders gefragt, wie viele Arten sind unabdingbar notwendig, und welche? Bei einem Auto würde das bedeuten: Wie viele Teile kann ich entfernen, ohne die Fahrtüchtigkeit des Fahrzeuges zu beeinträchtigen? Es gilt zu überprüfen, ob artenreiche Lebensgemeinschaften langfristig gesehen stabiler sind als artenarme.

Um Antworten auf diese Fragen zu bekommen und um zu sehen, ob sich Tilmans Ergebnisse verallgemeinern lassen, sind seither Hunderte von Freilandstudien und Experimenten durchgeführt worden, die zu Hunderten von Fachartikel führten und ebenso vielen jungen Menschen zum Dokortitel verhalfen. Vor allem die Biodiversitätsexperimente seit Mitte der 1990er-Jahre machten unter Fachkollegen viel von sich reden und beflügeln seither die Diskussion um die Frage nach dem Zusammenhang zwischen Biodiversität und Stabilität.

Eines dieser Biodiversitätsexperimente ist das „Jena-Experiment“ der Friedrich-Schiller-Universität in Jena (Abb. 15.1). Das Gelände gleicht einer landwirtschaftlichen Versuchsanstalt. In quadratischen Beeten wachsen verschiedenste Pflanzen, in Monokultur oder in Mischkultur. Seit 2002 forschen hier Biologen über den Zusammenhang zwischen Biodiversität und den Vorgängen im



Abb. 15.1 Ein Ort der Biodiversitätsforschung: das Jena-Experiment. Seit 2002 untersuchen hier Wissenschaftler den Einfluss von Artenvielfalt auf die Lebensvorgänge in Graslandökosystemen. (Foto: Christoph Scherber)

Lebensraum „Wiese“ – Stoffkreisläufe, Bestäubervielfalt, Auftreten von Schädlingen und Stabilität. Dazu hatten sie auf Probeflächen kleine künstliche Wiesen angelegt, mit einer unterschiedlichen Anzahl Pflanzenarten. Auf manchen Quadraten wächst nur eine einzelne Art, auf anderen sechzig Arten oder eine Auswahl aus diesen sechzig. Mit den künstlichen Wiesenstücken wollen die Forscher natürliches Grasland simulieren, das sich in der Artenvielfalt unterscheidet. Der große Vorteil gegenüber Freilandstudien ist, dass in einem Experiment klare Verhältnisse herrschen. Wissenschaftler können die Biodiversität manipulieren, indem sie nur eine, wenige oder viele

Pflanzenarten ansäen. Die Umweltbedingungen können genau erfasst werden und sind für alle Versuchseinheiten gleich; sie können aber auch verändert werden. Das erlaubt einen Zusammenhang zwischen lokaler Artenvielfalt und dem „Funktionieren“ der künstlichen Lebensräume aufzudecken. Doch wie soll das Funktionieren gemessen werden?

Wenn ein Arzt den Gesundheitszustand seines Patienten überprüft, misst er Fieber, Blutdruck, Gewicht, vielleicht auch den Blutzuckergehalt oder den Eisengehalt des Blutes. Möglicherweise schaut er aber auch, ob der Patient Parasiten mit sich herumträgt oder Alkohol im Blut hat. Er erfasst messbare Kenngrößen des Stoffwechsels und des Allgemeinzustandes. Der Stoffwechsel eines Ökosystems zeichnet sich ebenfalls durch bestimmte Kenngrößen aus. Die einfachste ist die sogenannte Produktivität, die Menge an Biomasse. Sie kann leicht bestimmt werden, weshalb Forscher in ökologischen Untersuchungen oft darauf zurückgreifen. Eine hohe Produktivität steht für einen gesunden Zustand des Ökosystems – immer im Vergleich zu einem schlechteren Zustand. Andere messbare Kenngrößen sind der Stickstoffgehalt des Bodens, die Bodenfeuchtigkeit, die Zersetzungsrates abgestorbener Pflanzenteile im Boden. Zu einem Zustandsbericht würden etwa der Befall von Pflanzen durch Schädlinge gehören oder der Fruchtansatz – kurz und gut, alle biologischen und nicht biologischen Vorgänge, die in einem Lebensraum ablaufen. Ich nenne sie der Einfachheit halber Lebensvorgänge, die Fachwelt spricht von Ökosystemfunktionen.

Lassen sich die Ergebnisse verallgemeinern?

Das Jena-Experiment ist in der Biodiversitätsforschung eines der am längsten andauernden Experimente Europas. Ähnliche Ansätze gab es schon früher; ein internationales Forscherteam hatte zwischen 1996 und 1999 in sieben europäischen Ländern Versuchsflächen eingerichtet. Auch hier säten die Wissenschaftler Pflanzen in unterschiedlichen Kombinationen aus. 2006 entstanden durch Förderung der Deutschen Forschungsgemeinschaft die „Biodiversitäts-Exploratorien“, ein System von drei für ökologische Langzeituntersuchungen ausgewiesenen Gebieten in Deutschland. Ein ganzes Team steckt dahinter und stellt die notwendige Infrastruktur bereit. Auch im amerikanischen Cedar Creek Ecosystem Science Reserve wird weiterhin geforscht.

Die vielen Studien aus den Experimenten lieferten nicht immer konsistente Ergebnisse und wurden teils heftig kritisiert. „Solche Experimente ahmen nicht nach, was in natürlichen Ökosystemen geschieht“, schreibt David Wardle, Professor an der Schwedischen Universität für Landwirtschaft [2, S. 646, Übersetzung des Autors]. Man könne die Ergebnisse nicht verallgemeinern und auf natürliche Lebensgemeinschaften übertragen. Die Resultate aus solchen Versuchen hätten nur beschränkte Gültigkeit. Der britische Ökologe Ken Thompson von der Universität Sheffield weist darauf hin, dass die Arten in natürlichen Lebensgemeinschaften eine charakteristische Verteilung der Häufigkeit hätten: Einige wenige Arten

mit einer hohen Anzahl Individuen und etliche seltenere Arten, von denen nur wenige Individuen vorhanden sind. In den Experimenten wären aber alle Arten mit derselben Häufigkeit vertreten; das sei keine natürliche Ausgangssituation. In natürlichen Lebensräumen und Ökosystemen sei diese ungleiche Verteilung bezeichnend, weil oft ein paar wenige, vorherrschende Arten einen starken Einfluss auf die Lebensvorgänge hätten.

Nico Eisenhauer, Professor an der Universität Leipzig, streitet die Kritik nicht ganz ab, entgegnet aber [3]: „Biodiversitätsexperimente zeigen uns die Mechanismen auf, die der Reaktion von Ökosystemen auf Änderungen der Artenvielfalt zu Grunde liegen.“ Das sei der Wert eines experimentellen Ansatzes, und Felduntersuchungen in natürlichen Lebensräumen könnten dies nicht bewerkstelligen.

Ich überlasse die Diskussion den Fachleuten. Man braucht beides – Experimente und Feldstudien –, um zu verstehen, wie Biodiversität und all die Vorgänge in einem Ökosystem zusammenhängen. Die Versuchsflächen eines Jena-Experimentes sind ein vereinfachtes Modell, so wie auch Genetiker und Molekularbiologen gerne mit einfachen Modellorganismen arbeiten, etwa der Essigfliege namens *Drosophila melanogaster* oder der Ackerschmalwand, dem Laborpflänzchen der Pflanzengenetiker. Viele der Erkenntnisse aus den Laboren der Forscher sind auch für die medizinische Forschung und Nutzpflanzenentwicklung wichtig geworden. Die Ergebnisse der Biodiversitätsexperimente fördern nicht nur das Verständnis von ökologischen Zusammenhängen, sondern münden auch in Empfehlungen für den Naturschutz. Was aber kam bei den vielen Biodiversitätsprojekten heraus?

Stabilität dank Vielfalt

Auf einen einfachen Nenner gebracht, zeigen die Ergebnisse der zahlreichen Felduntersuchungen und Gartensexperimente, dass viele Arten besser sind als wenige. Ausnahmen gibt es viele, doch wie heißt es? Ausnahmen bestätigen die Regel.

Exkurs: Vielfalt ist besser als Einfach

Die vielen Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen Artenvielfalt und Funktionieren der Lebensvorgänge eines Ökosystems zeigen ein paar deutliche Trends:

- Artenreiches Grasland produziert pro Flächeneinheit mehr Biomasse als artenarmes Grasland. Diese Produktivität bleibt über die Jahre gesehen stabiler, wenn viele Arten vorhanden sind.
- Viele Arten sorgen dafür, dass mehr Kohlenstoff im Boden gebunden wird. Eine artenreiche Wiese nimmt mehr Kohlendioxid auf und speichert es in Form von organischer Substanz als eine artenarme Wiese.
- In artenreichem Grasland leben viel mehr Bodenorganismen und pflanzenfressende Insekten als in artenarmem Grasland. Eine hohe Artenvielfalt führt zu einer hohen Vielfalt an Bodenorganismen.
- Artenreiches Grasland speichert mehr Stickstoff im Boden und weist eine höhere mikrobiologische Aktivität auf im Vergleich zu artenarmen Wiesen.
- Sind viele Arten vorhanden, haben es Pilze wie Mehltau und Rostpilze schwerer, sich im Pflanzenbestand auszubreiten. Die Befallsrate der Pflanzen ist bei hoher Artenvielfalt geringer als wenn nur wenige Pflanzenarten vorhanden sind.

Biodiversitätsforscher sind sich einig, dass viele Arten auf jeden Fall besser sind als wenige Arten. Sie glauben auch, dass in vielen Ökosystemen redundante, also entbehrliche Arten vorhanden sind. Deren Wegfall hätte keinen unmittelbaren und kurzfristigen Einfluss auf die Funktionsweise des Ökosystems. Langfristig betrachtet wirken die „unnötigen Arten“ aber als Sicherheitsreserve. Sollten aufgrund einer Verschlechterung der Lebensbedingungen durch das Klima oder sonstige Einflüsse die eine oder andere Art lokal verschwinden, können andere Arten einspringen und die Lücke wieder füllen. Daher erholten sich artenreiche Wiesenbestände in Tilmans Untersuchung nach der Dürre besser als artenarme. Redundante Arten gibt es sicher auch bei den blütenbestäubenden Insekten, bei Zersettern, bei kleinen Pflanzenfressern – also bei allen vier Berufsgattungen, die wir in Kap. 8 kennengelernt haben. Sie alle sind aber notwendig, um das System langfristig am Leben zu erhalten. Sie alle tragen dazu bei, dass dank der vielfältigen ökologischen Beziehungen die Arten fest miteinander verbunden sind und eine stabile Einheit bilden.

Das Jena-Experiment wäre beinahe fortgeschwemmt worden. Das Hochwasser vom Juni 2013 überflutete auch die Versuchsanlage und etliche Probequadrante erlitten Schäden. Doch zeigte sich danach etwas Erstaunliches. Nico Eisenhauer erklärt (Eisenhauer 2016, mündliche Kommunikation):

Artenreiche Gemeinschaften konnten besser wachsen mit dem zusätzlichen Wasser während der Flut (zumindest bei geringer Flutintensität) und scheinen Pflanzen gegen die negativen Folgen der Flut zu schützen.

Wenn die Dürre in Minnesota und das Hochwasser in Jena eine positive Wirkung von Artenvielfalt zeigen, will das etwas heißen!

Was bedeutet das für den Naturschutz? Angesichts des heutigen Artenschwundes ist es sinnvoll, alle Arten eines Lebensraumes zu erhalten, oder wenigstens möglichst viele; auch, um die Ökosystemdienstleistungen langfristig zu sichern. Andy Hector, Professor an der Universität Zürich, und weitere Wissenschaftler schreiben [3, S. 624, Übersetzung des Autors]:

Auch wenn sich verschiedene Arten in ihrer Bedeutung für die Lebensvorgänge unterscheiden, rechtfertigt dies nicht, nur ein paar wenige Arten zu schützen und zu erhalten. Zum einen ist es unmöglich, alle Arten zu erkennen, die zu den Lebensvorgängen beitragen, die für den Mensch wichtig sind. Zum andern könnten die wichtigen Arten von einer unbekannten Anzahl weiterer Arten abhängen.

Literatur

1. Tilman D, Downing JA (1994) Biodiversity and stability in grasslands. *Nature* 367:363–365
2. Wardle DA (2016) Do experiments exploring plant diversity–ecosystem functioning relationships inform how biodiversity loss impacts natural ecosystems? *J Veg Sci* 27:646–653
3. Hector A, Joshi J, Lawler SP, Spehn EM, Wilby A (2001) Conservation implications of the link between biodiversity and ecosystem functioning. *Oecologia* 129:624–628

Weiterführende Literatur

4. Biodiversity Exploratories (2017) Exploratorien zur funktionellen Biodiversitätsforschung. <http://www.biodiversity-exploratories.de>
5. Eisenhauer N, Barnes AD, Cesarz S, Craven D, Ferlian O, Gottschall F, Hines J, Sendek A, Siebert J, Thakur MP, Türke M (2016) Biodiversity–ecosystem function experiments reveal the mechanisms underlying the consequences of biodiversity change in real world ecosystems. *J Veg Sci* 27:1061–1070
6. Jena Experiment (2017) The jena experiment. <http://www.the-jena-experiment.de>
7. Soliveres S, und 57 weitere Koautoren (2016) Biodiversity at multiple trophic levels is needed for ecosystem multifunctionality. *Nature* 536:456–461
8. Thompson K (2010) Do we need pandas? The uncomfortable truth about biodiversity. Green Books, Cambridge

Teil V

Der Verlust an Biodiversität

16

Willkommen im Anthropozän

Die erste Dampfeisenbahn nahm im Jahr 1825 in England ihren Betrieb auf. Die Strecke von 40 Kilometern verband wichtige Kohlegruben und diente in erster Linie dem Kohletransport. Bald folgten weitere Strecken, ein riesiger Fortschritt für die Industrialisierung, der zu wirtschaftlichem Aufschwung führte. 1835 brannte die erste Glühlampe, 1876 ging das erste Telefon ans Netz, zehn Jahre später fuhr das erste Automobil, und 1894 lief das erste Turbinenschiff vom Stapel. Erdöl wurde 1859 im US-Bundesstaat Pennsylvania zum ersten Mal wirtschaftlich genutzt. In Saudi-Arabien begann die Erdölförderung hingegen erst 1938! Kein Zweifel, im 19. und 20. Jahrhundert veränderte sich unsere Welt drastisch. Kohle und Erdöl gewannen stark an Bedeutung. Technische Erfindungen veränderten unsere Wirtschaft und Gesellschaft von Grund auf.

Ein weiterer Meilenstein des Fortschritts setzte mit der Petrochemie ein, der Herstellung von chemischen Produkten aus Erdgas und Erdöl. Die Branche erlebte in der Nachkriegszeit einen immensen Aufschwung. Kunstfarben, Kunststoffe, synthetische Arzneimittel, Kosmetika und Pestizide zogen in den Alltag und in die Landwirtschaft ein. Die gesamte chemische Industrie beruht auf Erdgas- und Erdölprodukte als Ausgangsmaterial.

Schon während der Industrialisierung und vor allem danach wuchs die Weltbevölkerung rasant und damit auch der Verbrauch natürlicher Ressourcen wie Holz, Wasser, Gesteine, von den fossilen Energieträgern ganz abgesehen. Die Menschen mussten ernährt werden, was Waldrodungen, Entwässerung und Urbarmachung von Land für Felder und Weiden zur Folge hatte. Kunstdünger und Pestizide steigerten den Ertrag, was die Bevölkerung weiter wachsen ließ. Sie brauchte Wohnraum, es entstanden Städte und Großstädte.

Wendepunkt

Kein Zweifel, die Geschichte der letzten zweihundert Jahre ist von dramatischen Zunahmen gekennzeichnet. Aber begonnen hat diese Entwicklung schon früher, spätestens mit der Entdeckung der Neuen Welt durch die Europäer. Das Jahr 1492, als der italienische Seefahrer Christoph Kolumbus den Boden einer der Bahama-Inseln betrat, markiert einen Wendepunkt in der Menschheitsgeschichte. Die Entdeckung Amerikas durch die Europäer leitete die Globalisierung ein, mit den europäischen Kolonien in

Übersee wurde der Handel mit all seinen positiven und negativen Nebenwirkungen weltumspannend. Und in den Kolonien begannen die Siedler mit der Zerstörung der Umwelt, kaum dass sie angekommen waren. Alexander von Humboldt fielen auf seiner Reise durch Südamerika von 1799 bis 1804 die großflächigen Rodungen in den spanischen Kolonien auf und er erkannte als Erster die Gefahr. „Die ersten Ansiedler haben unvorsichtigerweise die Wälder niedergeschlagen“, notierte er [1, S. 84]. Er sah die Folgen der Abholzung: ausgetrocknete Böden während der Trockenzeit, Wegschwemmen des Bodens während der Regenzeit mit ihren tropischen Regengüssen, Überschwemmungen, weil das Wasser vom Wald nicht mehr zurückgehalten werden konnte. Aber auch in Europa selbst wurde großflächig gerodet, denn der Bedarf an Holz – dem Erdöl des 17. und 18. Jahrhunderts – war enorm.

Dennoch waren all diese Einflüsse auf die Umwelt immer noch lokal begrenzt im Vergleich zu dem, was in den letzten zweihundert Jahren geschah. Unser Einwirken auf die Biosphäre ist global geworden, beinahe sämtliche Landstriche wurden in der einen oder anderen Form verändert. Experten sprechen daher auch von globalen Umweltveränderungen. Diese sind die ökologischen Nebenwirkungen des technischen Fortschrittes.

Exkurs: Globale Umweltveränderungen

Wir beeinflussen die Biosphäre zum einen durch Verändern natürlicher Prozesse, zum andern durch Hinzufügen vollkommen unnatürlicher Stoffe (nach [5]):

- Bodenerosion und Desertifikation: Ödland und Wüstengebiete dehnen sich aus, eine Folge von Überweidung, Waldrodungen und Sammeln von Feuerholz.
- Veränderungen natürlicher Störungen wie Feuer und Hochwasser: Feuerunterdrückung einerseits, das Pflanzen exotischer Bäume wie Eukalyptus andererseits und absichtliches Feuerlegen verändern in vielen trockenen Regionen die natürlichen Feuerhäufigkeiten. Eukalyptusbäume brennen wegen ihrer ätherischen Öle leicht.
- Eintrag unnatürlicher chemischer Stoffe in die Umwelt: Dazu gehören Pestizide, Abfallprodukte der chemischen Industrie, aber auch Gase wie Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) und Plastik.
- Emission von Treibhausgasen wie Kohlendioxid, Stickoxide und Methan.
- Anreicherung von Schwermetallen in der Umwelt durch Erzabbau.
- Eintrag von Stickstoff und Phosphor in Gewässer und Böden.
- Veränderungen des Wasserhaushaltes durch den Bau von Staudämmen und die übermäßige Nutzung von Wasser.

Angesichts einer solch massiven Einflussnahme des Menschen auf die Biosphäre ist der Gedanke des niederländischen Chemikers und Atmosphärenforschers Paul Crutzen durchaus verständlich. Er spricht von einem „Anthropozän“ und meint damit den Beginn einer neuen Epoche in der Erdgeschichte, die sich durch dauerhafte Spuren des Menschen auszeichnet. Tatsächlich hat bisher keine andere Spezies das Antlitz der Erde so stark verändert wie *Homo sapiens*. Wir sind der stärkste Ökosystemingenieur! Der Nobelpreisträger Crutzen ist nicht der Erste, der diesen globalen Einfluss erkannt hat. Bereits 1873 schlug der italienische Geowissenschaftler Antonio Stoppani (1824–1891) die Bezeichnung „Anthropozoische Ära“ vor.

Das Anthropozän

Unter Geologen wird diskutiert, wie der Beginn des Anthropozäns zu definieren sei. Jede Epoche der Erdgeschichte sollte sich eindeutig in den Gesteinsschichten erkennen lassen, etwa durch bestimmte Fossilien oder durch markante geologische Vorgänge. Was sind die dauerhaften Spuren, die wir hinterlassen? Statistiken zur Zunahme des Welthandels oder der Anzahl Autos schlagen sich nicht in den Gesteinsschichten nieder, aber Metallstücke, Glas- und Keramikscherben sowie Plastikteile können durchaus Bestandteile künftiger Sedimentschichten werden. Zudem entstehen unter der Hand des Menschen neue Steine wie Ziegel, Backstein und Beton. Solche anthropogenen Gesteine mischen sich heutzutage unter die vielen natürlichen Steine etwa an den Stränden der Ostsee oder im Geschiebe eines Flusses. Aluminium wird in künftigen Sedimenten nachweisbar sein, wegen der Milliarden weggeworfener Geträndek Dosen oder Aluminiumfolie. Plastikmüll wird im Boden und in den Meeren für lange Zeit erhalten bleiben. Wissenschaftler finden heutzutage auf dem Meeresboden fern jeder Küste synthetische Textilfasern in großer Menge. Meerestiere nehmen mit der Nahrung kleinste Plastikpartikel auf und werden sie mit ihren Kadavern in marine Sedimente einlagern.

Die Wissenschaftler sind überzeugt, dass die Hinterlassenschaften des modernen Menschen auch noch nach Hunderttausenden von Jahren nachgewiesen werden könnte, was die Abgrenzung einer eigenen Epoche rechtfertigen würde (Abb. 16.1).



Abb. 16.1 Die Aktivitäten der Menschen hinterlassen dauerhafte Spuren in der Landschaft, wie dieser Steinbruch. (© Kletr/stock.adobe.com)

Jede Epoche der Erdgeschichte braucht einen Anfang. Wann soll das Anthropozän beginnen? Wissenschaftler schlagen das Jahr 1950 vor, und dies weil sich in der Nachkriegszeit nochmals eine klar erkennbare Entwicklung abzeichnet. Es ist die Zeit der großen Beschleunigungen und der Hockeyschlägerkurven.

Der zeitliche Verlauf vieler verschiedener Messgrößen gleicht sich aufs Haar. Werden Weltbevölkerung, Wasserverbrauch, Handelsvolumen, Konzentration von Kohlendioxid oder Methan in der Atmosphäre oder der Energieverbrauch auf einer Zeitachse von etwa 1750 bis heute dargestellt, markiert die Zeit um 1950 einen Wendepunkt. Bis dahin verläuft die Kurve flach oder wenigstens nicht so steil, danach steigt sie stark an. Beim Anblick solcher Verläufe muss jedem klar werden, dass der Trend nicht ewig anhalten kann. In einer begrenzten Welt ist unbegrenztes Wachstum ein Ding der Unmöglichkeit. Es wird auch nicht möglich sein, das erreichte Niveau etwa der Weltbevölkerung zu halten; viel wahrscheinlicher ist ein rückläufiger Trend. Fällt die Kurve eines Tages wieder steil ab, hätten wir einen Kollaps.

Wozu ein Anthropozän?

Weil sich die Epoche namens Anthropozän auf den so breiten ökologischen Fußabdruck der Menschheit stützt, bekommt sie unweigerlich den Beigeschmack einer Ökokatastrophenepoche. Vielleicht ist dies der Grund, dass das Konzept des Anthropozäns auch kritisiert wird, etwa vom Theologen und Philosophen Jürgen Manemann. Statt der Ausrufung einer neuen Epoche sei es gescheiter, einen Kultur- und Gesinnungswandel hervorzurufen. Sein Gegenkonzept zum Anthropozän ist eine neue Humanökologie mit dem Ziel, den Menschen mehr in Einklang mit der Natur zu bringen. Diese Meinung vertrat auch Michael Soulé auf der Biodiversitäts-Konferenz 1986, die ich in

Kap. 1 erwähnt habe. Einen interessanten Hinweis gibt der Kulturwissenschaftler und Philosoph Peter Sloterdijk. Das Wort Anthropozän beinhalte die gesamte Menschheit, in Tat und Wahrheit hätten die Akteure aber europäischen Ursprung. Die Industrialisierung begann in Europa, wurde in die europäischen Kolonien und dann in den Rest der Welt gebracht. „In der Sache wäre eher von einem ‚Eurozän‘ oder einem von Europäern initiierten ‚Technozän‘ zu sprechen“, so Sloterdijk [2, S. 27].

Auf Fakten basierende Naturwissenschaft stößt auf philosophierende Geisteswissenschaft. Wichtig ist die Diskussion, die daraus hervorgeht. Sie trägt dazu bei, sich unseres immensen und nachteiligen Einflusses auf die Biosphäre bewusst zu werden. Ob das Ausrufen einer Epoche namens Anthropozän sinnvoll ist oder nicht, ist hier deshalb gar nicht weiter von Bedeutung. Dass wir Menschen durch unsere Aktivitäten dauerhafte Spuren hinterlassen, steht außer Zweifel, auch dass die biologische Vielfalt in Mitleidenschaft gezogen wird. Die globalen Umweltveränderungen wirken dabei direkt auf Arten ein oder indirekt durch eine Verkettung verschiedener Einflüsse. Oft genug wirken sie in komplexer Weise zusammen.

Biodiversität im Anthropozän

In den folgenden Kapiteln werde ich auf die Gründe des Verlustes an Biodiversität näher eingehen. Diese betreffen alle drei Bestandteile der Biodiversität, also Artenvielfalt, genetische Vielfalt und Lebensraumvielfalt. Die Mechanismen sind jedoch unterschiedlich und nicht immer auf den

ersten Blick erkennbar; das gilt vor allem für den Verlust an genetischer Vielfalt.

Wenn manche Wissenschaftler von einer Biodiversitätskrise sprechen, dann meinen sie ebenfalls die Entwicklung nach 1950, weil Artenschwund und Lebensraumverlust seither besonders stark zugenommen haben. Der Rückgang an biologischer Vielfalt ist eine Begleiterscheinung des Anthropozän – und eine irreversible, wenn Arten aussterben. Der weltweite Verlust an Biodiversität schlägt dabei auf uns zurück, sei es durch schwindende Ökosystemdienstleistungen oder dem Schwinden wertvoller natürlicher Ressourcen.

Die Autoren des Berichtes „Millenium Ecosystem Assessment“ kommen zu einem deutlichen Schluss [3, S. 1. Übersetzung des Autors]:

Während den letzten fünfzig Jahren hat die Menschheit die Ökosysteme rascher und stärker verändert als in jedem gleich langen Zeitraum während der gesamten Geschichte davor. Hauptgründe sind der rasch zunehmende Bedarf an Nahrung, Wasser, Holz und Treibstoff. Das hat zu einem beträchtlichen und meist irreversiblen Verlust an biologischer Vielfalt geführt.

Exkurs: Die fünf wichtigsten Gründe für den Verlust biologischer Vielfalt

Der [3] benennt folgende fünf Gründe für den Rückgang der biologischen Vielfalt:

1. **Übernutzung:** Hinter diesem Wort verbergen sich mehrere Tätigkeiten, die zu einer Dezimierung der Bestände von Pflanzen-, Tier- oder Pilzarten führen. Überfischung

und übermäßige Bejagung gehören genauso dazu wie das übermäßige Sammeln von Wildpflanzen und Pilzen oder das übermäßige Abholzen von Bäumen. Zur Übernutzung gehört auch Überweidung, wodurch die Weidegründe durch zu viele fressende Tiere degradiert werden. In all diesen Fällen sinkt die Anzahl von Individuen in den Populationen der Arten auf ein Maß, das ihren weiteren Fortbestand gefährdet. Übermäßig bedeutet hier nicht nachhaltig; die Entnahme von Tieren und Pflanzen ist rascher als der natürliche Zuwachs in den Beständen.

2. **Zerstückelung und Zerstörung von Lebensräumen:** Dies ist der sichtbarste und unmittelbarste Grund für den Verlust biologischer Vielfalt. Lebensräume werden degradiert, vollständig zerstört oder in Stücke gerissen. Straßenbau, Verstädterung und Landwirtschaft sind die Hauptursachen. In den Meeren zerstören Schleppnetze und aufgewirbeltes Wasser marine Lebensräume.
3. **Invasive Arten:** Darunter verstehen Biologen Arten, die der Mensch absichtlich oder unabsichtlich in neue Gebiete gebracht hat, und die sich dort sehr stark vermehren. Dadurch verändern sie die einheimischen Lebensräume und verdrängen einheimische Arten.
4. **Verschmutzung:** Ein weit gefasster Begriff, der den Eintrag von synthetischen Stoffen in die Umwelt umfasst, aber auch den Eintrag von Phosphaten, Stickstoff, Schwermetallen und Plastik. Verschmutzung kann viele Formen annehmen. Auch zu viel Licht wirkt sich auf Arten aus, daher sprechen Experten von einer Lichtverschmutzung.
5. **Erderwärmung:** Durch den Klimawandel erhöht sich die mittlere Temperatur, was das lokale Klima in vielen Regionen verändert. Dies verschiebt die Verbreitungsgebiete von Arten, ihre Phänologie und ihr Verhalten ändern sich. Nicht alle Arten werden sich anpassen können. Die Artenzusammensetzung in vielen Ökosystemen wird nicht mehr dieselbe sein.

Die fünf Antriebskräfte für den Verlust von Biodiversität sind sehr oft miteinander verzahnt. Eine zunehmende Temperatur wird beispielsweise die Ausbreitung invasiver Arten begünstigen. Degradierete Lebensräume werden ebenfalls leichter von invasiven Arten besiedelt als intakte Lebensräume. Ein wärmer werdendes Klima bringt viele Pflanzen- und Tierarten in eine Stresssituation, dadurch werden sie anfälliger für Krankheiten und die Auswirkungen von Verschmutzungen.

Literatur

1. Wulf A (2015) Alexander von Humboldt und die Erfindung der Natur. Bertelsmann, München
2. Sloterdijk P (2015) Das Anthropozän – Ein Prozess-Zustand am Rande der Erd-Geschichte? In: Renn J, Scherer B (Hrsg) Das Anthropozän. Zum Stand der Dinge. Matthes & Seitz, Berlin, S 25–44
3. Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington DC

Weiterführende Literatur

4. Crutzen PJ (2002) Geology of mankind. Nature 415:23
5. Goudie AS (2013) The human impact on the natural environment: past, present and future. Wiley-Blackwell, West Sussex

6. Manemann J (2014) Kritik des Anthropozäns. Plädoyer für eine neue Humanökologie. Transcript, Bielefeld
7. Neßhöver C (2013) Biodiversität. Unsere wertvollste Ressource. Herder, Freiburg im Breisgau
8. Renn J, Scherer B (Hrsg) (2015) Das Anthropozän. Zum Stand der Dinge. Matthes & Seitz, Berlin
9. Zalasiewicz J (2017) Eine vielschichtige Angelegenheit. Spektrum Wiss 1(17):12–20

17

Leben in einer überdüngten Welt

Kennen Sie den Sternschneuzer? In unserem Zustand ist die Blaualge ein schwabbeliges Gebilde, dunkelgrün, und sieht wie ein Lappen aus. Sie besteht aus dicht verflochtenen Zellfäden, die in einer Gallerte eingebettet sind. Man findet den Organismus in Wiesen, auf Waldwegen, zwischen Moos, an Baumstämmen und in stehenden Gewässern. *Nostoc commune* lautet ihr wissenschaftlicher Name und sie besitzt wie alle anderen Blaualgen eine außergewöhnliche Eigenschaft: Sie kann den Stickstoff in der Luft verwerten.

Alle Organismen brauchen Stickstoff zum Leben, von der kleinsten Bakterie über den Pottwal bis hin zum Mammutbaum. Stickstoff ist ein Bestandteil der Eiweiße und der DNA. Mensch und Tier nehmen ihn mit der Nahrung auf, die meisten Pflanzen beziehen ihn aus dem Boden. Es ist eine Ironie der Evolution, dass kein einziges Tier und

keine einzige Pflanze fähig ist, die größte Quelle an Stickstoff zu nutzen, die Luft. Von jedem Kubikmeter Luft sind etwas mehr als drei Viertel elementarer Stickstoff. Das allgegenwärtige Gas ist für die meisten Arten aber nutzlos.

Was machen nun Blaualgen wie *Nostoc*? Sie besitzen ein Enzym, das den Luftstickstoff bindet, also in eine wasserlösliche Form überführt. Damit wird der Luftstickstoff biologisch verfügbar und fließt in den Stoffwechsel ein. Das Enzym nennt sich Nitrogenase, und der Vorgang wird als Stickstofffixierung bezeichnet.

Dieses Enzym besitzen außer Blaualgen noch einige weitere Mikroorganismen wie Knöllchenbakterien. Die Nitrogenase liefert zunächst Ammonium, doch weitere Bakterien im Boden wandeln es in Nitrat und in Nitrit um. Sie alle sorgen dafür, dass Stickstoff in wasserlösliche Salze übergeht, die sich im Bodenwasser lösen und von Pflanzenwurzeln aufgenommen werden können. Pflanzenfresser wiederum beziehen den Stoff von den Pflanzen, Fleischfresser von anderen Tieren. Durch Kot und abgestorbene Pflanzen und Tiere gelangt der Stickstoff wieder in den Boden.

Nun ist es nicht so, dass ständig Stickstoff aus der Atmosphäre in die Ökosysteme einfließt, dann wäre der Gehalt im Boden seit Beginn des Vorgangs ständig angestiegen. Es gibt Bakterien, die stickstoffhaltige Salze wieder in elementaren und gasförmigen Stickstoff verwandeln, der zur Luft zurückkehrt. Der Stickstoff unterliegt also einem Kreislauf und einem Gleichgewicht zwischen Eingang und Abgang.

Pflanzen mit Düng器fabriken

Die meisten Böden enthalten eher wenig Stickstoff, vor allem Rohböden, bei denen richtiger Humus noch fehlt. Einige Pflanzen gingen im Laufe ihrer Entwicklungsgeschichte eine Symbiose mit stickstofffixierenden Bakterien ein, sie unterhalten gleichsam ihre eigene Düng器fabrik. Pflanzen wie Erbse, Bohne, Lupine und sehr viele weitere Leguminosen bilden an den Wurzeln deutlich sichtbare Knöllchen, die voll von Bakterien sind. Hier wird Luftstickstoff fixiert. Auch Erlen und einige andere Pflanzenarten leben mit den besonderen Mikroorganismen zusammen. Zwischen den Blättchen des Algenfarns *Azolla* leben ebenfalls Blaualgen, und im Reisanbau wird das Farngewächs zur Stickstoffanreicherung genutzt. Aus demselben Grund pflanzen Bauern Leguminosen wie Ackerbohnen, Klee oder Wicken, um den Boden zu verbessern. Für den Anbau der nächsten Feldfrucht steht dann mehr Stickstoff zur Verfügung. Im ökologischen Landbau ist dies besonders wichtig, da der Gebrauch von Kunstdünger nicht erlaubt ist.

Die Menge an Stickstoff, die durch die Mikroorganismen gebunden wird, schätzen Biologen auf 200 bis 300 Mio. Tonnen jedes Jahr. Der größte Teil davon wird durch die Mikroorganismen fixiert, die in Symbiose mit Pflanzen leben.

Stickstoff für die Landwirtschaft

Die rasant anwachsende Bevölkerung im 19. und 20. Jahrhundert erforderte eine Ertragssteigerung auf den Getreide- und Gemüsefeldern sowie eine Steigerung der Fleischproduktion. Für die Rinderherden müssen mehr Futterpflanzen angebaut werden. Die Intensivierung der Landwirtschaft war nur mit dem Einbringen von Dünger möglich. Schon der deutsche Chemiker Justus Liebig (1803–1873) propagierte das Düngen mit stickstoff- und phosphathaltigen Mitteln. Er selbst erfand das wasserlösliche Superphosphat, das ein wichtiger Bestandteil von Dünger wurde. Das Ausbringen von Mist, Kompost und Jauche genügte aber bald nicht mehr. Europa importierte Mitte des 19. Jahrhunderts große Mengen an Guano aus Südamerika und Westafrika, einem bröckeligen Material, das aus Vogelkot und Kalkstein besteht. Bei koloniebildenden Vögeln wie Pinguinen und Kormorane fallen über die Zeit große Mengen an Guano an, die einen Abbau lohnen. Das Material ist reich an Phosphat und Stickstoff, ein natürlicher Intensivdünger. Noch besser wäre freilich, wenn man den Luftstickstoff nutzen könnte.

Zwei findigen deutschen Chemikern, dem Nobelpreisträger Fritz Haber (1868–1934) und Carl Bosch (1874–1940), gelang ein technisches Verfahren, das die natürliche Stickstofffixierung kopierte. Luftstickstoff und Wasserstoff werden zu Ammoniak zusammengefügt, das in Wasser löslich ist und aus dem weitere Produkte hergestellt werden können. 1913 nahm die BASF erstmals das Haber-Bosch-Verfahren in Betrieb und produzierte damals jeden Tag 30 Tonnen Ammoniak.

Nun konnte Kunstdünger in beliebigen Mengen hergestellt werden – ein Segen für die globale Landwirtschaft, und eine enorme Zufuhr von Stickstoff in die natürlichen Stoffkreisläufe.

Vom Feld und aus der Luft in die Natur

Der Eintrag von Stickstoff in naturnahe Lebensräume außerhalb landwirtschaftlicher Flächen geschieht auf verschiedenen Wegen: durch das Ausbringen von Kunstdünger oder Jauche und das Auswaschen von Salzen durch Regen. So gelangt Stickstoff in angrenzende Lebensräume, in Flüsse und Seen. Auch Wind verfrachtet Stickstoff aus den Feldern in die Umgebung, wenn kleinste Bodenpartikel aufgewirbelt werden. Durch Abwässer werden Seen, Flüsse und Meere belastet. Es ist nicht nur der immense Einsatz von Kunstdünger, auch die riesigen Bestände an Nutztieren und deren Ausscheidungen tragen dazu bei. Im Jahr 2006 gab es auf der Welt 1,38 Mrd. Rinder, in Deutschland 12,7 Mio. Als Wiederkäuer mit einer reichen Flora an Mikroorganismen in ihrem Magen stoßen Rinder Methan und Lachgas aus – Letzteres ist ein Stickoxid – und produzieren erhebliche Mengen an Dung.

Eine weitere Quelle sind Abgase aus Autos und Heizungen. Beim Verbrennen fossiler Energieträger entstehen Stickoxide, die durch den Regen ausgewaschen werden und auf den Boden gelangen. Biologen sehen eine große Gefahr für die Biodiversität durch das ständige Herabrieseln von Stickstoff auf das Land, ein Vorgang, der

sich in den letzten Jahrzehnten verstärkt hat. Durch den Stickstoffeintrag aus der Luft wird das Land unfreiwillig gedüngt.

Damit gehören Stickstoff und Phosphor zu ganz natürlichen Stoffen, durch eine Anreicherung in der Umwelt durch den Menschen führen sie aber zu einer Umweltverschmutzung. Die Folgen sind Eutrophierung, also Überdüngung von Land und Wasser.

Exkurs: Einige Fakten zu Stickstoff

- In Europa beträgt der jährliche Stickstoffeintrag aus der Luft je nach Region 2 bis 44 Kilogramm pro Hektar. Die unterschiedlichen Werte beruhen darauf, dass in Stadtnähe der Eintrag höher ist. Der natürliche Eintrag beträgt lediglich 0,5 Kilogramm pro Hektar.
- Auf landwirtschaftlichen Flächen Bayerns liegt der Stickstoffgehalt des Bodens je nach Fruchtart zwischen 32 und 71 Kilogramm pro Hektar.
- Getreidefelder erhalten jährliche Düngergaben von 70 bis 150 Kilogramm Stickstoff pro Hektar.
- Die biologische Stickstofffixierung durch symbiotische Mikroorganismen bindet in einem Feld mit Luzerne, einer Leguminose, etwa 300 Kilogramm Stickstoff pro Hektar. Weltweit werden schätzungsweise jedes Jahr 200 bis 300 Mio. Tonnen Stickstoff fixiert, davon ein Drittel in den Ozeanen.
- Für die Düngemittelproduktion werden jedes Jahr etwa 120 Mio. Tonnen Stickstoff der Atmosphäre entnommen.

Alles ist eine Frage der Dosis. Zu viel Phosphat und Stickstoff in Gewässern führt bekanntlich zu unnatürlichen Algenblüten, der massenhaften Vermehrung gewisser Algen. Da bildet sich in kurzer Zeit eine riesige Menge an Biomasse, die irgendwann abstirbt und von zersetzenden

Organismen abgebaut wird. Auch Kleinlebewesen, die sich von den Algen ernähren, vermehren sich. Zersetzer und Pflanzenfresser verbrauchen dabei sehr viel Sauerstoff. Die aufkommende Sauerstoffarmut kann schließlich zum Kollaps führen, Fische und Wirbellose sterben bei starker Eutrophierung ab. Zudem produzieren manche Algen giftige Substanzen.

Auf dem Land führt der übermäßige Eintrag von Stickstoff und Phosphor in natürliche Lebensräume zu lange anhaltenden Beeinträchtigungen. Sie sind nicht so offensichtlich wie eine Algenblüte in ihren Auswirkungen, aber nicht minder bedeutend.

Stickstoff und Biodiversität

In der Natur ist die Artenvielfalt auf nährstoffarmen Böden besonders hoch. Das erscheint uns paradox, sollten doch gute Wachstumsbedingungen auch vielen Arten ein Leben ermöglichen. Ein Vergleich einer gedüngten Fettwiese mit einem Magerrasen zeigt aber den großen Unterschied (Abb. 17.1): wenige üppig wachsende Pflanzenarten hier und viele weniger üppig wachsende Pflanzen dort. „Der Mangel ist für viele Artengemeinschaften das Lebenselixier“, meint Christian Körner, emeritierter Professor für Pflanzenökologie der Universität Basel. Der Mangel zeigt sich in der Rhön in Form prächtiger Magerrasen mit Orchideen und anderen seltenen Pflanzen wie der Gewöhnlichen Kuhschelle. Viele verschiedene Arten wachsen gemeinsam auf engem Raum, eben weil der Boden nährstoffarm ist. Dasselbe gilt für die überaus



Abb. 17.1 Eine Wiese mit Löwenzahn ist ein untrügliches Zeichen für einen überdüngten Boden. Empfindliche Arten können hier nicht wachsen. (© ThKatz/stock.adobe.com)

armen Böden, auf denen die so artenreichen tropischen Regenwälder wachsen. Eine hohe Artenvielfalt bedarf keiner großen Menge an Nährstoffen im Boden.

Angenommen, wir würden nun ein Stück des Magerrasens über mehrere Jahre düngen – wir würden sie zerstören. Der Stickstoff würde die Konkurrenzverhältnisse dramatisch ändern, ein paar wenige pflanzliche Monster würden profitieren, alle Ressourcen an sich reißen und die anderen Arten verdrängen. Die Artenvielfalt ginge dramatisch zurück.

Ein Experiment an der Universität Zürich hat gezeigt, dass das Düngen kleiner künstlicher Wiesen Pflanzenarten fördert, die von hohem Wuchs sind. Dadurch beschatten

sie kleinwüchsige Arten, die den Kürzeren ziehen und eingehen. Der Mechanismus sei also Konkurrenz um Licht, so die Autoren der Studie.

Der ständige Eintrag von Stickstoff verändert mehrere Faktoren je nach Lebensraum in unterschiedlichem Maße. Zunächst führen die Salze zu einer Bodenversauerung, der Säuregrad nimmt zu. Empfindliche Arten werden damit nicht fertig und verschwinden aus dem Lebensraum. Andere Arten profitieren davon und beginnen zu wachsen. Die Folge ist nicht nur ein Rückgang der Artenvielfalt, es kommt auch zu Verschiebungen des Artenspektrums. So hatten Forscher in Dänemark und in den Niederlanden schon in den 1990er-Jahren beobachtet, dass sich zunehmend Gräser in Mooren ausbreiten. Dasselbe ist der Fall in Heidevegetation, die natürlicherweise von der Besenheide beherrscht wird. Auch hier treten zunehmend Gräser auf. In einem gedüngten schwedischen Hochmoor hatte der seltene Sonnentau Mühe, sich als Keimling zu etablieren; wahrscheinlich wegen Konkurrenz durch größere Pflanzen. Die Forscher sind überzeugt, dass die Veränderungen auf Stickstoffeintrag zurückzuführen sind. Auch Wälder sind betroffen, und wenn in einem norddeutschen Kiefernwald der Schwarze Holunder und andere Pflanzen einen dichten Unterwuchs bilden, ist das eine Folge erhöhter Stickstoffeinträge. Zu den Lebensräumen in Deutschland, die durch Eutrophierung besonders gefährdet sind, zählen Heiden, Kalkmagerrasen und Hochmoore.

Um einen ursächlichen Zusammenhang zwischen Nährstoffeintrag und Artenvielfalt aufzuzeigen und wissenschaftlich zu belegen, benötigt man aber große Datensätze zu Vergleichszwecken und Langzeituntersuchungen.

Zwei Studien, die in vollkommen verschiedenen Gebieten gemacht wurden und vollkommen verschiedene Lebensräume untersuchten, zeigten genau dasselbe Muster. Die eine Studie stammt aus Hongkong und betrifft die Biodiversität von Korallenriffen in der Region. Die Küstengewässer sind hier stark belastet, denn jeden Tag gelangen 2 Mio. Tonnen Abwasser ins Meer. Die Wasserqualität wird seit 1986 jeden Monat gemessen, Daten zur Artenvielfalt der Korallenriffe liegen in Form vieler einzelner Untersuchungen vor. Biologen der Universität Hongkong hatten beides kombiniert und eindeutige Trends aufzeigen können: In stark belasteten Gebieten ist die Artenvielfalt ungleich geringer als in schwach belasteten Gebieten. Nicht überall ist die Belastung des Wassers gleich hoch, die Abwässer verteilen sich nicht gleichmäßig in den Gewässern.

Korallen reagieren sehr empfindlich auf Änderungen der Wasserqualität, sei es eine Zunahme der Temperatur, des Säuregrades oder eben der Nährstoffe. Korallenriffe gehören zu den artenreichsten und wichtigsten Lebensräume der Meere. Die Korallen selbst sind mit vielen Arten vertreten, hinzu kommen die zahlreichen Bewohner der Korallenriffe, von Fischen bis zu Krebsen und Schnecken. Der Verlust an Korallenriffen hat weitreichende Folgen für die Wirtschaft, weil sie wichtige Funktionen erfüllen. Diese reichen von Küstenschutz bis zu Lieferant von Fischen. Intakte Korallenriffe sind zudem eine wichtige Einnahmequelle durch den Tourismus.

In der anderen Studie konnten Forscher einen direkten Zusammenhang zwischen Stickstoffeintrag aus der Luft und der Artenvielfalt von extensiv genutzten Wiesen

nachweisen. Dazu zählten sie an 153 Orten in Europa die Anzahl von Pflanzenarten in Wiesen aus, jeweils auf einer Fläche von zwei mal zwei Metern. Die Daten setzten sie in Bezug zur Menge an Stickstoff, der aus der Luft kommt. Auch hier derselbe Trend: Die Artenzahl fällt mit zunehmender Belastung von über zwanzig Arten in einer Probe-fläche auf weniger als zehn.

Einmal drin, immer drin

Gelangt einmal zu viel Stickstoff in ein Ökosystem, wird es nicht so leicht wieder verschwinden. Weil der Stoff in gebundener Form vorliegt – in Form von Salzen oder in den Körpern von Organismen –, bleibt er für sehr lange Zeit im System. Daher ist Überdüngung mit der Gefahr von Langzeitwirkungen verbunden, die auf den ersten Blick nicht sichtbar sind. Die Artenzusammensetzung verschiedener Lebensräume reagiert langsam auf den stetigen Eintrag, und nicht von einem Tag auf den andern. Daher mag ein gesund erscheinendes Hochmoor oder eine bunte Magerwiese täuschen; deren Untergang kann bereits vorgezeichnet sein. Selbst wenn Düngung aus der Luft oder aus dem Tank aufhören würden, würde es sehr lange dauern, bis der Stickstoffgehalt des Bodens wieder Normalwerte erreicht hat.

Ich habe mich in diesem Kapitel auf Stickstoff konzentriert, weil dieses chemische Element so immens wichtig ist für sämtliches Leben auf der Erde. Selbstverständlich fallen viele weitere Stoffgruppen und Faktoren unter die Rubrik Umweltverschmutzung, die alle direkt oder indirekt Biodiversität negativ beeinflussen, wie Schwermetalle,

Rückstände von Pestiziden oder Versauerung der Meere. Mit dem Stickstoff verhält es sich wie mit dem Kohlendioxid. Beides sind ganz natürliche Verbindungen, doch mit unseren Aktivitäten bringen wir eine unnatürlich hohe Menge zusätzlich in die Ökosysteme, und dies kontinuierlich während Jahrzehnten und Jahrhunderten. Dass das zu ökologischen Turbulenzen führen muss, die auf uns zurückwirken, liegt auf der Hand.

Das Beispiel Stickstoff zeigt auch, dass wir mit unserem ökologischen Fußabdruck Gebiete beeinflussen, die wir gar nicht betreten. Ob Naturschutzgebiet oder unbewohntes Land, was vom Himmel fällt, wird überall hin verteilt. Auch die letzten der wertvollsten Lebensräume wie Hochmoore, Feuchtwiesen oder Magerrasen werden so beeinträchtigt. Was für den Stickstoff gilt, ist bei anderen Umweltverschmutzungen nicht anders; beim Plastikmüll etwa, der sich in gigantischen Mengen in den Ozeanen ansammelt und auf den Boden absinkt.

Wertvolle Lebensräume werden aber nicht nur beeinträchtigt, sondern direkt zerstört. Dies und die drei anderen Gründe für den Verlust an biologischer Vielfalt sind das Thema des nächsten Kapitels.

Weiterführende Literatur

1. Bobbink R, Hornung M, Roelofs JGM (1998) The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. *J Ecol* 86:717–738
2. Bundesamt für Umwelt Schweiz (2014) Stickstoff – Segen und Problem. <https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/>

- luft/dossiers/magazin-umwelt-stickstoff.html. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
3. Duprey NN, Yasuhara M, Baker DM (2016) Reefs of tomorrow: eutrophication reduces coral biodiversity in an urbanized seascape. *Glob Chang Biol* 22:3550–3565
 4. Gottschalk G (2009) Welt der Bakterien. Die unsichtbaren Beherrscher unseres Planeten. Wiley-VCH, Weinheim
 5. Hautier Y, Niklaus PA, Hector A (2009) Competition for light causes plant biodiversity loss after eutrophication. *Science* 324:636–638
 6. Körner C (2015) Nicht jede Limitierung ist ein Stress – Sprache verrät falsche Konzepte. *Biol in unserer Zeit* 45:68–69
 7. Stevens CJ, Duprè C, Dorland E, Gaudnik C, Gowing DJG, Bleeker A, Diekmann M, Alard D, Bobbink R, Fowler D, Corcket E, Mountford JO, Vandvik V, Aarrestad PA (2010) Nitrogen deposition threatens species richness of grasslands across Europe. *Environ Pollut* 158:2940–2945
 8. Umweltbundesamt (UBA), Hrsg. (2011) Stickstoff – zu viel des Guten? Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/stickstoff-zuviel-des-guten>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
 9. WHO (2003) Health aspects of air pollution with particulate matter, ozone and nitrogen dioxide. Report on a WHO working group. Bonn

18

Verlorene Arten hinterlassen Lücken

Kein Zweifel, die Biodiversität schwindet. Die Vogelwelt ist nicht mehr das, was sie einmal war. Auch Schmetterlinge und Orchideen gab es früher viel öfter zu sehen. In einem Bericht aus dem Jahr 2015 zum Zustand der Schmetterlinge auf den Britischen Inseln stehen Sätze wie: „Neue Analysen bestätigen den starken Rückgang der Schmetterlinge seit 1976“ [1, S. 5, Übersetzung des Autors]. Etwa drei Viertel aller Arten auf den Britischen Inseln sind während der letzten vierzig Jahre im Hinblick auf Bestand und Verbreitungsgebiet zurückgegangen, so die Autoren des Berichtes. Für die Britischen Inseln liegen lange Beobachtungsreihen vor, denn das Schmetterlingsmonitoring begann bereits 1976. Auch eine Studie der Europäischen Umweltagentur kommt zu ähnlichen Ergebnissen in Sachen Schmetterlinge. Um eine Art herauszugreifen: Zwischen 1990 und 2011 wurden in mehreren

europäischen Ländern 80 Prozent weniger Exemplare des Mauerfuchses (*Lasiommata megera*) – ein tagaktiver Schmetterling – beobachtet [2, S. 8]. Nicht nur in Europa schwindet die Biodiversität. Weltweit werden zahlreiche Säugetier-, Amphibien- und Vogelarten immer seltener. Gerade auch die Populationen bedrohter Vogelarten werden immer kleiner.

Das Schwinden der Artenvielfalt geschieht gleich auf zweierlei Art und Weise. Zum einen nehmen die Bestände vieler Pflanzen- und Tierarten ab, die Arten werden seltener, die Anzahl der Individuen sinkt. Zum andern sterben viele Arten unwiderruflich aus, wenn ihre Bestände zu klein geworden sind.

Wie bereits erwähnt, nennen die Autoren des UN-Berichtes „Millenium Ecosystem Assessment“ fünf Mechanismen, die zum heutigen Artenrückgang beitragen und sich gegenseitig beeinflussen. Mein Augenmerk gilt in diesem Kapitel der Übernutzung, der Zerstückelung und Zerstörung von Lebensräumen und der Ausbreitung von invasiven Arten.

Übernutzung

Dahinter verbergen sich mehrere Faktoren, die zu einer Dezimierung der Bestände von Pflanzen-, Tier- oder Pilzarten führen. Überfischung und übermäßige Bejagung gehören genauso dazu wie das übermäßige Sammeln von Wildpflanzen und Pilzen oder das übermäßige Abholzen von Bäumen. Aber auch Überweidung ist eine Form der Übernutzung, da die Weidegründe durch zu viele

fressende Tiere degradiert werden. In all diesen Fällen sinkt die Anzahl von Individuen in den Populationen der Arten auf ein Maß, das ihren weiteren Fortbestand gefährdet. Eine übermäßige Nutzung bedeutet hier eine nicht nachhaltige Nutzung. Die Entnahme von Tieren oder Pflanzen erfolgt rascher als der natürliche Zuwachs in den Beständen.

Übermäßige Bejagung ist in den meisten Fällen mit Wilderei gleichzusetzen.

Wenn es uns nicht gelingt, die Wilderei und den Handel mit Schuppentieren nachhaltig einzudämmen, werden Schuppentiere schon bald aussterben. Doch wir werden dies nicht zulassen, nur weil grausame Händler illegal Profite mit ihnen machen wollen.

Das sagt Mike Labuschagne vom „International Fund for Animal Welfare“ [3], kurz IFAW. Er muss es wissen, denn er führt in Malawi und Sambia Ermittlungen durch, um Wilderer zu fassen – keine leichte Aufgabe und mitunter gefährlich.

Schuppentiere gehören zu den Säugetieren, haben aber mit den uns so vertrauten Vertretern dieser Tierklasse nicht viel gemeinsam. Die röhrenförmige Schnauze und die großen Grabkrallen offenbare ihre Lebensweise: Die Tiere ernähren sich von Ameisen und Termiten. Statt eines Fells ist der Körper mit großen Hornschuppen bedeckt, überlappend wie Dachziegel.

Schuppentiere werden wegen ihres Fleisches, ihrer Schuppen und Krallen gejagt und illegal gehandelt, und dies in einem beängstigenden Ausmaß. Teile von

Schuppentieren finden in der traditionellen chinesischen Medizin Verwendung. Jedes Jahr werden Hunderttausende Schuppentiere getötet mit der Folge, dass die Bestände rapide schrumpfen.

Schuppentiere stehen stellvertretend für eine lange Liste von Tierarten, die gewildert werden. In Südafrika hat laut WWF das Ausmaß der Wilderei zwischen 2007 und 2015 fast um das Hundertfache zugenommen. Dabei wurde bereits 1973 anlässlich der Weltkonferenz über Wildtiere das Washingtoner Artenschutzabkommen (CITES) ins Leben gerufen. Die Abkürzung steht für „Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora“, auf Deutsch „Konvention zum internationalen Handel mit gefährdeten Wildtieren und Wildpflanzen“. Das Abkommen soll den Handel mit bedrohten Arten regeln. In den Anhängen I, II und III der Konvention sind etwa 35.000 Arten von Pflanzen und Tieren gelistet. Die etwa 1000 Arten in Anhang I dürfen nicht gehandelt werden, auch nicht ihre Produkte. Die Arten in Anhang II und III dürfen unter strengen Auflagen gehandelt werden. Den illegalen Handel kann CITES aber nicht verhindern.

Wilderei, übermäßiges Sammeln von Wildpflanzen und Überfischung sind Aspekte, die bei der Diskussion um den Verlust von Biodiversität viel zu kurz kommen. Von Lebensraumzerstörung und Klimawandel spricht jeder, doch die Einbußen vieler Populationen durch Überjagung und übermäßiges Sammeln sind vielen Menschen nicht bewusst. Bei den Pflanzen sind es illegales Sammeln von Orchideen und illegal geschlagene Hölzer, die zur Besorgnis Anlass geben. So heißt es in einer Pressemitteilung des Bundesamtes für Naturschutz: „Nach Schätzungen von

Interpol werden zwischen 15 und 30 Prozent aller Bäume, die in den Welthandel kommen, entweder illegal abgeholzt oder aufgrund gefälschter Lizenzen vertrieben.“ Tropenhölzer sind dabei besonders betroffen.

Aus ökologischer Sicht bedeuten übermäßige Bejagung, Überfischung und übermäßiges Pflanzensammeln ein direktes Eingreifen in ein intaktes Ökosystem. Hier wird auch ohne direkte Zerstörung in den Lebensraum eingegriffen, was sich langfristig nachteilig auswirken kann. Durch das Bejagen fehlen Tiere, die im Lebensraum eine wichtige Aufgabe erfüllt haben, und dies kann negative Veränderungen nach sich ziehen.

Wenn Lebensräume zerfallen und schwinden

Die Zerstörung von Lebensräumen im Zuge von Baumaßnahmen, Waldrodungen oder Konvertierung zu Agrarland gehört sicher zu den sichtbarsten und unmittelbarsten Gründen für den Verlust biologischer Vielfalt. Lebensräume werden degradiert, vollständig zerstört oder in Stücke gerissen. Straßenbau, Verstädterung und Landwirtschaft sind die Hauptursachen. In den Meeren zerstören Schleppnetze und aufgewirbeltes Wasser marine Lebensräume.

Auch ohne vollständige Zerstörung eines Ökosystems kann dieses beeinträchtigt werden, alleine durch Zerstückelung. Habitatfragmentierung nennen Experten den Vorgang. Wenn eine Straße eine Schneise in einen Wald legt, ist der ehemals zusammenhängende Waldblock in

zwei Stücke geteilt. Auch wenn die Straße flächenmäßig nur einen kleinen Teil ausmacht – die Folgen für die Reststücke können schwerwiegend sein. Das lässt sich am besten anhand eines Kuchens demonstrieren.

Wenn Sie einen Kuchen in zwei Hälften schneiden, ihn an der Luft stehen lassen und auf den Verzehr verzichten, wird er rascher austrocknen, als wenn er ganz bleibt. Das Aufteilen schafft neue Flächen, an den Schnittflächen kann nun ebenfalls die trockene Zimmerluft angreifen und dem Gebäck das Wasser entziehen.

Genauso verhält es sich mit zerstückelten Lebensräumen. In den Randgebieten verändert sich die Umwelt stark. An einem Waldrand ist es trockener als im Waldesinnern, mehr Licht fällt auf den Boden. Die Vegetation richtet sich danach, und an einem Waldrand wachsen auch Sträucher und lichtliebende Arten. Wenn ein vormals zusammenhängendes und großes Waldstück in viele kleine Reste umgewandelt wird, ist jeder dieser Reste effektiv noch kleiner, weil ein dicker Randbereich den Wald zusätzlich beschneidet. Bewohnern des Waldes, die das kühle und schattige Innere bevorzugen, bleibt dadurch noch weniger Raum.

Zerstückelung von Landschaft und Lebensräumen hat noch viele weitere Auswirkungen auf die Tier- und Pflanzenwelt. Dies hat ein groß angelegtes Fragmentierungsexperiment der Universität Basel gezeigt. Biologen haben zwischen 1993 und 1999 im Schweizer Jura einen Magerasen künstlich in unterschiedlich große Stücke aufgeteilt, indem sie durch häufiges Mähen die umgebende Vegetation niedrig hielten. Die so entstandenen Inseln – Habitatsinseln – verglichen die Forscher akribisch mit einem

nahe gelegenen großen Stück Magerrasen. Es veränderte sich viel: In den Habitatsinseln gingen die Populationen von Schnecken und Schmetterlingen zurück, Pflanzenarten setzten weniger Samen an, weil die Bestäubung erschwer wurde. Überraschend war der starke Rückgang von Schmetterlingsarten in den Habitatsinseln: Konnten die Forscher in der unberührten Wiese 29 Arten zählen, waren es in den Fragmenten lediglich 19 Arten. Nun sollte man meinen, dass Schmetterlinge als fliegende Tiere leicht von der unberührten Wiese aus die kleinen Inseln aufsuchen können. Doch genaue Beobachtungen zeigten, dass viele Schmetterlinge die gemähten Flächen nicht überfliegen und lieber in der unberührten Wiese verbleiben. Aus Sicht eines Schmetterlings wirkt eine kurz geschnittene Wiese als Barriere. Das hat Folgen für all die Pflanzenarten in den Habitatsinseln, die auf Bestäuber angewiesen sind. Die Wahrscheinlichkeit, dass lokal Arten aussterben, steigt mit der Intensität der Fragmentierung. Das gilt auch für Wälder, Gewässer und alle anderen Lebensräume.

Das Fazit der Studie lautet, dass auch der beste Schutz von Habitatsinseln in der Landschaft keine Garantie für das langfristige Überleben von Pflanzen- und Tierarten darstellt. Daher ist ein Ziel des „Strategischen Plans der Biodiversität 2011–2020“, eines Übereinkommens über die biologische Vielfalt, die anhaltende Degradierung und Fragmentierung von Lebensräumen zu verringern oder zu stoppen.

Arten am falschen Ort

Ich möchte Ihnen eine Pflanze und ein Tier vorstellen, zwei ganz normale Arten. Die Pflanze heißt Mittagsblume oder Hottentottenfeige (*Carpobrotus edulis*) und wächst ursprünglich in Südafrika. Es ist eine Küstenpflanze, die lange Ausleger und gelbe oder karminrote Blüten bildet, die so groß wie bei einer Pfingstrose werden. An den Küsten des Mittelmeeres und am Atlantik ist die Pflanze nicht zu übersehen, weil sie Dünen und Böschungen überwuchert. Dasselbe Bild zeigt sich in Kalifornien. An allen drei Küsten ist die Pflanze nicht heimisch und wächst dort nur, weil sie der Mensch eingeführt hat, und zwar absichtlich, zunächst als Zierpflanze. Das anspruchslose Gewächs diente bald auch zur Befestigung von sandigen Stellen an Küsten.

Die Bisamratte (*Ondatra zibethicus*) zählt zu den Wühlmäusen und lebt natürlicherweise in Nordamerika. Das Tier erreicht 1 bis 2 Kilogramm Gewicht, seine Lebensweise gleicht der eines Bibers. Bisamratten sind ausgezeichnete Schwimmer und zudem Allesfresser. Die ersten Tiere Europas hatte Fürst Josef Colloredo-Mannsfeld (1866–1957) als Jagdtier und künftigen Pelzlieferanten 1905 auf seinem Landgut bei Prag ausgesetzt – die Bisamratten sollten sich vermehren. Das taten sie, allerdings in unvorhergesehener Weise. Bereits sieben Jahre später besiedelten die Tiere ganz Böhmen, in den 1920er-Jahren erreichte die Ausbreitungswelle alle heutigen Nachbarstaaten der Tschechischen Republik. Auch in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden Bisamratten ausgesetzt oder entkamen von Pelzfarmen. Seither dehnt sich das Verbreitungsgebiet des Tieres in Eurasien aus.

Was haben die beiden Arten gemeinsam? Beide vermehren sich außerhalb ihres natürlichen Verbreitungsgebietes und tun dies, weil der Mensch sie hergebracht hat. Mittagsblumen oder Bismarcken können nicht von alleine Europa erreichen. Sie wurden von Menschen absichtlich eingeführt, und zwar für einen bestimmten Zweck. Beide Arten haben sich selbstständig gemacht und zählen inzwischen zu den invasiven Arten. Darunter versteht das Bundesamt für Naturschutz Arten, die „unerwünschte Auswirkungen auf andere Arten, Lebensgemeinschaften oder Biotope haben“. In allen Fällen handelt es sich um nicht einheimische oder gebietsfremde Arten, die sich so stark vermehren, dass sie die Artenvielfalt gefährden. Zu den invasiven Arten zählen auch gebietsfremde Unkräuter der Landwirtschaft oder gebietsfremde Arten, die unsere Gesundheit beeinträchtigen. So wie die nordamerikanische Ambrosie, die hochallergene Pollen bildet und sich zum Beispiel im Süden Brandenburgs stark ausbreitet.

Die Auswirkungen

Für den Naturschutz sind invasive Arten eine echte Herausforderung. Die Mittagsblume verdrängt an der kalifornischen Küste eine überaus artenreiche Strandvegetation und ersetzt sie durch langweilige Matten aus grünen Stängeln. Die vorwiegend nachtaktive Bismarcke entpuppte sich als ziemlich zerstörerisches Wesen im Uferbereich von Seen und Teichen. Die Tiere graben lange und tiefe Gänge und errichten ähnlich wie der Biber Burgen im Wasser. Das führt zu erheblichen Schäden an Ufern, denn

die Tiere untergraben großflächig Uferbefestigungen. Die Folgen sind Bodenerosion, verstopfte Kanäle und Überdüngung langsam fließender Gewässer. Auch das vielerorts beobachtete Schilfsterven wird durch Bismarratten mitverursacht, da sind sich die Experten einig. Das wiederum entzieht Vogelarten wie Rohrdommel oder Teichrohrsängern den Lebensraum.

In beiden Fällen greift eine gebietsfremde Art durch ihr massenhaftes Auftreten in natürliche Lebensräume ein und bringen sie gehörig durcheinander. Da ist es richtig, dass die Arten bekämpft werden. Mittagsblumen werden mit Herbizid oder von Hand entfernt, Bismarratten werden bejagt – in Deutschland etwa 400.000 Tiere jedes Jahr.

Beide Arten stehen stellvertretend für Hunderte von Pflanzen-, Tier- und Pilzarten, die in den verschiedensten Gebieten der Welt ihr Unwesen treiben. Selbst in der Antarktis wuchern eingeschleppte Gräser als Unkraut. Bei all diesen Arten fand eine Verwildering statt, die Arten vermehren sich spontan und breiten sich selbstständig in der Landschaft aus. Die meisten der Arten hat der Mensch absichtlich eingeführt, manche aber auch unabsichtlich eingeschleppt. Die Einfallswege gebietsfremder und invasiver Arten sind so vielfältig wie die Arten selbst. Insekten, Larven von Insekten und Pflanzensamen können versteckt in den Erdballen von Pflanzen, in Verpackungsmaterial, in Holzladungen, auf Kleidern oder im Gepäck eingeschleppt werden. Die meisten Pflanzen, die als invasiv gelten, kamen ursprünglich als Zierpflanze ins Land. Verwilderte Tiere wie Schweine und Ziegen auf ozeanischen Inseln gehen auf absichtliche Aussetzungen zurück; so setzten Segler im 18. Jahrhundert Schweine auf

Hawaii aus, um bei künftigen Missionen jagdbares Fleisch zu bekommen. Heute werden die verwilderten Schweine unter großem Aufwand kontrolliert, da sie die Lebensräume der Inseln empfindlich stören.

Exkurs: Invasive Arten und Biodiversität

Die ökologischen Auswirkungen invasiver Arten sind vielfältig und nicht auf den ersten Blick erkennbar. Nur genaue Untersuchungen zeigen die oft komplexen Mechanismen auf, durch die eine invasive Art einen natürlichen Lebensraum beeinträchtigt.

So hat die Dachtrespe, ein Gras aus Europa, den Westen Nordamerikas regelrecht umgewandelt. Auf ehemals überweideten Flächen breitet sich das eingeschleppte Gras seit den 1930er-Jahren aus und bedeckt heute Tausende von Quadratkilometern. Als einjährige Pflanze häuft sie im Frühjahr und in den Sommermonaten eine große Menge leicht brennbarer Biomasse an; die Folge sind häufigere und intensivere Brände in der Gegend. Das wiederum verhindert das Aufkommen von Sträuchern und fördert das Gras. Die Folge ist ein artenarmes und unnatürliches Grasland, das nur wenigen Nagetieren Lebensraum bietet und so auch die Bestände von Raubvögeln dezimiert. Die Dachtrespe offenbart die komplexen Auswirkungen einer invasiven Pflanze auf die Vorgänge in natürlichen Lebensräumen. Anstelle der Wiesen aus Dachtrespe wäre die natürliche Vegetation ein artenreicher Bewuchs aus Sträuchern, mehrjährigen Gräsern und zahlreichen Blumen.

Invasive Arten verdrängen nicht nur andere Arten direkt durch Konkurrenz um Nahrung oder Raum, sondern können auch wichtige Eigenschaften eines Lebensraumes verändern: Licht- und Feuchtigkeitsverhältnisse, Nährstoffgehalt des Bodens und die Häufigkeit von Störungen. Wenn bestimmte Arten verdrängt werden, hat das Folgen für weitere Arten, wie das Beispiel der Dachtrespe zeigt.

Wegen invasiver Arten sind einheimische Arten bereits ausgestorben. Im Viktoriasee in Afrika starben Dutzende von Arten von endemischen Fischen aus, nachdem der Nilbarsch (*Lates niloticus*) ausgesetzt wurde. Dieser gefräßige Räuber vernichtete eine einmalige Fischfauna. Die Australische Baumschlange gelangte unbeabsichtigt auf die kleine Insel Guam und verursachte das Aussterben mehrerer Vogelarten. Die Schlange raubte Vogeleier und vermehrte sich so stark, dass sie auch für die Bevölkerung eine Plage wurde. Seither wird sie intensiv bekämpft.

Die meisten invasiven Arten degradieren die besiedelten Lebensräume, sodass viele Pflanzen und Tiere lokal verschwinden. Die Folge ist eine Verarmung der angestammten Artenvielfalt. Somit ist die Anwesenheit einer gebietsfremden Art keine Bereicherung der Natur, auch wenn keine ökologischen Schäden offensichtlich sind. In Deutschland gehört der Japanische Staudenknöterich zu den invasiven Pflanzen, er wächst an Ufern und fördert die Bodenerosion. Zu den invasiven Tieren gehört der Asiatische Marienkäfer, ein Schädling im Weinbau und eine Bedrohung für einheimische Marienkäfer, weil er deren Larven frisst. Die Chinesische Wollhandkrabbe ist ein gefürchteter Schädling in der Fischerei und Aquakultur, weil sie Netze zerstört und sogleich Fische wie Fischfutter frisst. In natürlichen Gewässern dezimieren die Tiere Wasserpflanzen und Wirbellose, sodass Fische kaum noch Nahrung finden.

Der Ausweg

„Die ich rief, die Geister, werd ich nun nicht los“, spricht der Zauberlehrling in Goethes Ballade. Haben invasive Arten einmal Fuß gefasst und sich weit verbreitet, lassen sie sich kaum oder nur unter erheblichem Aufwand ausrotten. Aber man kann versuchen, neue biologische Invasionen zu verhindern. Schiffsladungen, Gepäckstücke und Einreisende auf das Vorhandensein biologischer Materie zu kontrollieren ist in vielen Ländern gängige Praxis. In Nationen wie Australien oder Neuseeland darf niemand ohne Genehmigung durch die Biosicherheit eine neue Pflanzen- oder Tierart einführen. Möchte eine Gärtnerei eine neue Art in ihr Sortiment aufnehmen, wird diese erst einmal auf ein mögliches Schadenspotenzial geprüft.

Solche Risikoanalysen werden auch in Deutschland zunehmend aktuell. Wer weiß denn schon, ob sich neue Energiepflanzen wie die Durchwachsene Silphie aus Nordamerika nicht als Wolf im Schafspelz entpuppen? Auch die heute allgegenwärtige Kanadische Goldrute wurde einst als harmlose Zierpflanze eingeführt. Und wegen des wärmer werdenden Klimas wird heute über neue Baumarten diskutiert, die künftig als Straßenbäume gepflanzt werden sollen. Hier müssen vorab umfangreiche Erkundigungen eingeholt werden, um nicht neue Probleme heraufzubeschwören.

Dass wir neue Zuzügler auch durch unbeabsichtigte Einschleppungen bekommen, zeigt etwa die Asiatische Hornisse (*Vespa velutina*), die 2005 das erste Mal in Südwestfrankreich beobachtet wurde und sich seither in

Europa ausbreitet. Wahrscheinlich kam das Insekt auf dem Seeweg von China nach Frankreich. „Diese Einschleppung verdeutlicht einmal mehr die Gefahren, die ein weltweiter Warenverkehr für Ökosysteme haben kann“, meint Melanie von Orlow, Entomologin beim NABU. Ob das asiatische Insekt eine Gefahr darstellt, lässt sich jetzt noch nicht sagen.

Zunehmender Welthandel und Klimawandel werden die Ausbreitung invasiver Arten begünstigen. Doch deren Bekämpfung ist teuer. Eine neue Studie schätzt, dass invasive Insekten in Europa alleine jedes Jahr 18 Mrd. US-Dollar an Kosten verursachen.

Wenn Arten aussterben

Egal, was die Gründe für den Artenschwund sind, das lokale oder globale Aussterben von Arten kann gravierende ökologische Folgen haben. Biologen sind besorgt über das Wegfallen von Tieren, die eine wichtige Funktion erfüllen, sei es als Bestäuber oder als Samenverbreiter (Abb. 18.1). Es kommt zu einer Kettenreaktion, denn der Wegfall bestimmter Arten beeinträchtigt weitere Arten. Es entstehen Löcher in den zwischenartlichen Beziehungsnetzen. Das zeigt sich an Pflanzenarten, die wegen ausgestorbenen Bestäubern keine Samen mehr ansetzen und somit selbst dem Untergang geweiht sind, wie das Botaniker bei der seltenen Vulkanpalme (*Brighamia insignis*) auf Hawaii beobachten. Andere Sträucher auf der Inselkette waren auf bestimmte Vögel angewiesen, die ebenfalls als Bestäuber



Abb. 18.1 Affen wie der Nasenaffe auf Madagaskar spielen im Ökosystem Wald eine wichtige Rolle, etwa beim Verbreiten von Samen. Stirbt der Nasenaffe aus, gehen ökologische Beziehungen verloren. (© Uryadnikov Sergey/stock.adobe.com)

agierten. In tropischen Regenwäldern Asiens fallen die Früchte bestimmter Bäume von den Bäumen und verrotten, weil die samenverbreitenden Tiere fehlen.

Dies sind alles schleichende Veränderungen, die bei einem kurzen Besuch des Ökosystems nicht bemerkt werden können. Langfristig wird sich die Artenzusammensetzung der betroffenen Lebensräume jedoch ändern.

Literatur

1. Fox R, Brereton TM, Asher J, August TA, Botham MS, Bourn NAD, Cruickshanks KL, Bulman CR, Ellis S, Harrower CA, Middlebrook I, Noble DG, Powney GD, Randle Z, Warren MS, Roy DB (2015) The state of the UK's butterflies 2015. Butterfly conservation and the centre for ecology & hydrology, Wareham
2. European Environment Agency (2013) The European Grassland Butterfly Indicator: 1990–2011. EEA Technical report No 11/2013. European Environment Agency, Copenhagen
3. Labuschagne M (2016) Verfolgung von Schuppentier-Wilderern in Afrika. <http://www.ifaw.org/deutschland/aktuelles/verfolgung-von-schuppentier-wilderern-afrika>. Zugriffen: 9. Aug. 2017

Weiterführende Literatur

4. BirdLife International (2017) Most threatend birds are in decline. <http://datazone.birdlife.org/sowb/casestudy/most-threatened-birds-are-in-decline>. Zugriffen: 9. Aug. 2017
5. Bradshaw CJA, Leroy B, Bellard C, Roiz D, Albert C, Fournier A, Barbet-Massin M, Salles JM, Simard F, Courchamp F (2016) Massive yet grossly underestimated global costs of invasive insects. *Nature Communications* 7:12986
6. Bundesamt für Naturschutz (2016) Wenn Regenwald dem Gitarrenklang geopfert wird. Bundesamt für Naturschutz, Pressehintergrund vom 25.11.2016

7. CITES (2017) Convention on International Trade in Endangered Species of Wild Fauna and Flora. <https://cites.org>
8. Kegel B (2013) Die Ameise als Tramp. Von biologischen Invasionen. DuMont Buchverlag, Köln
9. Klaus G, Schmill J, Schmid B, Edwards PJ (2001) Biologische Vielfalt – Perspektiven für das neue Jahrhundert. Erkenntnisse aus dem Schweizer Biodiversitätsprojekt. Birkhäuser, Basel
10. Kowarik I (2010) Biologische Invasionen. Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer, Stuttgart
11. NABU (2017) Asiatische Hornisse jetzt auch in Europa. Naturschutzbund Deutschland. <https://www.nabu.de/tiere-und-pflanzen/insekten-und-spinnen/hautfluegler/wespen-und-hornissen/06323.html>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
12. Nentwig W (2011) Der große Zerstörer im Edelpelz: Die Bismarrratte. In: Nentwig W (Hrsg) Unheimliche Eroberer. Invasive Pflanzen und Tiere in Europa. Haupt, Bern
13. Weber E (2015) Der Fisch, der lieber eine Alge wäre. Das erstaunliche Zusammenleben von Tieren und Pflanzen. Beck, München

19

Aussterben gestern und heute

Wer in einem Naturkundemuseum durch die Sammlungen mit Versteinerungen schlendert, erblickt eine Vielzahl von Pflanzen- und Tierarten, die schon seit Urzeiten ausgestorben sind. Säbelzahn tiger, Mammut, Dinosaurier, Riesenschachtelhalme und Riesenlibellen existieren nicht mehr. Tatsächlich sind über 99 Prozent aller Arten, die je auf der Erde gelebt haben, ausgestorben. Es herrscht ein Kommen und Gehen auf unserem Planeten. Ständig entstehen neue Arten und es sterben Arten aus. Dies sind zwei ganz natürliche Prozesse, die zum Leben gehören wie Geburt und Tod eines Individuums.

Die Rekonstruktion der vergangenen Artenvielfalt ist Aufgabe der Paläontologen. Beinahe täglich werden neue Fossilien gefunden, meist unspektakuläre, selten ausgesprochene Glücksfunde. Mit jedem Neufund wird die

Datengrundlage für die Beschreibung des vergangenen Lebens vollständiger.

In Kap. 11 haben wir gesehen, dass seit dem Beginn des Kambriums vor etwa 550 Mio. Jahren die Anzahl von Familien der Lebewesen zunimmt. Diese Zunahme gleicht dem Auf und Ab eines Aktienkurses bei allgemeinem positivem Trend. Zu gewissen Zeiten gibt es starke Rückschläge als Folge eines Massenaussterbens.

Der Vorgang des Aussterbens von Arten hat heute eine besondere Bedeutung erlangt, weil durch die Aktivitäten des Menschen ebenfalls Arten aussterben, wenn auch auf ganz andere Art und Weise.

Wie sterben Arten aus?

Für Paläontologen ist klar, was unter Aussterben zu verstehen ist: das unwiderrufliche Verschwinden einer Art. Für sie bedeutet Aussterben immer, dass die Art weltweit aufgehört hat zu existieren; der Zustand des Ausgestorben-seins beginnt mit dem Tod der letzten Individuen. Auch umgangssprachlich meint „Aussterben“ das endgültige Aus für eine Art.

In der Ökologie ist dies weniger klar. Es gibt solches und solches Aussterben, globales oder lokales. Ökologen sprechen auch dann von Aussterben, wenn sie das lokale Verschwinden einer Art meinen, innerhalb eines bestimmten Gebietes oder eines Lebensraumes, auch wenn die Art jenseits davon noch vorkommt. So ist der Elch in Deutschland ausgestorben, die Art besiedelt aber nach wie vor große Landstriche in Nordeuropa, Nordamerika und

Asien. In Deutschland gab es bis zum Zweiten Weltkrieg Elchpopulationen im Osten des Landes.

Die Unterscheidung zwischen globalem und lokalem Aussterben ist wichtig, wenn Statistiken zur Anzahl ausgestorbener Arten aufgestellt werden sollen oder wenn die Gründe für das Aussterben untersucht werden.

Bleiben wir für einen Moment beim globalen Aussterben. Wie und wie rasch eine bestimmte Art von der Erde verschwindet, hängt von vielen Faktoren ab, etwa ob es sich um ein großes oder kleines Tier handelt, um eine Pflanze oder eine Bakterie und vor allem, in welchem geografischen Gebiet sie vorkommt. Je nach Situation kann eine Art von einem Augenblick auf den anderen ausgelöscht werden, oder die Bestände schrumpfen allmählich, bis eines Tages ein letzter Mohikaner übrig bleibt. Hat er das Zeitliche gesegnet, ist die Art ausgestorben.

Begeben wir uns einmal rasch auf die Kanarischen Inseln. In der Gipfelregion des Vulkans Pico del Teide auf Teneriffa wächst ein Veilchengewächs, das nur hier auf den losen Geröllhalden zu finden ist. Das Teide-Veilchen, *Viola cheiranthifolia* mit wissenschaftlichem Namen, ist eine sogenannte endemische Art. Ihr Verbreitungsgebiet ist winzig, die Pflanze kommt auf keiner der anderen Inseln vor und auch auf Teneriffa nur im Gebiet des Vulkans. Sie gesellt sich zu Dutzenden von anderen Pflanzenarten, die nur von den Kanarischen Inseln bekannt sind. All diese Arten haben sich im Laufe der Evolution hier entwickelt, sie entstanden aus Vorfahren, die vor langer Zeit vom Festland her die Inseln besiedelten. Wegen der geografischen Isoliertheit gingen diese Ankömmlinge andere Wege der Evolution als ihre Vorläufer auf dem Festland.

Angenommen, der Vulkan auf Teneriffa bricht aus und ruft so gewaltige Eruptionen hervor, dass die gesamte Insel zerstört wird. Unweigerlich würde das Teide-Veilchen innerhalb von ein paar Stunden aussterben und mit ihm würden auch andere Arten von der Bildfläche verschwinden. Dass der Mensch all diese Arten in botanischen Gärten kultiviert und sie so vor dem Untergang bewahren würde, soll hier einmal außer Acht gelassen werden.

Ist eine Art sehr weit verbreitet, so wie der Elch, dann ist es unwahrscheinlich, dass sämtliche Individuen mit einem Schlag ausgelöscht würden. Vielmehr würde sich zuerst einmal ihr Verbreitungsgebiet verkleinern und gewisse Bestände lokal aussterben, und die Art würde immer seltener werden. Immer weniger Individuen würden vorhanden sein, bis schließlich eine Vermehrung nicht mehr möglich wäre und die Art zu existieren aufhörte.

Solche Vorgänge können durch Änderungen des Klimas hervorgerufen werden oder sonstige Verschlechterungen der Lebensbedingungen. Es gibt viele Möglichkeiten: sinkende oder steigende Meeresspiegel, die Entstehung von Gebirgen, das Abdriften der Kontinentalplatten, aber auch das Wechselspiel zwischen den Arten wie Konkurrenz um Nahrung. In der Erdgeschichte spielten langsame Aussterbeereignisse wahrscheinlich eine größere Rolle als plötzliche. Auch Massenaussterben zog sich über längere Zeiträume hin. Diese Überlegungen führen zur Frage, wie lange denn eine Art auf der Erde existiert.

Die Lebenserwartung einer Art

Jede Art, die ausgestorben ist, muss im Laufe der Erdgeschichte zuerst einmal entstanden sein. Führen evolutive Vorgänge zu einer neuen Art, wird es zunächst einmal nur wenige Individuen geben, die sich vermehren und ausbreiten. Nähert sich die Art dem Ende, wird umgekehrt ihre Anzahl Individuen abnehmen und ihr Verbreitungsgebiet schrumpfen. Eine Art durchläuft also verschiedene Phasen: einen Beginn, eine Blütezeit und ein Ende. Der Gedanke an Geburt und Tod kommt unweigerlich auf und damit die Frage, wie lange eine Art leben kann. Ziehen Elefanten und Giraffen auch noch in zehntausend oder hunderttausend Jahren umher?

Die Frage ist nicht leicht zu beantworten, weil die Fossilien kein vollständiges Bild über das vergangene Leben abgeben. Immerhin bewegen sich Paläontologen in Zeiträumen von Jahrmillionen. Wenn ein Blatt, ein Käfer oder eine Echse als Versteinerung die Äonen überdauert, hat das viel mit Zufall zu tun, mit der Beschaffenheit des Organismus und dem Lebensraum, wo er vorkam.

Dennoch haben Naturforscher in den letzten paar Jahrhunderten genügend Fossilien angehäuft, um Schätzungen zur Lebensspanne von Arten aufstellen zu können. Vereinfacht ausgedrückt ist dies die Zeitspanne vom ersten Auftreten eines bestimmten Organismus oder einer bestimmten Gruppe von Organismen bis zum letzten Fund in den jüngsten Gesteinsschichten. Dabei überrascht die eher kurze Dauer. Die Säugetierarten existieren 1 bis

2 Mio. Jahre lang, Seeigel und Seesterne etwa 6 Mio. Jahre und Muscheln der Erdneuzeit etwa 10 Mio. Jahre. Das ist nichts im Vergleich zur Zeitspanne des Lebens auf der Erde – 10 Mio. Jahre entsprechen gerade einmal 0,3 Prozent der 3,5 Mrd. seit Beginn des Lebens. Mit anderen Worten, die Evolution ist äußerst effizient im Produzieren neuer Arten, eine nach der anderen wird in die Welt gesetzt. In Kap. 11 hatte ich die 3,5 Mrd. Jahre auf ein Jahr verkürzt. Auf dieser Zeitskala würde eine Art durchschnittlich gerade einmal einen Tag bestehen.

Wegen der raschen Folge von Arten erkannte bereits der US-amerikanische Paläontologe David Raup die Bedeutung des Aussterbens für die Evolution. Raup galt als schillernde Figur, er verstarb im Juli 2015 im Alter von 82 Jahren. Er erhielt mehrere Auszeichnungen und war zweimal Gastprofessor an der Universität Tübingen. Raup hat nicht einfach Fossilien beschrieben, sondern nach Mustern gesucht und Fragen gestellt. Er versuchte zu verstehen, warum es im Laufe der Erdgeschichte mehrere Schübe von Massenaussterben gab. Und er wies darauf hin, dass dieses Thema in der Evolutionsforschung und Ökologie zu wenig Beachtung findet. In einem Fachartikel schrieb er [1, S. 6758, Übersetzung des Autors]: „Wenn Evolutionsbiologen das Aussterben ignorieren, ist das so tollkühn wie wenn Demographen die Sterblichkeit ignorieren.“ In der Tat, die heutige Artenvielfalt ist letztlich der momentane Bestand an Arten, die sich aus den beiden gegenläufigen Prozessen Artbildung und Aussterben ergeben.

Die Big Five und das Hintergrundrauschen

Die vielen Versteinerungen, die Forscher in den letzten zweihundert Jahren angehäuft haben, erlauben auch die Berechnung einer durchschnittlichen Aussterberate während der Erdgeschichte. Die meisten Paläontologen sprechen von ein bis zwei Arten pro 10.000 Arten und 100 Jahren. Ein schwierig zu verstehendes Maß, das sich so umschreiben lässt: Innerhalb von 100 Jahren sterben von 10.000 Arten ein bis zwei Arten aus. Diese Zahl gilt als natürliche Aussterberate, als das Hintergrundrauschen und als Referenz, mit der die heutigen Aussterberaten verglichen werden können.

Die Massenaussterbeereignisse fallen aus dem Rahmen und zeichnen sich durch ungleich höhere Aussterberaten aus. Geologen und Paläontologen sprechen von fünf besonders starken Ereignissen, die im Fossilienbefund herausstechen. Das bekannteste Ereignis ist das Aussterben am Ende der Kreidezeit, das zum Untergang der Dinosaurier geführt hatte. Jedes dieser Ereignisse hat das Bild der folgenden Biosphäre von Grund auf verändert (Tab. 19.1). Wenn eines der vergangenen Massenaussterben nicht stattgefunden hätte – die Lebenswelt würde heute ganz anders aussehen!

Die fünf großen und gut dokumentierten Massenaussterben fanden alle im November und Dezember auf unserer zu einem Jahr verkürzten Erdgeschichte statt.

Die Tabelle zeigt die dramatischen Rückgänge der Artenvielfalt als Folge der Ereignisse – oder besser gesagt, während der Ereignisse. Ein Massenaussterben erfolgte

Tab. 19.1 Die fünf wichtigsten Massenaussterben der letzten 500 Mio. Jahre und ihre möglichen Ursachen. (Nach [7])

Ungefähre Zeit	Geschätzter Artenverlust	Mögliche Ursachen
Vor 66 Mio. Jahren	57–83 %, hauptsächlich Tiere	Meteoriteneinschlag, starker Vulkanismus, Rückgang des Meeresspiegels
Vor 220 Mio. Jahren	70–88 % aller Arten	Starker Vulkanismus, Rückgang des Meeresspiegels
Vor 252 Mio. Jahren	93–97 % aller Arten	Globale Erwärmung, starker Vulkanismus, Sauerstoffmangel im Meer
Vor 380 Mio. Jahren	70–88 % aller Arten	Globale Abkühlung, Anstieg des Meeresspiegels, Vulkanismus
Vor 445 Mio. Jahren	77–91 % aller Arten	Kontinentale Vereisung, Rückgang des Meeresspiegels, danach rapider Temperaturanstieg

wohl in keinem der Fälle plötzlich, sondern es handelte sich immer um einen Rückgang der Artenvielfalt während Hunderttausenden oder gar Millionen von Jahren. Das Massenaussterben vor etwa 252 Mio. Jahren hat sich nach Meinung der Experten über einen Zeitraum von 5 Mio. Jahren hingezogen. Auch der Meteoriteneinschlag

vor 66 Mio. Jahren fand wohl eher während eines bereits begonnenen Aussterbens statt. Die Fachwelt ist sich einig, dass die Dinosaurier wegen einer Verschlechterung der Lebensräume schon vor dem Einschlag auszusterben begannen. Der Meteorit bewirkte aber zweifelsohne eine andere Richtung der Entwicklung in der Zeit danach. Übrigens kennen Geologen 182 Einschlagstellen, einstige Krater, die wohl von größeren Meteoriten stammen. Der jüngste Brocken fiel vor etwa 50.000 Jahren vom Himmel. Heute können Touristen dieses Einschlagloch als Barringer-Krater im US-Bundesstaat Arizona bewundern.

Das heutige Aussterben

Man spricht viel von Artenschwund heutzutage, sogar von einem sechsten Massenaussterben. Eine Verarmung der Natur lässt sich überall beobachten. Pflanzen und Tiere, die einst häufig waren, sieht man kaum noch. In meiner Kindheit fuhren wir öfters ins Elsass und kamen an Wiesen voller Knabenkräuter oder Osterglocken vorbei. Die Schmetterlings- und Vogelvielfalt war früher ebenfalls viel ausgeprägter als heute. Diese Zeiten sind vorbei. Viele Arten werden selten, und weltweit stirbt eine Art nach der anderen aus.

Im Folgenden geht es um Aussterbeereignisse in historischer Zeit und um solche, die der Mensch verursacht hat. Viele Arten sind seit 1500 global ausgestorben – so wie der Riesenalk.

Der Riesenalk war ein stattlicher, aber flugunfähiger Seevogel, etwa so groß wie ein Pinguin. Kennzeichen

waren der weiß gefärbte Bauch und die schwarzen Stummelflügel. Mit dem kräftigen Schnabel konnte er leicht Fische fangen, sein Lebensraum waren die Inseln des Nordatlantik. Dank der Schwimmhäute an seinen Füßen war er ein ausgezeichneter Schwimmer und Taucher. An Land watschelte er eher ungeschickt über die Steine. Riesenalke bauten keine Nester. Das Weibchen legte in einem Jahr nur ein Ei – und das direkt auf den Boden.

Das Aussterben des Riesenalks (*Alca impennis*) ist eine traurige Geschichte. Seine Ungeschicktheit auf dem Land und seine Zahmheit wurden ihm zum Verhängnis, denn er wurde zu Tode gejagt. Mit dem Beginn des 18. Jahrhunderts wurden die Vogelbestände buchstäblich bis zum letzten Tier vernichtet. Matrosen plünderten die Brutplätze, um Fleisch zu bekommen, die Jungvögel wurden wegen ihres Daunengefieders eingesammelt. Auf Island wurden Steinmauern errichtet, kleine Pferche, in die die Vögel gebracht wurden, um sie dann zu erschlagen.

Der letzte bekannte Brutplatz des Riesenalks war die winzige Insel Eldey bei Island, wo die Vögel auf den sturmbrausten Klippen unmittelbar an der Küste lebten. Doch vor den Menschen waren sie auch dort nicht sicher. Am Morgen des 3. Juni 1844 wurden hier die beiden letzten brütenden Vögel getötet.

Der Riesenalk steht stellvertretend für viele andere Arten, die ab dem 15. Jahrhundert ausgestorben sind und deren Aussterben belegt ist. Der australische Zoologe und Sachbuchautor Tim Flannery und der Zeichner Peter Schouten porträtieren in ihrem Bildband über hundert Tierarten, die in historischer Zeit weltweit ausgestorben sind, von Stellers Seekuh bis zu farbenprächtigen Vögeln.

Auch Pflanzenarten hat der Mensch ausgerottet, etwa die Pyramiden-Spiralpalme (*Pandanus pyramidalis*). Der Baum wuchs ausschließlich auf der Insel Mauritius, doch die Zerstörung des Lebensraumes besiegelte den Untergang der Art. Das letzte Exemplar ging 1996 wegen einer Pflanzenkrankheit ein.

Haben wir ein sechstes Massenaussterben?

Biologen haben die historischen Daten zum globalen Aussterben von Arten eingehend analysiert. Der Vergleich mit der natürlichen Aussterberate drängt sich geradezu auf. Die wichtigste Datengrundlage dazu sind globale Rote Listen, wie sie die Weltnaturschutzunion („International Union for Conservation of Nature“, IUCN) regelmäßig veröffentlicht. Eine Datenbank dazu kann von jedermann abgerufen werden. Neben den Gründen der Bedrohung können darin Daten zur Lebensweise und Verbreitung der Arten eingesehen werden. Die Informationen für die Roten Listen stammen von einem weltweiten Netz von Expertinnen und Experten, die ins Gelände gehen und die Vorkommen der Arten anhand einheitlicher Protokolle beurteilen. Sind die Bestände seit der letzten Erhebung zurückgegangen, wie viele Individuen werden gesichtet? Eine mühsame Kleinarbeit, und daher ist es nicht erstaunlich, dass längst nicht alle Arten von der IUCN analysiert wurden (Tab. 19.2). Der jetzige Stand liegt bei etwa 79.000 Arten, das sind etwa 4 Prozent aller bekannter Arten!

Tab. 19.2 Die Gefährdungskategorien der globalen Roten Listen der IUCN und die Anzahl von Arten für jede Kategorie

Kategorie	Bedeutung	Anzahl Arten (Stand 2017)
EX	<i>Extinct</i> . Weltweit ausgestorben. Die Art wird weder in botanischen noch in zoologischen Gärten oder anderen Institutionen erhalten	860
EW	<i>Extinct in the Wild</i> . Weltweit ausgestorben in freier Wildbahn. Die Art wird in botanischen oder zoologischen Gärten oder anderen Institutionen erhalten	68
CR	<i>Critically Endangered</i> . Vom Aussterben bedroht. Es besteht ein extrem hohes Risiko, dass die Art in freier Wildbahn ausstirbt	5210
EN	<i>Endangered</i> . Stark gefährdet. Es besteht ein sehr hohes Risiko, dass die Art in freier Wildbahn ausstirbt	7781
VU	<i>Vulnerable</i> . Verletzlich. Es besteht ein hohes Risiko, dass die Art in freier Wildbahn ausstirbt	11.316
NT	<i>Near Threatened</i> . Die Art ist potenziell gefährdet	5736
LC	<i>Least Concern</i> . Die Art ist zurzeit nicht gefährdet	40.920
DD	<i>Data Deficient</i> . Es liegen ungenügend Daten vor, um eine Bewertung vornehmen zu können	

Die globalen Roten Listen werden nun seit etwa fünfzig Jahren auf dem neuesten Stand gehalten. Was ausgestorbene Arten anbelangt, werden nur Arten berücksichtigt,

die in historischer Zeit, also ab dem Jahr 1500, ausgestorben sind. Arten, die in prähistorischer Zeit ausgestorben sind, werden in die Listen nicht aufgenommen.

Die Aussterberaten in historischer Zeit liegen tatsächlich beträchtlich über der natürlichen Aussterberate, wie ein internationales Team von Wissenschaftlern aufgrund der Roten Listen herausgefunden hat. Wichtiger ist der Trend. Die Daten verzeichnen eine deutliche Zunahme der Anzahl ausgestorbener Arten seit etwa 1800; das fällt mit dem Beginn des Industriezeitalters zusammen (Abb. 19.1).

Dennoch kann zurzeit von einem sechsten Massenaussterben keine Rede sein. Die bisher in historischer Zeit ausgestorbenen Arten machen einen geringen Anteil aus, der sich im Bereich einiger weniger Prozente bewegt. In

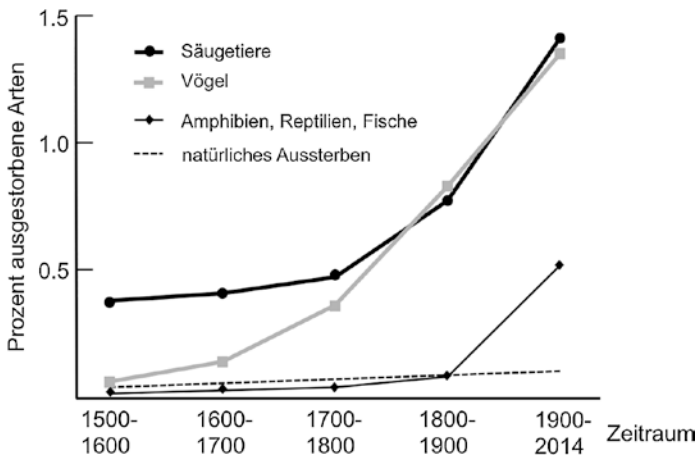


Abb. 19.1 Zeitliche Entwicklung des globalen Aussterbens für Wirbeltiere seit 1500. Die Grafik zeigt den Prozentsatz ausgestorbener Arten zu verschiedenen Zeitpunkten. (Nach [2])

den Massenaussterben der Erdgeschichte aber verzeichnen die Forscher einen Artenrückgang von 57 bis 97 Prozent. Es müssten also noch sehr viele Arten aussterben, um auf dieselbe Größenordnung zu kommen.

Diese Erklärungen sind freilich keine Entwarnung oder Verharmlosung des heutigen Artenschwundes, und dies aus mehreren Gründen. Zunächst ist der Wissensstand über den Grad der Gefährdung und den Anteil ausgestorbener Arten in Bezug auf Tiergruppen wie Insekten oder Krebstieren dürftig. In Wirklichkeit dürften also wesentlich mehr Arten verschwunden sein. Zudem steht den ausgestorbenen Arten bei allen Tiergruppen und bei den Pflanzen eine hohe Anzahl gefährdeter Arten gegenüber. Dies sind Arten, die so selten geworden sind, dass sie die Kandidaten für die nächsten Aussterbeereignisse darstellen (Tab. 19.3). Das durch den Menschen verursachte

Tab. 19.3 Einige Daten aus den globalen Roten Listen der IUCN zum Gefährdungsgrad und zur Anzahl ausgestorbener Arten

Organismen- gruppe	Anzahl bekannte Arten	Evaluiert (%)	Anzahl gefährdete Arten	Anzahl weltweit ausgestor- bene Arten
Säugetiere	5536	100	1208	85
Vögel	10.424	100	1375	161
Reptilien	10.450	49,3	989	29
Amphibien	7538	86,6	2063	35
Fische	33.300	45,9	2343	70
Insekten	1000.000	0,6	1156	59
Weichtiere	85.000	8,5	1967	311
Krebstiere	47.000	6,7	729	12
Blütenpflanzen	268.000	7,6	10.875	132

Artensterben ist daher eine ernst zu nehmende Entwicklung, die durchaus zu einem sechsten Massenaussterben führen kann, sollte der Trend anhalten. Gegenüber der natürlichen Aussterberate sind die heutigen Aussterberaten beträchtlich höher. Mit etwas kniffliger Zahlenspielerlei liefern die Daten aus der Tabelle eine Aussterberate, die über tausendmal höher ist als das Hintergrundrauschen, wie es die Paläontologen errechnet haben. Laut des Berichts „Millenium Ecosystem Assessment“ wird die Aussterberate künftig bis zu zehnmal höher ausfallen als die momentane Aussterberate. Und jede verlorene Art führt zu Veränderungen im Artengefüge der übrig bleibenden Arten.

Literatur

1. Raup DM (1994a) The role of extinction in evolution. Proceedings of the National Academy of Sciences USA 91, 6758–6763

Weiterführende Literatur

2. Boenigk J, Wodniok S (2014) Biodiversität und Erdgeschichte. Springer Spektrum, Berlin
3. Ceballos G, Ehrlich PR, Barnosky AD, Garcia A, Pringle RM, Palmer TM (2015) Accelerated modern human-induced species losses. Entering the sixth mass extinction. Science-Advances 1:e1400253
4. Flannery T, Schouten P (2001) A gap in nature. Discovering the world's extinct animals. Atlantic Monthly Press, New York

5. Raup DM (1994b) Ausgestorben. Zufall oder Vorsehung? Egmont Verlagsgesellschaften, Köln
6. Red List (2016) The IUCN Red list of threatened species. <http://www.iucnredlist.org>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
7. Kolbert E, Bischoff U (2015) Das sechste Sterben: Wie der Mensch Naturgeschichte schreibt. Suhrkamp, Berlin
8. MacLeod N (2016) Arten sterben. Wendepunkte der Evolution. Theiss Verlag, Darmstadt
9. Millennium Ecosystem Assessment (2005) Ecosystems and human well-being: Synthesis. Island Press, Washington
10. Ward P, Kirschvink J (2016) Eine neue Geschichte des Lebens: Wie Katastrophen den Lauf der Evolution bestimmt haben. Deutsche Verlags-Anstalt, München
11. Wilson EO (2002) Die Zukunft des Lebens. Siedler, Berlin

Teil VI

**Wie können wir
Biodiversität retten?**

20

Die Wahrnehmung fördern

Der Tierfilmer und Publizist Heinz Sielmann (1917–2006) sagte einmal [1]:

Unser Ziel muss es sein, Rückzugsorte für die Natur zu erhalten, zugleich aber auch das Naturerleben zu fördern. Naturschutz und Naturerleben müssen sich nicht ausschließen – im Gegenteil: Sie können sich gegenseitig fördern! Denn nur, was wir kennen und lieben, sind wir bereit zu schützen.

Biodiversität zu vermitteln und zu erfahren, ist nicht einfach. In Kap. 1 habe ich von den Schwierigkeiten gesprochen, diesen abstrakten Begriff zu verstehen. Hier soll es nun um den Kenntnisstand des Themas „Biodiversität“ in unserer Gesellschaft gehen, um die Frage, wie das Thema wahrgenommen wird und welche Bedeutung wir ihm

beimessen. Was einen guten Kenntnisstand in Sachen Biodiversität ausmacht, ist nicht leicht zu beschreiben. Zählt eine gute Artenkenntnis der Vögel oder Pflanzen dazu oder eine gute Vorstellung von der Artenvielfalt auf der Erde oder in unserem Land? Ich möchte einige Ergebnisse von Umfragen vorstellen, die in den letzten zehn bis zwanzig Jahren durchgeführt wurden und Einblicke in die Wahrnehmung und den Wissensstand von Biodiversität in unserer Gesellschaft erlauben.

Die bisherigen Kapitel haben gezeigt, dass Biodiversität eine komplexe Angelegenheit ist, die weit über bloße Vielfalt an Blumen oder Schmetterlingen hinausgeht. Damit Biodiversität dauerhaft erhalten werden kann, benötigt man Kenntnisse über die Vorgänge und Zusammenhänge in der Natur, die in eine Bereitschaft zum Naturschutz münden.

Schätzen Sie einmal die Anzahl der Arten!

Sie können gleich die Probe aufs Exempel machen: Wie viele Pflanzenarten gibt es in der Schweiz und weltweit? Das fragte Petra Lindemann-Matthies von der Pädagogischen Hochschule Karlsruhe. Sie und ihre Mitarbeiterin führten vor einigen Jahren eine Umfrage in Zürich durch, um den Wissensstand über Biodiversität in der Bevölkerung zu ergründen. Ein kleiner Tipp: Die weltweite Anzahl von Pflanzenarten können Sie in einem früheren Kapitel nachsehen.

Die richtigen Antworten lauten: In der Schweiz gibt es etwa 3000 und weltweit etwa 300.000 Arten. Die Bandbreite der Antworten ist schon überraschend. Die Befragten schätzten die Anzahl der Pflanzenarten für die Schweiz zwischen 100 und 4 Mrd., die weltweite Anzahl zwischen 200 und 1000 Bio. Die Antworten klaffen ziemlich weit auseinander und erinnern an eine Übung von John Dunning, einem amerikanischen Professor der Purdue University. Er fragte die Studenten jeweils zu Beginn seiner Vorlesungen nach der Größe der momentanen Weltbevölkerung. Auch hier erstaunt das Spektrum der Antworten; es reicht von 5 Mio. bis 9 Bio. Eine Billion sind tausend Milliarden. Die Weltbevölkerung beträgt zurzeit etwa 7 Mrd. Menschen. Warum liegen die Schätzungen soweit auseinander?

Das Problem sind die großen Zahlen. Niemand kann sich astronomische Zahlen bildhaft vorstellen, sie sind schlicht nicht fassbar. Hier sind die Pädagogen gefragt, Mittel und Wege zu finden, Menschen mit großen Zahlen vertraut zu machen. Das sei für den Naturschutz unerlässlich, so John Dunning. Es fehle ein Gefühl dafür, was die Größe der Weltbevölkerung oder der globalen Artenvielfalt bedeute und deren Zu- oder Abnahme. „Das ist ein ernstes Hindernis für das Vermitteln von Naturschutz“, so Dunning. Wie solle man jemanden überzeugen, dass ein Artenverlust von Tausenden von Arten etwas Schlimmes sei? Zahlenprobleme gibt es auch in anderen Bereichen wie der unvorstellbaren Menge an Kohlendioxid, die wir Menschen jedes Jahr durch Verbrennen fossiler Energieträger freisetzen. Umgekehrt gilt dies auch bei den

sehr kleinen Zahlen. Was bedeutet schon der Gehalt von 0,04 Prozent Kohlendioxid in der Luft?

Mit Artenkenntnis fängt es an

Der unmittelbarste Zugang zu Biodiversität ist sicher das Erkennen und Wahrnehmen von Arten, seien es Pflanzen, Vögel oder Säugetiere auf Wald und Wiese. Wie gut kennen Schüler Fauna und Flora ihrer Umgebung?

Anne Bebbington, britische Biologin, führte in England in den Jahren 2003 und 2004 mit Gymnasiasten einen Test zur Artenkenntnis durch. Die Schülerinnen und Schüler bekamen ein Blatt mit Farbzeichnungen von zehn häufigen Blumen vorgelegt, wie Schlüsselblume, Fingerhut oder Veilchen. Sie sollten so viele Blumen benennen, wie sie wussten. Einfache Bezeichnungen wie Veilchen genügten bereits; eine genaue Unterscheidung zwischen verschiedenen Veilchenarten war gar nicht nötig. Auch die Lehrer waren herzlich eingeladen, sich am Test zu beteiligen. Noten gab es keine, was die Schüler sicher begrüßten.

Die Ergebnisse fielen ernüchternd aus, wenn auch nicht unerwartet. Die meisten Schüler konnten ein bis drei Pflanzen benennen. Nur ganz wenige wussten die Namen aller zehn Arten. Bei den Lehrern sah das Bild zum Glück etwas besser aus: Ein Zehntel vermochte immerhin alle Pflanzenarten zu benennen, die meisten zwischen drei und neun Arten. Bebbington sah in den Ergebnissen die Bestätigung für einen allgemeinen Trend: schwindende Artenkenntnis als Folge eines schwindenden Interesses an der

Natur. Sie unterhielt sich mit den Schülern und schreibt in ihrem Artikel [2, S. 64]:

Ich habe den Eindruck, die Fähigkeit für Artenkenntnis ist den Schülern unwichtig, sie haben auch kein Interesse daran, sich solche Kenntnisse anzueignen. Das Benennen von Arten sei etwas für Spezialisten.

Mangelndes Wissen über die Natur, die uns umgibt, ist in der westlichen Welt sicher weit verbreitet. Unsere Kinder wissen über Autos und die neueste Mode besser Bescheid als über die Lebewesen um uns herum. Das Phänomen ist keinesfalls neu. Der deutsche Zoologe und Hochschullehrer Konrad Guenther (1874–1955) schrieb in seinem Buch *Der Naturschutz* aus dem Jahre 1910 mit spitzer Zunge [3, S. 9–10]:

Die geradezu grenzenlose Unwissenheit über die gewöhnlichsten Tiere, Pflanzen und Lebenserscheinungen, die besonders unter den Damen herrscht, wäre lächerlich, wenn sie nicht zugleich so ärgerlich wäre.

Guenther bemühte sich um Besserung und war einer der ersten Professoren, der mit seinen Studenten auf Exkursionen ging und im Gelände Biologie vermittelte – inmitten des Geschehens und mit Unterrichtsmaterial in Griffnähe.

Wie steht es mit der Artenkenntnis in anderen Ländern, besonders auch in Entwicklungs- und Schwellenländern? Jules Pretty und ihre Kollegen prüfte das ökologische Wissen in drei verschiedenen Ländern: Indonesien, Indien und England. Absichtlich wählten sie drei vollkommen verschiedene Nationen im Hinblick auf Geschichte, Kultur und Entwicklungsstand. Das britische Team wollte

nämlich die Hypothese testen, dass Menschen in sogenannten Entwicklungsländern besser über die Natur Bescheid wissen als Menschen der hoch entwickelten Industrienationen. Der Grund sei, dass Menschen in Ländern mit einem geringeren Lebensstandard im Vergleich zu westlichen Ländern sehr viel mehr auf Wildpflanzen und Wildtiere zurückgreifen müssen, um ihre Bedürfnisse an Nahrung, Baustoffe und andere Produkte decken zu können. Das Wissen über brauchbare Pflanzen sei in solchen Gesellschaften somit ungleich besser als in unserer modernen Zivilisation.

Die Forscher führten Befragungen durch, bei denen die Befragten Pflanzen auf Fotos benennen sollten. Die ausgewählten Pflanzenarten waren für jedes Land typische und häufige Arten.

Die Ergebnisse erstaunen und zeichnen ein klares Bild. England schneidet am schlechtesten ab, Indonesien am besten. Die Daten ergeben einen Zusammenhang zwischen der Artenkenntnis und dem Entwicklungsgrad der drei Länder. Für die Autoren der Studie ist klar, dass ökologisches Wissen mit zunehmendem Wirtschaftswachstum und Wohlstand verloren geht. In Indien und Indonesien seien die Menschen auf Naturprodukte und auf das Sammeln von Wildpflanzen angewiesen und hätten daher eine viel bessere Artenkenntnis.

Als Ursachen für den Verlust von Artenkenntnis in Industrienationen gelten laut Experten die zunehmende Verstädterung, der zunehmende Verlust von wilder Natur um uns herum und die Tatsache, dass Kinder viel zu wenig draußen in der Natur spielen (Abb. 20.1). Zudem werden in der Schule zu wenige naturkundliche Themen



Abb. 20.1 Neugier wecken und Wahrnehmung fördern, das sind die besten Voraussetzungen für ein Verständnis der Biodiversität. (© Brian Jackson/stock.adobe.com)

unterrichtet, und es findet zu wenig Unterricht im Freien statt.

Was bedeutet das für uns? Um zu überleben, benötigen wir keine Artenkenntnis, wir gehen in den Supermarkt und bekommen alles, was wir brauchen. Aber um die ökologischen Zusammenhänge und die Veränderungen in der Natur zu erkennen und zu verstehen, sollten wir bessere ökologische Kenntnisse haben. Nur, was wir kennen und wertschätzen, empfinden wir als wertvoll und machen uns über einen Verlust Sorgen.

Die schweizerische Naturschutzorganisation Pro Natura hat 1995 einen interessanten Ansatz entwickelt, das Unterrichtsprogramm „Natur auf dem Schulweg“. Etwa 14.000 Schüler im Alter von acht bis sechzehn Jahren und ihre

Lehrer nahmen daran teil. Die Kinder waren angehalten, ihre Umgebung genau zu beobachten. Sie führten Naturtagebücher, in denen sie Beobachtungen zu Pflanzen und Tieren auf dem Schulweg festhielten. „Mein Tier ist eine Kellerassel. Sie hat 2 Füßer. Sie hat so Rilen im Bauch“, notierte ein Kind. Die Kinder fertigten Zeichnungen an, sie bestimmten Arten und untersuchten die Pflanzen und Tiere. Ein viermonatiges Intensivprogramm, das aber sowohl den Lehrkräften als auch den Schülern viel Spaß gemacht hat. Mehr noch, das Programm wirkte sich positiv auf das Wissen über einheimische Arten aus und steigerte das Interesse an ihnen.

Mehr Naturkunde und Naturerfahrung für jedermann

Was müssen Schüler heute im Biologieunterricht nicht alles lernen! Komplizierte biochemische Stoffwechselvorgänge oder ebenso komplizierte Genetik. Wenn ich an meine Schulzeit zurückdenke – wir hatten einen ausgezeichneten Biologielehrer, der oft mit uns nach draußen ging und uns die Lebensweise von Pflanzen und Tieren erklärte.

Bekommen die Themen Ökologie und Biodiversität im heutigen Schulunterricht überhaupt genügend Raum? Lindemann-Matthies meint ja, sieht aber ein anderes Problem: „Lehrkräfte können nur vermitteln, was sie selbst kennen und oft wissen sie nicht, was genau sie vermitteln sollen.“ Die Lehramtsausbildung sei zu verbessern, so die Professorin. Tatsächlich bescheinigt eine ihrer neuesten Untersuchungen deutschen Biologielehrern eine eher dürftige Artenkenntnis; die Lehrenden würden aber laut der Umfrage entsprechende Fortbildungsangebote begrüßen.

Wie auch immer, es sollte wieder mehr klassische Naturkunde in der Schule unterrichtet werden, meines Erachtens braucht es sogar ein Schulfach namens „Ökologie und Naturschutz“.

Aber nicht nur in den Schulen sollte es Bemühungen geben, der wachsenden Naturentfremdung entgegenzuwirken. Es ist schon interessant, dass in einer Umfrage aus dem Jahr 2010 zum Umweltbewusstsein Deutschlands 46 Prozent der Befragten es als sehr wichtig erachten, „das Aussterben von Tieren und Pflanzen zu verhindern“. Doch lediglich 9 Prozent engagieren sich laut dieser Umfrage aktiv für den Umwelt- und Naturschutz, etwa durch ehrenamtliche Tätigkeiten oder Beteiligung an einzelnen Aktivitäten und Projekten.

In der Fachliteratur zirkuliert der Begriff „Aussterben der Erfahrung“, und die Experten meinen damit die zunehmende Entfernung des Menschen von der Natur. Das kann durchaus wörtlich genommen werden, denn heute lebt fast die Hälfte der Weltbevölkerung in Städten und ihren Randgebieten. Da ist nicht viel Natur vorhanden, höchstens eine degradierte. Wildnis ist weit weg. Den Bewohnern fehle ein direkter Bezug zu intakter Natur, so der Tenor vieler Umweltforscher. Umweltpsychologen wie Peter Kahn sehen darin einen der wichtigsten Gründe für die Naturentfremdung: Wenn Kinder in einer unnatürlichen Umgebung aufwachsen, nehmen sie diese als normalen Zustand wahr, als Referenz, und messen künftige Entwicklungen daran. Mit anderen Worten, die Umwelt und die Qualität der Natur der Kindertage wird zur Basis. Wenn Kinder gar nicht mehr wissen, wie echte und unverfälschte Natur aussieht – wie sollen sie später den Biodiversitätsverlust wahrnehmen?

Daher sei es so wichtig, möglichst viel naturnahes Grün in die Städte zu bringen, keine bepflanzten Parkanlagen, sondern ungepflegte und wilde Natur, wo das Unkraut wuchern darf. Das bietet auch etlichen einheimischen Pflanzen und Tieren Lebensraum und viele Entdeckungsmöglichkeiten für spielende Kinder. Diesbezüglich hat ein Gesinnungswandel stattgefunden. Es gibt viele Bestrebungen, in Städten naturnahe Lebensräume einzurichten, Wildblumen zu säen oder Nistkästen für Vögel aufzustellen.

Es ist zudem auch ein viel größeres Engagement in der Wissensvermittlung für die breite Öffentlichkeit nötig. Zwar werden naturkundliche Exkursionen und Vorträge angeboten, zahlreiche Naturzentren und Ausstellungen vermitteln ökologische Kenntnisse. Aber vor allem bei der jüngeren Generation scheint nicht viel Interesse vorhanden zu sein. So schreibt Bundesumweltministerin Barbara Hendricks zur Umweltbewusstseinsstudie 2014 [4, S. 7]:

Besorgniserregend ist, dass besonders viele junge Menschen dem Verhaltenstyp der „Umweltpassiven“ zuzuordnen sind. Diese Menschen fühlen sich teilweise benachteiligt und haben mit eigenen Problemen zu kämpfen. Die Befragten haben, so die Studie, das Gefühl, ohnehin keinen eigenen Beitrag für die Zukunft unserer Umwelt leisten zu können. Wenn insbesondere junge Menschen sich von den großen Herausforderungen unserer Zeit abwenden und nicht mehr daran glauben, gesellschaftliche Probleme überwinden zu können, dann ist dies ein Warnsignal für die ganze Gesellschaft.

Das gilt nicht nur für den Klimawandel und den allgemeinen Zustand der Umwelt, die im Fokus der Studie standen, sondern auch für die Biodiversität.

Literatur

1. Naturkunde-Museum Erfurt. <http://www.naturkundemuseum-erfurt.de/ueber-uns/auszeichnungen/>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
2. Bebbington A (2005) The ability of A-level students to name plants. *J. Biol. Educ.* 39:63–67
3. Guenther K (1910) *Der Naturschutz*. Fehlenfeld, Freiburg i. Br
4. BMUB (2014) *Umweltbewusstsein in Deutschland 2014. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Referat Öffentlichkeitsarbeit, Berlin. <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltbewusstsein-in-deutschland-2014>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017

Weiterführende Literatur

5. Borgstedt S, Christ T, Reusswig F (2010) *Umweltbewusstsein in Deutschland 2010. Ergebnisse einer repräsentativen Bevölkerungsumfrage*. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Berlin, und Umweltbundesamt (UBA), Dessau-Roßlau
6. Cardinale BJ, Duffy E, Gonzalez A, Hooper DU, Perrings C, Venail P, Narwani A, Mace GM, Tilman D, Wardle DA, Kinzig AP, Daily GC, Loreau M, Grace JB, Larigauderie A, Srivastava DS, Naeem S (2012) Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature* 486:59–68
7. Dunning JB (1997) The missing awareness, part 2: Teaching students what a billion people looks like. *Conserv Biol* 11:6–10

8. Kahn PH, Hasbach PH (2013) The rediscovery of the wild. MIT University Press, Cambridge
9. Lindemann-Matthies P (2002) The influence of an educational program on children's perception of biodiversity. *J Environ Edu* 33:22–31
10. Lindemann-Matthies P (2002) Vielfalt am Schulweg. Biodiversität im Siedlungsraum entdecken. Hotspot 8, 14. http://www.sib.admin.ch/fileadmin/_migrated/content_uploads/8_03_d.pdf. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
11. Lindemann-Matthies P, Bose E (2008) How many species are there? Public understanding and awareness of biodiversity in Switzerland. *Hum Ecol* 36:731–742
12. Lindemann-Matthies P, Remmele M, Yli-Panula E (2017) Professional competence of student teachers to implement species identification in schools – a case study from Germany. *CEPS Journal* 7:29–47
13. Miller JR (2005) Biodiversity conservation and the extinction of experience. *Trends Ecol Evol* 20:430–434
14. Pilgrim SE, Cullen LC, Smith DJ, Pretty J (2008) Ecological knowledge is lost in wealthier communities and countries. *Environ Sci Technol* 42:1004–1009

21

Artenschutz, Lebensraumschutz

In Kap. 10 sprach ich von den ökologischen Beziehungen zwischen den Arten. Angesichts der komplexen Verzahnung aller Arten wird klar, dass einzelne Arten nur erhalten werden können, wenn ihre angestammten Lebensräume mit all den anderen Arten intakt bleiben. Artenschutz ist Lebensraumschutz. Blicken Hochmoore, Feuchtwiesen, Magerrasen oder Auenwälder einer sicheren Zukunft entgegen, erhält sich die Biodiversität in ihnen von ganz alleine. Allerdings nur, wenn diese Lebensräume so groß sind, dass auch die Populationen der Arten langfristig bestehen können.

Angesichts einer stets anwachsenden Weltbevölkerung und dem damit verbundenen Ressourcenverbrauch wird klar, dass Degradierung und Zerstörung natürlicher Lebensräume weiterhin anhalten. Die Herausforderungen für den Naturschutz sind somit enorm, national wie

international. Vereinfacht ausgedrückt, lassen sich vier Bereiche für den Erhalt und die Förderung von Biodiversität aufzählen: Arterhaltung *ex situ*, Erhaltung wertvoller Lebensräume, Wiederansiedlung von Arten und Wiederherstellung beeinträchtigter oder zerstörter Lebensräume, auch Renaturierung genannt. Die vielfältigen Aktivitäten, die dahinterstecken, machen klar, dass Naturschutz mit Schutz im eigentlichen Sinne des Wortes wenig zu tun hat. Heute müsste man von Naturmanagement reden, denn abgesehen von Totalreservaten bedarf Naturschutz des ständigen Eingriffs durch den Menschen. Das zeigt sich besonders drastisch beim Wiederherstellen verlorener Natur, wenn schweres Gerät zum Einsatz kommt und ein Renaturierungsprogramm zunächst einmal einer Baustelle gleicht.

Pflanzen und Tiere im Schaufenster

Die Becherglocke (*Adenophora liliifolia*) ist eine stattliche Staude von 1 bis 2 Metern Höhe und trägt im Sommer zahlreiche blassblaue bis lila Blüten. Kaum zu glauben, dass dieses Glockenblumengewächs vom Aussterben bedroht ist. In Deutschland wächst die Pflanze nur an der unteren Isar in Bayern. Einst war sie sicher weiter verbreitet, heute steht sie auf der Roten Liste und wird zusammen mit vielen weiteren Pflanzenarten in Erhaltungskulturen gepflegt und vermehrt.

Das ist *ex situ* Arterhaltung, was so viel wie „Kultivieren außerhalb des Wuchsortes“ bedeutet. Viele seltene und bedrohte Pflanzenarten werden in botanischen Gärten und anderen Institutionen wie Fachhochschulen, Gärtnereien

und Baumschulen in eigens eingerichteten Beeten am Leben erhalten; in Deutschland sind es insgesamt etwa sechshundert einheimische Pflanzenarten. Das entspricht einem Fünftel aller Blüten- und Farnpflanzen der heimischen Flora.

Erhaltungskulturen sind auf der ganzen Welt verstreut und oft die einzige Möglichkeit, eine Pflanzenart vor dem Aussterben zu retten. Sie bergen allerdings eine Gefahr, die erst in den letzten paar Jahren erkannt und genauer untersucht wurde. Im Beet einer Erhaltungskultur stehen meist nur wenige Pflanzen. Die Samen oder Wurzelstücke stammen zwar ursprünglich von einem Wildstandort, doch die Pflanzen werden im Garten vermehrt, jahrzehntelang. Das hat zweierlei Folgen: Zum einen ist die genetische Vielfalt der Pflanzen in Erhaltungskulturen gering, zum anderen wachsen die Pflanzen nicht so, wie sie es in der Natur tun würden. Die Gärtner sorgen dafür, dass es ihnen an nichts fehlt, sie düngen und gießen die Pflanzen, halten sie von Schädlingen und Unkraut frei. Klar, dass die Pflanzen sich optimal entwickeln sollten, vor allem wenn sie bedrohte Arten darstellen. Möglicherweise geschieht hier aber unbeabsichtigt eine Selektion. Eine Studie der Universität Marburg hat gezeigt, dass sich Pflanzen der Gewöhnlichen Hundszone in botanischen Gärten von Wildpflanzen derselben Art genetisch unterscheiden. So keimen die Samen der Pflanzen in Erhaltungskulturen rascher als bei Wildpflanzen. In der Natur ist das möglicherweise ein Nachteil, wenn in einem ungünstigen Jahr alle Samen keimen, die Keimlinge dann aber eingehen. Die Forscher konnten auch nachweisen, dass die genetische Vielfalt abnimmt, je länger die Pflanze in Kultur war. Mit anderen

Worten, die Pflanzen in den Erhaltungskulturen erfahren die falschen Umweltbedingungen und leiden an einer zu geringen Populationsgröße. Abhilfe könnte ein vermehrter Austausch von Samen oder Pflanzen zwischen verschiedenen Gärten schaffen.

Dasselbe Problem kennen auch die Direktoren zoologischer Gärten. Viele bedrohte Tierarten werden gezüchtet, um die Art vor dem Aussterben zu bewahren und um Tiere für eine Wiederansiedlung zu bekommen. Laut der „European Association of Zoos and Aquaria“ sind dies in Europa über vierhundert Tierarten; darunter befinden sich nicht nur Säugetiere, sondern auch Vögel, Reptilien, Amphibien und Insekten. Und es sind längst nicht alles europäische Arten, die meisten Arten haben ihre einheimischen Verbreitungsgebiete in Übersee. Der Zoo Frankfurt koordiniert die Zuchtprogramme von sechs Tierarten, unter anderem dem Gorilla, zwei Vogelarten und dem Nashornleguan.

Nun kann kein Zoo der Welt eine ganze Herde oder Vogelschar halten. Eine geringe Anzahl Individuen und die anderen Bedingungen in einem Zoo führen aber zu ähnlichen Veränderungen wie bei Pflanzen: verminderte genetische Vielfalt und Andersartigkeit der Individuen. Letzteres kann bedeuten, dass die Tiere für ein Leben in der freien Natur nicht gewappnet sind und nicht ausgewildert werden können. Leben und Überleben in freier Wildbahn ist mit dem bequemen Zooleben nicht zu vergleichen. Daher wird ein großer Aufwand betrieben: Für jede Tierart wird über die Anzahl der Tiere in den zoologischen Gärten genau Buch geführt, es werden Zuchtbücher geführt, genetische Analysen durchgeführt, und durch

Austausch von Tieren wird die genetische Vielfalt möglichst hoch gehalten.

Die Stichworte Wiederansiedlung und Auswilderung sind bereits gefallen. Ob Pflanze oder Tier, Arten in botanischen und zoologischen Gärten sind ökologisch tot, denn sie sind nicht eingebunden in das Lebensnetz und können ihre Rolle im Ökosystem nicht einnehmen. Erhaltungskulturen und Erhaltungszucht sind nur sinnvoll, wenn sie das Ausgangsmaterial für Wiederansiedlungen liefern.

Tiere in die Freiheit entlassen

Die Arabische Oryx (*Oryx leucoryx*) und das Przewalski-Pferd (*Equus ferus przewalskii*) haben etwas gemeinsam: Sie verdanken ihre heutige Existenz in der freien Natur den Erhaltungszuchten in zoologischen Gärten. Beide Arten waren in der Natur bereits ausgestorben. Nur dank glücklicher Umstände lebten ein paar wenige Individuen in zoologischen Gärten und ermöglichten eine Wiederansiedlung.

Das Arabische Oryx ist eine hell gefärbte Antilope, die einst in großen Herden die Wüstengebiete Westasiens durchstreifte. Doch Leder, Fleisch und Jagdvergnügen besiegelten ihren Untergang in der Wildnis. 1972 wurden die letzten Tiere geschossen. Ein paar wenige Tiere in zwei US-amerikanischen Zoos bildeten den Grundstock für eine Vermehrung und Wiederansiedlung im natürlichen Verbreitungsgebiet, die in den 1980er-Jahren begann. Ganz ähnlich verhielt es sich mit dem Przewalski-Pferd.

Einst war dieses Steppentier über weite Teile Eurasiens verbreitet, doch durch Bejagung und Nutzung der Lebensräume für Weidetiere gingen die Bestände im 20. Jahrhundert drastisch zurück; 1969 wurde das letzte freilebende Tier gesichtet. Wie beim Arabischen Oryx blieb die Art durch ein paar Tiere in zoologischen Gärten erhalten, und durch ein internationales Zuchtprogramm konnte die Art wieder vermehrt werden. Heute laufen mehrere Projekte zur Wiederansiedlung des Pflanzenfressers in der Mongolei und in China.

Große Wildtiere wiederanzusiedeln ist ein schwieriges Unterfangen, wie Waltraut Zimmermann aus eigener Erfahrung weiß. Sie war bis 2011 Kuratorin im Kölner Zoo und setzt sich seither für Auswilderungsprojekte des Przewalski-Pferds in Asien ein. Bevor die Tiere ausgewildert werden können, ist eine Machbarkeitsstudie nötig, in der die Vegetation eingehend untersucht wird. Schließlich müssen die Tiere genügend zu fressen finden. In vorübergehenden Gehegen gewöhnen sie sich an die neue Umgebung und an das Klima. So traten 2004 zwei Stuten aus dem Kölner Zoo die Reise in die Wüste Gobi an und leben nun mit mehreren Dutzend weiteren Przewalski-Pferden in ihrer ursprünglichen Heimat.

Eine besondere Herausforderung stellen Arten dar, bei denen die Jungen von den Eltern oder anderen Artgenossen in der Gruppe lernen, wie man sich in der Wildnis behauptet, Futter findet, Schlafplätze einrichtet und Feinde meidet. Im Zoo gibt es keine erfahrene Mutter, die ihren Jungen das notwendige Wissen vermitteln kann. Daher gehen junge Orang-Utans erst einmal in die Schule, bevor sie in die Wildnis entlassen werden. Auf der

Orang-Utan-Station „Samboja Lestari“ in Borneo werden die Menschenaffen in Sozialisierungskäfigen und in einem Trainingswald auf das Leben in Freiheit vorbereitet. Die Tiere verbringen den Alltag in der Gruppe, sie lernen zu klettern, Schlafnester zu bauen und essbare von giftigen Pflanzenarten zu unterscheiden – alles notwendige Voraussetzungen für ein Überleben in der Wildnis.

Alle Wiederansiedlungsprogramme erfordern die notwendige Logistik und Infrastruktur, sehr viel Enthusiasmus und Geduld all derjenigen, die mit den Tieren unmittelbar zu tun haben – und Geld.

Bei der Auswilderung von Tieren geht es nicht nur um die Arterhaltung selbst. Es geht darum, verloren gegangene ökologische Beziehungen wiederherzustellen. Große Pflanzenfresser wie das Przewalski-Pferd fördern Artenvielfalt, weil sie die Vegetation offen halten und eine Verbuschung verhindern. Dadurch können zahlreiche Vogelarten, Pflanzen- und Insektenarten gemeinsam vorkommen. Daher stehen auch in Europa große Pflanzenfresser im Dienst des Naturschutzes, wenn Hochlandrinder, Schafe oder Przewalski-Pferde in Naturschutzgebieten Pflanzen anknabbern und so Biodiversität erhalten.

Pflanzen aussetzen

Pflanzen sind viel leichter wiederanzusiedeln, sollte man meinen. Man setzt sie bei geeigneter Witterung in den Boden, gibt ihnen mit Wasser und Jäten eine Starthilfe und hofft auf ihr Überleben. Je mehr Pflanzen gesetzt

werden, umso höher die Aussicht auf Erfolg. Nachkontrollen sind sinnvoll, um den Erfolg zu messen, werden aber oft in nur ungenügendem Maße durchgeführt; so sind die Gründe im Falle eines Misserfolges nicht auszumachen. Bis 2015 hatten Botaniker in Deutschland 196 Pflanzenarten wieder in die Natur ausgebracht, nicht immer mit Erfolg. Die Sache mit dem Wiederansiedeln ist doch nicht so einfach. Die Pflanzenarten müssen zuerst einmal angezogen und vermehrt werden, doch viele der Zielarten weisen eine geringe Keimrate auf. Die Gärtner in den botanischen Gärten, die Erhaltungskulturen pflegen, können ein Liedchen davon singen. Meist werden Pflanzenarten ausgepflanzt, um noch existierende, aber kleine Populationen zu ergänzen und sie so vor dem vollständigen Verschwinden zu bewahren. Auch die Becherglocke wurde gepflanzt. Mit Erfolg, denn sie vermehrt sich und die Population sieht wohl einer gesicherten Zukunft entgegen.

Exkurs: Das Millionen-Orchideen-Projekt

Eine außergewöhnliche Wiederansiedlung von Pflanzen findet zurzeit in Miami im US-Bundesstaat Florida statt. Ziel des „Millionen-Orchideen-Projekts“ ist, einheimische Orchideen im Süden des Staates zurück in die Bäume zu bringen. Noch vor hundert Jahren hingen prächtige Baumorchideen in den Kronen der Eichen- und Mahagonibäume. Es sind Aufsitzerpflanzen oder Epiphyten, die auf Baumästen leben. Die ersten Siedler bewunderten die zahlreichen Orchideen in den Bäumen, die im Frühjahr ihre Blüten öffneten und einen intensiven Duft verströmten. Doch mit dem Bau der Eisenbahn begann das Ende der Pracht: Orchideen wurden massenweise von den Bäumen gerissen, mit der Bahn in den Norden verfrachtet und verkauft. Die Bäume wurden förmlich entleert und die Bestände

der Orchideen sanken auf nahezu null. Heute vermehren Biologen die Orchideenarten in den Gewächshäusern des Botanischen Gartens „Fairchild Tropical Botanic Garden“ in Miami. Die kleinen Pflanzen sollen dann wieder auf die Bäume gesetzt werden. Das ist gar nicht so einfach, wie jeder Orchideenliebhaber weiß.

Von allen gefährdeten Arten, die in Erhaltungskulturen oder Erhaltungszuchtprogrammen gehalten werden, finden nur wenige zu einer Wiederansiedlung in der Natur. Ein solches Unternehmen ist auch nur dann sinnvoll, wenn die Arten intakte Lebensräume vorfinden, die ihnen eine langfristige Existenz bescheren.

Lebensräume erhalten

Etwa 4 Prozent der Landesfläche Deutschlands entfallen auf Naturschutzgebiete. Nicht gerade viel, hinzu kommen aber noch weitere Flächen wie Nationalparks, Landschaftsschutzgebiete, Naturparks und Biosphärenreservate (Abb. 21.1). Laut Datenbank der IUCN stehen 38 Prozent der Landfläche und 45 Prozent des küstennahen Meeres Deutschlands unter Schutz. Das scheint viel im Vergleich zu den globalen Mittelwerten von 15 und 13 Prozent. Die meisten der über 22.000 Schutzgebiete Deutschlands sind aber klein, sie sind grüne Flecken auf der Landkarte und zeigen sich beim Wandern als eingezäuntes Gebiet mit dem typischen Schild – grünes Dreieck mit Adler oder Eule auf gelbem Fünfeck. Das Naturschutzgebiet Neandertal dürfte das erste Deutschlands sein; 1921 gegründet,



Abb. 21.1 Kein Platz für Natur. Weil die Landwirtschaft große Flächen beansprucht, ist der Schutz von natürlichen Lebensräumen in der Umgebung besonders wichtig. (© froxx/stock.adobe.com)

umfasst es eine Fläche von lediglich 223 Hektar. Im selben Jahr entstand auch das Naturschutzgebiet Lüneburger Heide, mit 234 Quadratkilometern beträchtlich größer.

Der Sinn von Schutzgebieten ist die Erhaltung wertvoller Lebensräume. Einzäunen und dann möglichst in Ruhe lassen reicht für viele der Flächen nicht, denn es bedarf der pflegenden Hand des Menschen. Heidelandschaften, Magerwiesen und Feuchtwiesen müssen regelmäßig gemäht oder beweidet werden, sonst verbuschen sie und entwickeln sich zu einem Wald. Das ist aber nicht erwünscht – die Natur soll sich nicht so entwickeln, wie sie es von Natur aus würde. Im Vordergrund steht also das Ziel, wünschenswerte Naturzustände aufrechtzuerhalten, ohne schädigende Nutzung, aber mit schonenden Eingriffen.

Anders ist die Situation in einem Totalreservat. Hier finden so gut wie keine menschlichen Einflüsse statt und die natürliche Entwicklung wird absichtlich zugelassen. In Deutschland werden meist sogenannte Kernzonen eines bestehenden Biosphärenreservates oder eines Nationalparks als Totalreservat ausgesprochen. So bleibt im Biosphärenreservat Schorfheide-Chorin im Land Brandenburg das Plagefenn unangetastet. Hier soll sich die natürliche Dynamik der Natur entwickeln, ganz nach dem Motto „Natur Natur sein lassen“, genauso wie im Nationalpark Bayerischer Wald.

Damit gibt es zwei Strategien: Die Erhaltung eines gewünschten Sollzustandes einerseits und das komplette Sich-selbst-Überlassen andererseits. Was ist besser für die Erhaltung biologischer Vielfalt? Michael Succow, ein Pionier des nationalen und internationalen Naturschutzes, meint [1]:

Wir brauchen beides, dauerhaft tragfähige, umweltgerechte Formen der Landnutzung und Natur in Eigendynamik, die nicht unserem Herrschafts- und Gestaltungswillen unterworfen ist, in der ihr „Kapitalstock“ unangetastet bleibt.

Das Nebeneinander verschiedenster Lebensräume – solche in nahezu unberührter Wildnis und vom Menschen geschaffene – sorgt für eine hohe Biodiversität. Wie immer ist alles eine Frage der Dosis. Zu viel Nutzung ist genauso schädlich wie zu wenig Nutzung. Ein Gedankenexperiment mag dies veranschaulichen: Angenommen, ganz Deutschland würde in ein Totalreservat verwandelt

werden. Alle Menschen müssten das Land verlassen, und von den Alpen bis zur Nordsee würden die ökologischen Prozesse so ablaufen, wie sie die Natur vorgibt. Dann könnten sich zwar Bär, Luchs und Wolf ungehindert ausbreiten, der Wald würde sich ausdehnen, die Biodiversität würde insgesamt aber verarmen.

Wildnisgebiete und Prozessschutz

Dennoch sind Totalreservate sinnvoll, allerdings nur, wenn die Gebiete groß genug sind. Nur dann kann das Ziel des Prozessschutzes erreicht werden. Darunter verstehen Experten das Nichteingreifen in die natürlichen Prozesse von Ökosystemen wie in das Auftreten von Borkenkäferbefall, Feuer, Sturmschäden – also Störungen. Sie erinnern sich an Kap. 10, als ich von den Auswirkungen ökologischer Störungen sprach. Eckhard Jedicke, Professor für Landschaftsentwicklung an der Hochschule Geisenheim, sagt es so [2, S. 233]:

Prozessschutz bedeutet das Aufrechterhalten natürlicher Prozesse (ökologischer Veränderungen in Raum und Zeit) in Form von dynamischen Erscheinungen auf der Ebene von Arten, Biozöosen, Bio- oder Ökotypen, Ökosystemen und Landschaften.

Wird Prozessschutz praktiziert, darf ein Wald, ein See oder ein Stück Küste sich so entwickeln, wie es die Natur vorgibt, auch wenn sich der Zustand langsam verändert. Es wird zugelassen, dass ein See verlandet und eine Düne

verbuscht. Jegliche Nutzung fällt weg, umfallende Bäume bleiben liegen. Mit anderen Worten, ein Totalreservat kommt der unberührten Wildnis am nächsten. Prozessschutz wird außer im Nationalpark Bayerischer Wald auch im Nationalpark Schleswig-Holsteinisches Wattenmeer praktiziert. Nicht immer stößt das Nichteingreifen auf Verständnis, wie die heftigen Diskussionen um den Borkenkäferbefall im Nationalpark Bayerischer Wald zeigten. Da stoßen verschiedene Interessensgruppen aufeinander. Aus Sicht der Biologie führt der Borkenkäfer aber lediglich zu Störungen, die ein gesunder Wald leicht verkraftet.

Statt Totalreservat sprechen Naturschutzexperten lieber von Wildnisgebieten. Nun gibt es in Deutschland kaum unberührte Natur wie Urwälder, die nie genutzt wurden. Doch lassen sich Gebiete in einen unberührten und naturnahen Zustand überführen, in welchen der Mensch nicht mehr eingreift. So setzt sich die Stiftung Naturlandschaften Brandenburg dafür ein, ehemalige Truppenübungsplätze in Wildnisgebiete zurückzuführen. Diese Flächen enthalten keine Infrastruktur, sind vergleichsweise groß und eignen sich daher bestens für dieses Experiment. Die Stiftungsfläche Jüterbog etwa umfasst 7200 Hektar. Bis in die 1990er-Jahre militärisch genutzt, steht sie heute unter Naturschutz, und es finden keine Eingriffe mehr statt. Das Nebeneinander von Heide, Sanddünen, lockeren Wäldern und Feuchtgebieten geben seltenen Arten wie Fischotter, Bechsteinfledermaus und Wiedehopf ein Zuhause. Auch der Wolf kann sich in den Gebieten halten.

International werden freilich ganz andere Maßstäbe gesetzt. Mitteleuropa ist dicht besiedelt, da lassen sich Großgebiete als Wildniszone nicht ausgrenzen. Doch für

die Mitarbeiter der Zoologischen Gesellschaft Frankfurt ist klar: Wildnis sollte möglichst groß sein. „Je größer, je artenreicher, je intakter, je weniger vom Menschen beeinflusst, desto besser“, lautet das Motto. Daher geht es bei den Auslandprojekten der Gesellschaft um andere Dimensionen; in Asien werden Flächen bis zu 100.000 Hektar angestrebt, in Südamerika noch viel größere. In Peru stehen unter Mithilfe der Zoologischen Gesellschaft Frankfurt insgesamt neun Gebiete unter Schutz, die eine Fläche von mehr als 8 Mio. Hektar ausmachen. Nur so können ganze Ökosysteme dauerhaft erhalten werden.

Die neue Herausforderung: Biotopverbund

Was haben die über 22.000 Schutzgebiete Deutschlands bisher für den Erhalt der Biodiversität gebracht? Jedicke schreibt in einem Artikel von 2015: „Zahlreiche Indikatoren zu Zustand und Entwicklung der Biodiversität belegen, dass der Handlungsbedarf enorm ist.“ Als Beispiele nennt er den andauernden Rückgang der Bestände von Vogel- und Schmetterlingsarten, die Zunahme der Anzahl gefährdeter Arten und die anhaltende Zerstörung und Zerschneidung von Lebensräumen. Mit anderen Worten, all die Faktoren, die einen Verlust an Biodiversität hervorrufen. War alle Mühe umsonst?

Die meisten unter Schutz stehenden Flächen sind klein, für den dauerhaften Erhalt wertvollen Tier- und Pflanzenarten oft zu klein. Zudem stehen viele von ihnen isoliert in der Landschaft, ohne Anbindung an andere

Schutzgebiete und umgeben von Zonen intensiver Landwirtschaft. Es sind Habitatinseln, Übrigbleibsel einer zerstückelten Naturlandschaft. Seit 35 Jahren suchen Experten daher Mittel und Wege, Abhilfe zu schaffen, und zwar durch Vernetzen von Lebensräumen. Ein Biotopverbund ist ein Ziel der Nationalen Strategie zur biologischen Vielfalt von 2007. Die Idee ist, dass sich Pflanzen- und Tierarten zwischen verschiedenen Schutzgebieten austauschen können. Das fördert die genetische Vielfalt, erhöht die Populationsgröße und vergrößert gleichsam die isolierten Einzelflächen.

Exkurs: Elemente eines Biotopverbundes

Ein System vernetzter Schutzgebiete besteht idealerweise aus mehreren Elementen (nach Jedicke 2015):

- Großflächige Schutzgebiete wie der im Januar 2014 gegründete Nationalpark Schwarzwald.
- Trittsteine zwischen den Schutzgebieten, damit Tierarten von einem geschützten Gebiet in ein anderes wechseln können: Trittsteine können kleinere Schutzgebiete mit denselben oder ähnlichen Lebensräumen wie die großen Schutzgebiete sein.
- Korridore als verbindende Elemente, wie etwa Grünbrücken oder Wildbrücken: So können Wildtiere Straßen und Bahnstrecken gefahrlos queren. Aus zwei getrennten Schutzgebieten wird durch verbindende Korridore gleichsam ein großes. Auch Heckenstreifen wirken vernetzend und verbinden Waldgebiete miteinander.
- Einbettung der Schutzgebiete und Korridore in eine möglichst extensiv genutzte, wenig isolierend wirkende Landschaft.

In Deutschland existieren bis heute mehr als siebenzig Grünbrücken über Autobahnen und Bundesstraßen. Ihre Wirksamkeit haben Untersuchungen gezeigt. Nicht nur Säugetiere nutzen die Verbindungen, auch viele Wirbellose wie Schmetterlinge, Spinnen und Käfer wandern auf den Grünbrücken von einem naturnahen Gebiet in ein anderes und tragen zum Austausch von Individuen bei.

Der Biotopverbund ist ein Ziel von Deutschland und der gesamten EU, die Bemühungen sind noch lange nicht abgeschlossen. Zu einem gut funktionierenden Netz von Schutzgebieten gehört auch das Wiederherstellen oder Renaturieren stark beeinträchtigter Lebensräume.

Literatur

1. Succow Stiftung (2017) Succow Stiftung. Haushalten und Erhalten. <http://www.succow-stiftung.de>. Zugriffen: 09. Aug. 2017
2. Jedicke E (1998) Raum-Zeit-Dynamik in Ökosystemen und Landschaften – Kenntnisstand der Landschaftsökologie und Umsetzung in die Prozeßschutz-Definition. Naturschutz und Landschaftsplanung 30:229–236

Weiterführende Literatur

3. Bundesamt für Naturschutz (BfN) (2007) Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Berlin. https://www.bfn.de/0304_biodivstrategie-nationale.html. Zugriffen: 09. Aug. 2017
4. Enßlin A, Sandner T, Matthies D (2011) Consequences of *ex situ* cultivation of plants: Genetic diversity, fitness and

- adaptation of the monocarpic *Cynoglossum officinale* L. in botanic gardens. Biol Conserv 144:272–278
5. Europäischer Zooverband EAZA. <http://www.eaza.net/>. Zugegriffen: 09. Aug. 2017
 6. Frankham R (2008) Genetic adaptation to captivity in species conservation programs. Mol Ecol 17:325–333
 7. Jedicke E (2015) Biotopverbund zwischen Soll und Haben. Bilanz und Ausblick aus bundesweiter Sicht. Naturschutz und Landschaftsplanung 47:233–240
 8. Millionen-Orchideen-Projekt. <http://www.fairchildgarden.org/science-conservation-/the-million-orchid-project>. Zugegriffen: 09. Aug. 2017
 9. Portal für Erhaltungskulturen einheimischer Wildpflanzen. <http://www.ex-situ-erhaltung.de>. Zugegriffen: 09. Aug. 2017
 10. Protected Planet. Germany, Europe. <https://www.protected-planet.net/country/DE>. Zugegriffen: 09. Aug. 2017
 11. Succow M, Jeschke L, Knapp HD (Hrsg) (2013) Naturschutz in Deutschland. Ch. Links Verlag, Berlin
 12. Tudge C (1993) Letzte Zuflucht Zoo. Die Erhaltung bedrohter Arten in Zoologischen Gärten. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg
 13. Zimmermann W (2005) Przewalskipferde auf dem Weg zur Wiedereinbürgerung – Verschiedene Projekte im Vergleich. Zeitschrift des Kölner Zoo 4:183–209

22

Von Grund auf neu

Die Havel soll ein lebendiger Fluss werden, der attraktiver Lebensraum für typische Pflanzen und Tiere einer Flussaue ist. Die Generation meiner Kinder soll wieder die Chance haben, im glasklaren Havelwasser zu baden, an Sandstränden zu sitzen und Eisvogel, Biber und Fischotter beobachten zu können.

Das sagte Rocco Buchta in einem Interview, Projektleiter beim Naturschutzbund NABU für eines der größten Flussrenaturierungsprojekte Europas [1]. Das Unterfangen begann vor etwa zehn Jahren an der Unteren Havel im Land Brandenburg, und das Ziel ist, dem Fluss wieder einen Teil seiner Natürlichkeit zurückzugeben. Zu sehr wurde er begradigt, eingedeicht, Seitenarme mit Stillgewässern wurden abgetrennt und Feuchtwiesen in Ufernähe

trockengelegt. Nun soll der Fluss wieder Altarme und natürliche Uferzonen bekommen.

Nicht nur Flusslandschaften, auch Hochmoore, Magerasen und Lebensräume der Küste sind Ziele zahlreicher Renaturierungsprogramme des Naturschutzes. Bei all diesen Bemühungen gilt es, langfristig zu denken; schnelle Lösungen stehen nicht bereit.

Hochmoore brauchen besonders viel Geduld

Ein zerstörtes Hochmoor wieder in einen halbwegs natürlichen Zustand zurückzuführen, ist keine leichte Aufgabe. In Ruhe lassen und auf die Zeit hoffen, genügt nicht. Zunächst gilt es, Entwässerungsgräben aufzufüllen, die Fläche von Gehölzen zu befreien und wiederzuvernässen. All das braucht technisches Know-how, den Einsatz von Spezialgerät und die entsprechenden Geldmittel – und vor allem sehr viel Zeit. Das liegt an der Besonderheit des Lebensraumes, der einst viel weiter verbreitet war als heute. Ein Hochmoor ist ein riesiger Schwamm aus bestimmten Moosen, den Torfmoosen. Die Oberfläche des Schwammes hebt sich über den Grundwasserspiegel, daher der Name. Wasser erhält ein Hochmoor ausschließlich durch Regen, daher sind die Nährstoffverhältnisse in einem Hochmoor geradezu prekär. Hinzu kommt das saure Wasser. Doch gerade deswegen leben in Hochmooren spezialisierte Pflanzen und Insekten, die sich an die Bedingungen angepasst haben.

Zahlreiche Hochmoore haben sich nach den Eiszeiten entwickelt, als die Gletscher schmolzen und in der Landschaft wasserundurchlässige Stellen hinterließen. Das Kissen aus Torfmoosen wächst sehr langsam, etwa einen Millimeter pro Jahr. Wegen des hohen Wassergehalts herrscht in den tieferen Schichten Sauerstoffmangel, sodass kaum eine Zersetzung der Pflanzenreste erfolgt. Es entsteht Torf, der nicht nur Blütenstaub konserviert, sondern auch Tiere und Moorleichen. In machen Mooren hat sich bis heute eine Torfschicht von 10 Metern Mächtigkeit gebildet.

Der Torf wurde den Hochmooren zum Verhängnis, denn er wurde früher als Brennmaterial abgebaut, später als Bestandteil von Blumenerde; viele Hochmoore wurden entwässert und in landwirtschaftliche Flächen umgewandelt. In Deutschland wurden die einstigen Hochmoore zu 95 Prozent entwässert, abgetorft, bebaut oder landwirtschaftlich und forstwirtschaftlich genutzt.

Seit etwa 1970 bemüht man sich in Norddeutschland um die Renaturierung von Hochmooren. Wie lange es dauern kann, bis aus einem ehemaligen Hochmoor wieder ein einigermaßen naturnahes Moor entsteht, zeigt das Leegmoor zwischen Papenburg und Oldenburg in Niedersachsen. Torfabbau von 1950 bis 1983 ließ die Torfschichten abtragen, und der Lebensraum wurde arg in Mitleidenschaft gezogen. Maßnahmen zur Wiedervernässung wurden bereits 1983 und 1984 ergriffen. Das Bundesamt für Naturschutz begleitet seither das Projekt, die Entwicklung der Vegetation wird genau verfolgt. Zwei Fotos zeigen die langsame Rückführung in Richtung natürlicher Zustand. Auf einem Bild aus 1989, kurz

nach Beginn der Wiedervernässung, zeigt sich sehr viel unbewachsener Torfboden, Gräser stellen die häufigsten Pflanzen dar. Die eigentliche Matrix eines Hochmoores – das Torfmoos – ist erst auf dem Bild zehn Jahre später zu erkennen. Zu diesem Zeitpunkt und auch heute noch bildet das Moos nur dünne Teppiche, nicht zu vergleichen mit den dicken und schwammigen Kissen eines natürlichen Hochmoores. Aber es ist ein Anfang, und mittlerweile wachsen im Gebiet wieder typische Hochmoorpflanzen wie Sonnentau – eine Erfolgsgeschichte, die dank Beharrlichkeit und langfristigem Denken zustande kam.

Ein Hochmoor ist in kurzer Zeit zerstört. Der Wiederaufbau dauert sehr lang. Susanne Abel von der Michael-Succow-Stiftung in Greifswald ist Expertin für Moorrenaturierungen. Sie meint: „Wenn man ein selbst-regulierendes, torfbildendes System haben möchte, was sich über den Grundwasserstand der Umgebung erhebt, muss man tausend Jahre ansetzen.“ Die laufenden Renaturierungsprogramme gleichen dem Tropfen auf den heißen Stein, wie Abel weiter ausführt: „Nach Jahrzehnten von Anstrengungen und 100 Mio. Euro an Investitionen ist die Fläche an guter Hochmoorvegetation in den Niederlanden verdoppelt: von etwas mehr als 3 Hektar auf etwas mehr als 7 Hektar.“ In den Niederlanden waren Hochmoore einst ein wichtiger Bestandteil der Landschaft, doch auch hier wurden die meisten entwässert.

Dennoch ist das Regenerieren von Hochmooren sinnvoll. Nicht nur, um die besondere Artenvielfalt des Lebensraumes zu erhalten und zu fördern, sondern auch,

weil Hochmoore wichtige Kohlenstoffsinken sind. In ihnen werden riesige Mengen an Kohlendioxid gebunden und in Form von organischem Material gespeichert.

Aussäen genügt nicht

Man sollte meinen, das Anlegen eines neuen Magerrasens sei keine Hexerei. Entsprechende Saatgutmischungen sind im Handel erhältlich, also einfach aussäen und dann dafür sorgen, dass der neue Rasen von Schafen beweidet wird. Doch wenn der Untergrund durch zu viel Stickstoff verdorben ist, wird auch das Erschaffen eines neuen Magerasens zu einem schwierigen Unterfangen. Ein Magerrasen zeichnet sich schließlich durch einen nährstoffarmen und eher trockenen Boden aus; der Bewuchs ist niedrig und weist Lücken auf, ist insgesamt aber artenreich.

In der Nähe von München entstanden in den Jahren 1994 bis 1997 auf ehemaligen Ackerflächen neue Magerasen. Landschaftsökologen nutzten die Gelegenheit, verschiedene Techniken auszuprobieren. Auf manchen Parzellen trugen sie den Ackerboden vollständig ab, sodass der kiesige Untergrund zum Vorschein kam. Ein Teil dieser Parzellen erhielt eine sogenannte Sodenverpflanzung aus einem nahe gelegenen Magerrasen: Stücke des Magerasens wurden ausgeschnitten und auf den neuen Parzellen ausgelegt. Andere Verfahren bestanden im Auftragen von Erde aus den obersten Bodenschichten eines Magerrasens oder im Auftragen von Mähgut. Beides enthält zahlreiche Samen, sodass sich die typischen Pflanzenarten ansiedeln

sollten. Das ist die Kunst dabei: Es muss dafür gesorgt werden, dass sich auf den Parzellen die gewünschte Vegetation einstellt.

Nach elf Jahren gleichen manche der Parzellen einem guten Magerrasen, und das Übertragen von Mähgut entpuppte sich als die kostengünstigste und beste Methode. Das Beispiel zeigt wieder einmal, dass das Restaurieren zerstörter Natur lange dauert. Doch nicht nur auf dem Land werden Lebensräume aufgebessert oder wiederhergestellt. Auch im Meer tut sich Erstaunliches.

Renaturierung unter Wasser

Zwei besonders bedrohte und ökologisch wertvolle Lebensräume der Ozeane sind Seegraswiesen und Korallenriffe. Beide werden an manchen Küstenabschnitten von Grund auf neu angelegt.

Seegräser gehören zu den Blütenpflanzen und bilden ganze Wiesen auf dem Meeresgrund. Die etwa fünfzig Arten haben mit echten Gräsern nichts zu tun, erinnern aber im Aussehen stark an Gräser. Große Bestände wachsen in Küstennähe von den Tropen bis zur gemäßigten Zone. Auch in der Ostsee kommen Seegräser vor. Seegraswiesen dienen als Lebensraum und Nahrungsgrundlage zahlreicher Tierarten, von denen sich einige auf die Pflanzen spezialisiert haben. Viele Fische verbringen ihre Jugend im Blätterwald der Seegraswiesen, wo sie vor Feinden geschützt sind. Seekühe und bestimmte Meeresschildkröten ernähren sich von Seegrasblättern. Große Bestände an Seegräsern dämpfen auch die Wellenenergie, was das

Aufwirbeln von Sediment vermindert und den küstennahen Boden stabilisiert.

Seegrasbestände zeigen weltweit einen dramatischen Rückgang durch Wassertrübung, Verschmutzung und mechanischer Zerstörung durch intensiven Schiffsverkehr und Schleppnetzen. In Polen verringerten sich die Bestände des Gemeinen Seegrases zwischen 1957 und 1988 um mehr als 90 Prozent.

In Küstengewässern Nordamerikas und Chinas entstanden daher künstliche Seegraswiesen. Unter großem Aufwand verpflanzten Biologen Wurzelstöcke des Gewöhnlichen Seegrases und bauten so neue Bestände des wertvollen Lebensraumes auf. Chinesische Wissenschaftler nutzten dabei eine simple Technik: Sie banden die Wurzelstöcke an Steine und platzierten diese auf dem Meeresgrund. Das verhinderte ein Fortreißen der austreibenden Pflanzen durch die Wasserbewegungen.

In der Ostsee scheint es dem Seegras wieder besser zu gehen, zumindest dehnen sich die Bestände an manchen Küstenabschnitten aus. Die Bemühungen um Verbesserung der Wasserqualität im Rahmen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie aus dem Jahr 2000 tragen Früchte. Philipp Schubert vom Helmholtz-Zentrum für Ozeanforschung GEOMAR in Kiel sieht keinen Bedarf zur Anpflanzung von Seegras in der Ostsee. „Dem Seegras geht es zumindest in der deutschen Ostsee recht gut, und es werden sogar Gebiete neu besiedelt. Dies gilt nicht nur für neue Küstenabschnitte, sondern auch für größere Tiefen“, meint er.

Der andere marine Lebensraum betrifft Korallenriffe. Von allen Lebensräumen der Meere zählen tropische

Korallenriffe zu den artenreichsten, aber auch zu den am stärksten bedrohten. Versauerung und Erwärmung des Wassers führen zur Korallenbleiche, was in ein vollständiges Absterben eines Korallenriffs münden kann. 2016 stellten Biologen im Great Barrier Riff in Australien fest, dass über die Hälfte der Korallen geschädigt ist. Hinzu kommt Gewässerverschmutzung, wie der Meeresbiologe Thomas Goreau erläutert: „Das Überwachsen durch Algen wegen unbehandelten Abwässern und Nährstoffeintrag zerstört Korallenriffe an beinahe allen bewohnten Küsten.“

Goreau ist Gründer der „Global Coral Reef Alliance“, einer Organisation, die sich ganz dem Restaurieren zerstörter Korallenriffe widmet. Was er und seine Mitarbeiter an verschiedenen tropischen Küsten machen, erscheint zunächst schleierhaft. An Land schweißen sie Eisenstangen zu einem käfigartigen Gebilde, einem modernen Kunstwerk gleichend, und bringen es auf ein Schiff. An geeigneter Stelle lassen sie es ins Meer hinab. Das Stahlgitter versehen sie mit Kabeln und legen Strom an – eine niedrige Spannung, vollkommen harmlos für Mensch und die Meeresbewohner, aber der Strom bewirkt wahre Wunder. Er löst eine chemische Reaktion aus, was ein Ablagern von festem Kalk an den Eisenstangen zur Folge hat. Meerwasser enthält gelösten Kalk, der Grundstoff für Korallenriffe. Die Tiere scheiden Kalk aus und bauen so ihre Stützen auf.

Goreau wendet ein Verfahren an, das sich „Biorock“ nennt (Abb. 22.1). Die dicke Schicht porösen Kalks, die sich an dem Eisengerüst ablagert, nehmen die Larven der Korallen noch so gerne an, um sich festzusetzen und



Abb. 22.1 Ein künstliches Korallenriff hilft den Korallen, wieder Fuß zu fassen, und zieht dann auch Fische und andere Tiere an. Es bleibt aber eine Ersatznatur. (© fenkieandreas/stock.adobe.com)

zum eigentlichen Korallentier zu werden. So siedeln sich in erstaunlich kurzer Zeit Korallen an – mehr noch, der Schwachstrom stimuliert das Wachstum der Korallen, sodass sie trotz schlechter Wasserqualität und zu hoher Wassertemperatur gedeihen können. „Im Jahr 2016 hatten wir in Indonesien ein beinahe hundertprozentiges Überleben der Korallen auf unseren Biorock-Strukturen, und dies in einem Gebiet, in welchem zuvor 95 Prozent der Korallen zugrunde gingen“, erzählt Goreau.

Goreau kann auf eine erfolgreiche Zeit zurückblicken. „Wir haben in den letzten dreißig Jahren rund 400 künstliche Korallenriffe in mehr als vierzig Ländern errichtet“, erklärt er. Dabei gehen er und seine Crew mit sehr viel

Idealismus zu Werke, denn: „Die Global Coral Reef Alliance arbeitet als Netzwerk von Freiwilligen, mit so gut wie keinem Funding.“ Es gäbe kein Geld für vielversprechende Restaurierungsprogramme für Korallenriffe, und andere Methoden hätten versagt. Schade, denn die Bestrebungen nützen nicht nur dem einmaligen Ökosystem namens Korallenriff, sondern helfen der lokalen Bevölkerung an tropischen Küsten. So sei die Armut in manchem Dorf zurückgegangen, da zahlreiche Touristen kommen und gerne die Biorock-Projekte sehen möchten.

All diese Beispiele zeigen deutlich, dass Lebensräume rasch zerstört sind, ihre Regeneration aber viel Geld und Zeit braucht. Beides ist im Naturschutz Mangelware. Es wird nie möglich sein, alle Wunden in der Natur zu heilen und die verlorenen Lebensräume zurückzuholen. Resignieren wäre aber falsch. Viele kleine und lokale Erfolge summieren sich schließlich doch zu einer Verbesserung des Allgemeinzustandes, auch wenn noch weitere Bemühungen notwendig sind.

Literatur

1. Interview von Ina Brzoska. Der Fluss seines Lebens. Volkswagen Magazin. <http://magazin.volkswagen.de/NABU-Flussrenaturierungsprojekt-Havel.html>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017

Weiterführende Literatur

2. Biorock Technology. <http://www.biorock.org/>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
3. Brackel W von (2010) Neuanlage von Magerrasen auf Ausgleichsflächen der Stadt München – Vergleich verschiedener Techniken. *Anliegen Natur* 34:9–24
4. Global Coral Reef Alliance. <http://www.globalcoral.org>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
5. Goreau T (2014) Electrical stimulation greatly increases settlement, growth, survival, and stress resistance of marine organisms. *Nat Resour* 5:527–537
6. Meyer T, Nehring S (2006) Anpflanzung von Seegraswiesen (*Zostera marina* L.) als interne Maßnahme zur Restaurierung der Ostsee. *Rostocker Meeresbiologische Beiträge* 15:105–119
7. NABU Moore in Deutschland. <https://www.nabu.de/natur-und-landschaft/moore/deutschland/>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
8. Schuhmacher H et al (2005) Das Erbleichen der Korallen. *Biologie in Unserer Zeit* 35:186–191
9. Zhou Y, Liu P, Liu B, Liu X, Zhang X, Wang F, Yang H (2014) Restoring eelgrass (*Zostera marina* L.) habitats using a simple and effective transplanting technique. *PLoS ONE* 9, e92982. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092982>

Nachwort

Damit bin ich ans Ende meiner Betrachtungen angelangt. Ich habe viele verschiedene Aspekte angesprochen, von der Entstehung der Biodiversität bis hin zu den Mechanismen, die sie aufrechterhalten, von der Artenvielfalt bis hin zur Lebensraumvielfalt. Die Forschung hat große Fortschritte gemacht und der Gegenstand „Biodiversität“ wird heute weitaus besser verstanden als vor dreißig Jahren.

Seit der Konferenz von 1986 in Washington D.C. hat sich auch im Schutz und der Erhaltung der Biodiversität viel getan. Man könnte meinen, die Warnrufe von damals wurden erhört. Zu keinem Zeitpunkt setzen sich so viele Interessengruppen, Nichtregierungsorganisationen und Private für den Erhalt biologischer Vielfalt ein wie heute. Ich habe von Menschen und Organisationen berichtet, die an der Front des Naturschutzes arbeiten, zerstörte Hochmoore oder Korallenriffe wiederherstellen, bedrohte

Tierarten wieder in der Wildnis ansiedeln und seltene Pflanzenarten vor dem Aussterben bewahren. Invasive Arten werden intensiv bekämpft, in der Umweltbildung nimmt Biodiversität eine wichtige Rolle ein. Die Anzahl botanischer Gärten hat in den letzten dreißig Jahren weltweit zugenommen, ebenso die Anzahl an Naturschutzgebieten. Deutschland hat 2007 eine Nationale Strategie zur Biologischen Vielfalt beschlossen und zahlreiche Maßnahmen ergriffen. Die Europäische Union hat sich eine Reihe von Zielen gesetzt, um Biodiversität langfristig zu erhalten.

Die Aktivitäten im Natur- und Artenschutz dauern nun schon Jahrzehnte an. Sie sind zweifelsohne eine positive Entwicklung in einer Zeit allgemein negativer Trends. Bei all diesen Bemühungen geht es letztlich darum, Fehler der Vergangenheit wiedergutzumachen. Zu viele Flüsse wurden begradigt, zu viele Äcker intensiviert, zu viele Moore entwässert und abgebaut. Zu viele natürliche Grasländer wurden überweidet, zu viel Wald gerodet.

Es steht offensichtlich schlecht um die biologische Vielfalt und die genannten Aktivitäten dauern an. „Trotz vielfältiger globaler Anstrengungen und zahlreicher Erfolge geht der Verlust an biologischer Vielfalt weiter“, schreibt Bundesumweltministerin Barbara Hendricks 2014 zur Lage der biologischen Vielfalt [1, S. 1].

Liegt dies daran, dass all diese Bemühungen – national wie international – letztlich doch nur punktuelle Einsätze sind, gleichsam ein Tropfen auf dem heißen Stein? Möglicherweise ja.

Im Jahr 1986, als die anfangs erwähnte Konferenz zum Thema Biodiversität stattfand, betrug die Weltbevölkerung knapp 5 Mrd. Menschen. 2017 sind es 7,5 Mrd., ein Zuwachs von knapp über einem Drittel. Der Druck auf

die Umwelt hat in den letzten dreißig Jahren somit weiter zugenommen, die verbliebenen Naturflächen werden weiter beeinträchtigt, der Verbrauch an natürlichen Ressourcen ist gestiegen.

Dennoch sind die vielen Bemühungen nicht umsonst. Im Gegenteil, ohne die zahlreichen Erfolgsgeschichten auf der ganzen Welt stünde es noch weit schlimmer um die Biodiversität. Es ist aber klar, dass die anhaltende Zerstörung der Biosphäre nur durch einen massiv verstärkten Naturschutz und durch tief greifende Veränderungen unseres Verhaltens kompensiert werden kann. Nachhaltigkeit und Verantwortung gegenüber der Umwelt müssen zum Grundsatz in allen Bereichen von Gesellschaft und Wirtschaft werden – eine gewaltige Aufgabe für alle. Die indische Umweltaktivistin und Trägerin des alternativen Nobelpreises Vandana Shiva bringt es auf den Punkt [2, S. 149]:

Der Schutz der Biodiversität erfordert an einigen Stellen eine radikale Änderung unserer Denkweise, unserer Konsumgewohnheiten und Produktionsmuster, aber auch unserer Politik, damit die Millionen von anderen Arten geschützt werden können.

Literatur

1. Sekretariat des Übereinkommens der biologischen Vielfalt (2017) Die Lage der biologischen Vielfalt: 4. Globaler Ausblick. Zusammenfassung. http://www.bmub.bund.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Naturschutz/global_biodiversity_outlook_4_bf.pdf
2. Shiva V (2001) Biodiversität. Plädoyer für eine nachhaltige Entwicklung. Haupt, Bern

Weiterführende Literatur

3. The World Bank (2017) Population total. <http://data.world-bank.org/indicator/SP.POPTOTL>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017
4. Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) Global Biodiversity Outlook 4. Montréal. <https://www.cbd.int/GBO4/>. Zugegriffen: 9. Aug. 2017

Stichwortverzeichnis

A

Acinonyx jubatus 93
Adenophora liliifolia 308
Agrá schwarzeneggeri 30
Alca impennis 286
Amborella trichopoda 164
Ameiva nodam 29
Anax imperator 46
Anopheles darlingi 192
Anpassung 90
Anthropozän 236, 239
Arabische Oryx 311
Art, invasive 267
Artemisia annua 182
Artenkenntnis 298, 299
Artenschutz 307
Artensterben 291

Artenvielfalt 52
 automatische Erfassung 69
Artkonzept 20
Arzneimittel 181
Asiatische Hornisse 271
Aussterben 277
Aussterberate 283, 289
Auswilderung 311, 312

B

Ba humbugi 30
Bestäuber 145, 154, 209
Bestäubung 147, 148
Beziehung, ökologische 143
Biodiversität 6
 Entstehung 157
 Konferenz 1

- Nutzen 173
 - Verlust 240, 241
 - Vermittlung 295
 - Biodiversitäts-Exploratorien 225
 - Biodiversitätsforschung 13, 225
 - Biomonitoring 65
 - Biorock 332
 - Biotopverbund 320
 - Biozönose 108
 - Bisamratte 266
 - Blütenpflanze
 - Evolution 161, 162
 - Bodenbildung 207
 - Borrelia burgdorferi* 189
 - Brighamia insignis* 272
 - Buntes Läusekraut 45
- C
- Carpobrotus edulis* 266
 - Castor fiber* 96
 - Census of Marine Life 25
 - Challenger-Expedition 26
 - Charis matic* 30
 - Chenopodium quinoa* 180
- D
- Destruent 119
 - Diomedea exulans* 96
 - DNA
 - Barcoding 74
- Sequenzierung 32
 - Dungkäfer 123
 - Durchwachsene Silphie 179
- E
- Einjähriger Beifuß 182
 - Equus ferus przewalskii* 311
 - Erbgutanalyse 32
 - Erhaltungskultur 308
 - Erhaltungszucht 311
 - Erreger 189
 - Erstbeschreibung 27
 - Europäischer Biber 96
- F
- Falco peregrinus* 44
 - Fichtenkreuzschnabel 86
- G
- Gegenblättrige Steinbrech 46
 - Gepard 93
 - Global Coral Reef Alliance 332
 - Gräser
 - Evolution 165
 - Feuer 165
 - Große Königslibelle 46
 - Großer Tümmler 86
 - Grünbrücke 321

H

Hawaii-Akepakleidervogel 44

Hochmoor 326

Hottentottenfeige 266

I

Industrialisierung 233, 234

Infektionskrankheit 190

Inhaltsstoff 181

J

Jena-Experiment 222

K

Kalamität 130

Kegelschnecke 183

Klimax 133

Klimazone 37

Knollenfäule 92

Koevolution 160

Kolibri 149

Kommensalismus 147

Konkurrenz 147

Konkurrenzausschlussprinzip
116

Korallenriff 330

Krankheitserreger 192

Kreidezeit 159, 162, 283

Kunstdünger 249

L

Lasiommata megera 260

Lates niloticus 270

Lebensgemeinschaft 115

Lebensraum 100, 101

Zerstörung 263

Lebensraumschutz 307

Loxia curvirostra 86

Loxops coccineus 44

Lyme-Borreliose 189

M

Magerrasen 329

Massenaussterben 278, 283,
285, 291

Mauerfuchs 260

Millenium Ecosystem
Assessment 260

Miscanthus × giganteus 180

Mutualismus 147

Mykorrhizapilze 152

Mykorrhizen 152

N

Natura 2000 106

Naturerfahrung 302

Naturkunde 302

Naturschutzgebiet 315

Nilbarsch 270

Nische, ökologische 112, 113

Nostoc commune 245

Nutzpflanze 177, 184

Nutztier 184

O

Ökosystemdienstleistung 203,
205, 214

Ökosystemingenieur 119

Ökotyp 86

Ondatra zibethicus 266

Oryx leucoryx 311

P

Paedophryne amauensis 21

Pandanus pyramidalis 287

Parasitismus 147

Pedicularis oederi 45

Pflanzengesellschaft 104, 105

Pflanzenpathogen 193

Phänologie 85

Phytophthora infestans 92

Prädation 147

Primärkonsument 119

Produzent 119

Prozessschutz 318

Przewalski-Pferd 311

Pyramiden-Spiralpalme 287

Q

Quinoa 180

R

Rasse, ökologische 86

Regenwaldrodung 3, 4

Renaturierung 308, 327

Rhododendron heterolepis 22

Riesenalk 286

Riesenchinaschilf 180

Rote Liste 287

S

Samenverbreitung 148

Saxifraga oppositifolia 46

Schädlingskontrolle 212

Seegraswiese 330

Sekundärkonsument 119

Silphium perfoliatum 179

Stabilität 219

Sternschneuzer 245

Stickstoffeintrag 249

Stickstofffixierung 246

Störung 128

Störungshypothese,
intermediäre 137

Strobilanthes frondosa 23

Sukzession 133

Symbiose 147, 151

T

Taiga 37

Tectitethya crypta 182

Tiefsee 25

Tropen, Artenvielfalt 40

Tundra 37

Tursiops truncatus 86

U

Übereinkommen über die
biologische Vielfalt 8

Übernutzung 260

Umwelt 113

DNA 75

Umweltveränderung, globale
235

Uniformität, genetische 92

V

Vegetationszone 36, 100

Vespa velutina 271

Vielfalt, genetische 86, 88, 90

Viktoriasee 270

Vulkanpalme 272

W

Wanderalbatros 96

Wanderfalke 44

Washingtoner Artenschutzab-
kommen 262

Wiederansiedlung 308, 310,
313

Wilderei 262

Wildnisgebiet 318

Wollemia nobilis 22

Wollemie 22

Y

Yellowstone-Nationalpark 139

Z

Zeus olympius 30



Willkommen zu den Springer Alerts

Jetzt
anmelden!

- Unser Neuerscheinungs-Service für Sie:
aktuell *** kostenlos *** passgenau *** flexibel

Springer veröffentlicht mehr als 5.500 wissenschaftliche Bücher jährlich in gedruckter Form. Mehr als 2.200 englischsprachige Zeitschriften und mehr als 120.000 eBooks und Referenzwerke sind auf unserer Online Plattform SpringerLink verfügbar. Seit seiner Gründung 1842 arbeitet Springer weltweit mit den hervorragendsten und anerkanntesten Wissenschaftlern zusammen, eine Partnerschaft, die auf Offenheit und gegenseitigem Vertrauen beruht.

Die SpringerAlerts sind der beste Weg, um über Neuentwicklungen im eigenen Fachgebiet auf dem Laufenden zu sein. Sie sind der/die Erste, der/die über neu erschienene Bücher informiert ist oder das Inhaltsverzeichnis des neuesten Zeitschriftenheftes erhält. Unser Service ist kostenlos, schnell und vor allem flexibel. Passen Sie die SpringerAlerts genau an Ihre Interessen und Ihren Bedarf an, um nur diejenigen Information zu erhalten, die Sie wirklich benötigen.

Mehr Infos unter: springer.com/alert