



Sechs Milliarden Menschen leben auf der Erde. Wir teilen diesen Planeten jedoch mit Trillionen von Tieren und Pflanzen. Welchen Wert die zahlreichen Pflanzen- und Tierarten haben, ist schwer abzuschätzen und leicht zu ignorieren – insbesondere dann, wenn es darum geht, die Ernte für das nächste Jahr sicherzustellen. Ackerflächen liefern einen greifbaren Ertrag, dessen Wert unmittelbar durch die Kräfte des Marktes festgelegt wird. Doch wozu brauchen wir 25 000 Orchideenarten, 1,5 Millionen Pilzarten, 400 000 verschiedene Fadenwürmer oder 20 600 Fischarten? Fest steht: Auch die moderne Zivilisation beruht nicht nur auf Technik und Kultur, sondern ist in hohem Maße von einer Vielfalt

bewirkt haben, haben zu Ausbeutungsraten geführt, die zehntausend bis eine Million Mal höher sind als die Geschwindigkeit, mit der diese natürlichen Ressourcen erneuert werden. Ein tiefer gehendes Verständnis des Begriffs „Biodiversität“ gilt daher als eine der großen wissenschaftlichen Herausforderungen und wird wesentlich zu unserer Zukunftsfähigkeit beitragen.

WIE LÄSST SICH BIODIVERSITÄT MESSEN?

Eine erste systematische Aufstellung der seinerzeit bekannten lebenden Arten verdanken wir dem schwedischen Naturforscher Carl von Linné. Sein 1758 herausgegebenes Werk ver-

Vom Vorteil, etwas anders zu sein – warum Leben auf Biodiversität setzt

der Organismen abhängig. Intakte Ökosysteme stellen dem Menschen lebenswichtige Güter und Leistungen – wie z.B. Nahrung, Wasser, Baustoffe, Sauerstoff, Kohlenstoff etc. – quasi kostenlos zur Verfügung.

SCHRUMPFENDER MARKT DER MÖGLICHKEITEN

Zwischen den Hunderten von Arten, die das Funktionieren eines Ökosystems ermöglichen, bestehen komplexe Wechselwirkungen. Sie folgen nicht vorhersagbaren Mustern und lassen sich auch nicht ohne weiteres durch einfache Mathematik beschreiben. Gegenwärtig gehen Arten mindestens tausendmal, vielleicht zehntausendmal schneller verloren, als sie durch neue ersetzt werden, und wir beginnen erst langsam zu verstehen, wie einfache Ökosysteme auf den Verlust oder das Hinzufügen einzelner Tier- oder Pflanzenarten reagieren. Im Verlauf der Erdgeschichte tauchten ständig neue Arten oder Gruppen verwandter Arten auf, während andere ausstarben. Die Evolution neuer Arten ist die Grundlage für biologische Vielfalt. An der Schwelle zum „Jahrhundert der Biologie“ nimmt jedoch der Verlust biologischer Arten weltweit in einer nie zuvor da gewesenen Größenordnung und Geschwindigkeit zu. Die Wettbewerbskräfte am Markt, die in den vergangenen beiden Jahrhunderten erhebliche Fortschritte bei der Erschließung von Rohstoffen

zeichnete etwa 9000 Tier- und Pflanzenarten und bildete einen bedeutenden Ausgangspunkt für eine Liste, die sich in den nächsten 200 Jahren auf über eine Million Spezies ausdehnte. Unglücklicherweise müssen wir aber mindestens genauso viele neue Arten erst noch klassifizieren, vielleicht sogar zehnmal so viele. Und schließlich wird es nicht nur darum gehen, bisher unbekannte Arten zu entdecken; denn Biodiversität findet sich auf verschiedenen hierarchischen Ebenen – auf der Ebene der Ökosysteme ebenso wie auf der Ebene der Lebensgemeinschaften, der Arten, der Populationen und schließlich der Gene. Letztere sind die kleinsten grundlegenden Einheiten, auf denen biologi-



→ sche Vielfalt fußt. Und sie sind der „Motor“ der Evolution; denn alle Arten benötigen eine gewisse, über eine Population verteilte Vielfalt an Genen, sollen sie ihre Fähigkeit beibehalten, sich an sich verändernde Umweltbedingungen anzupassen. Ein Gen, das zwar selten, aber dennoch vorhanden ist, könnte genau das richtige sein, wenn eine Population in eine neue Umgebung gedrängt wird.

EINE LEBENSVERSICHERUNG AUSGEZAHLT IN GENEN

Am Beispiel des **Vogelzugs** lässt sich eindrucksvoll vermitteln, wie Umweltveränderungen, insbesondere Klimaänderungen, die Entwicklung neuer Zugmuster bei mitteleuropäischen Vogelarten beschleunigen. Die Zugbewegungen der Vögel, vor allem der **Teilzug**, sind früh in der Evolution entstanden. Von den rund 400 Brutvogelarten Europas sind derzeit 60 Prozent so genannte Teilzieher, d.h. nur ein Teil der Tiere verlässt im Winterhalbjahr das angestammte Brutgebiet und zieht gen Süden, während der Rest der Population vor Ort bleibt. Teilzug ist eine ausgesprochen erfolgreiche, weil anpassungsfähige Lebensform und nimmt eine Schlüsselstellung ein beim Übergang von reinen **Zugvögeln** zu weniger ausgeprägten Zugvögeln bis hin zu **Standvögeln**, also jenen Vogelarten die ganzjährig in ihrem Brutgebiet verbleiben.

In den 1990er Jahren konnten Peter Berthold und seine Mitarbeiter an der Vogelwarte Radolfzell durch Untersuchungen an Mönchsgrasmücken nachweisen, dass die verschiedenen Formen des Vogelzugs tatsächlich unmittelbar genetisch gesteuert werden –

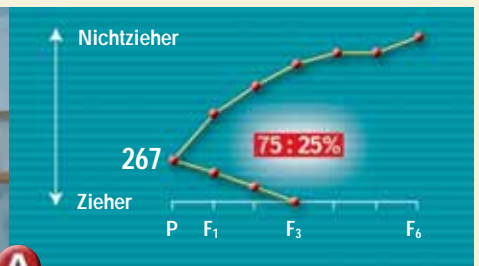
allerdings nicht durch ein einziges Gen, sondern durch eine Vielzahl von Genen: Ziehen und Nichtziehen sind so genannte polygen gesteuerte Merkmale. Teilziehende Vögel besitzen das Potenzial sowohl für Ziehen als auch für Nichtziehen. Unter extremen Bedingungen können sie, das zeigten die Experimente der Max-Planck-Forscher, zu phänotypisch fast reinen Zug- oder Standvögeln selektiert werden (**Abb. A**). Die Umwandlung einer Zugvogel- in eine nahezu reine Standvogelpopulation (oder umgekehrt) würde, so die Berechnungen der Biologen, bei Singvögeln vermutlich nur etwa 25 Generationen oder 40 Jahre dauern. Teilzug besitzt damit ein, wie die Wissenschaftler sagen, hohes **Mikroevolutionspotenzial**. Seine genetische Verankerung bringt keinerlei Nachteile, bietet aber den großen Vorteil, dass die Entwicklung unter andersartigen Umweltbedingungen jederzeit durch einfache **Gen-Selektion** wieder umkehrbar ist. Die Forscher vermuten daher, dass auch die restlichen 40 Prozent der europäischen Brutvogelarten, die derzeit sehr hohe Zugvogelanteile besitzen, zumindest genotypische Teilzieher sind. Das heißt, die Tiere besitzen in ihrem Genom nach wie vor auch jene Gene, die Standvogelverhalten bzw. Nichtziehen bewirken können.

Ein Beispiel für eine solche Entwicklung liefert unsere heimische Amsel: Bis ins 19. Jh. hinein war sie in Mitteleuropa praktisch ausschließlich Zugvogel, der zur Brutzeit scheu in Wäldern lebte und zum Überwintern in den Mittelmeerraum zog. Heute sind die mitteleuropäischen Amselpopulationen Teilzieher, von denen rund die Hälfte der Individuen

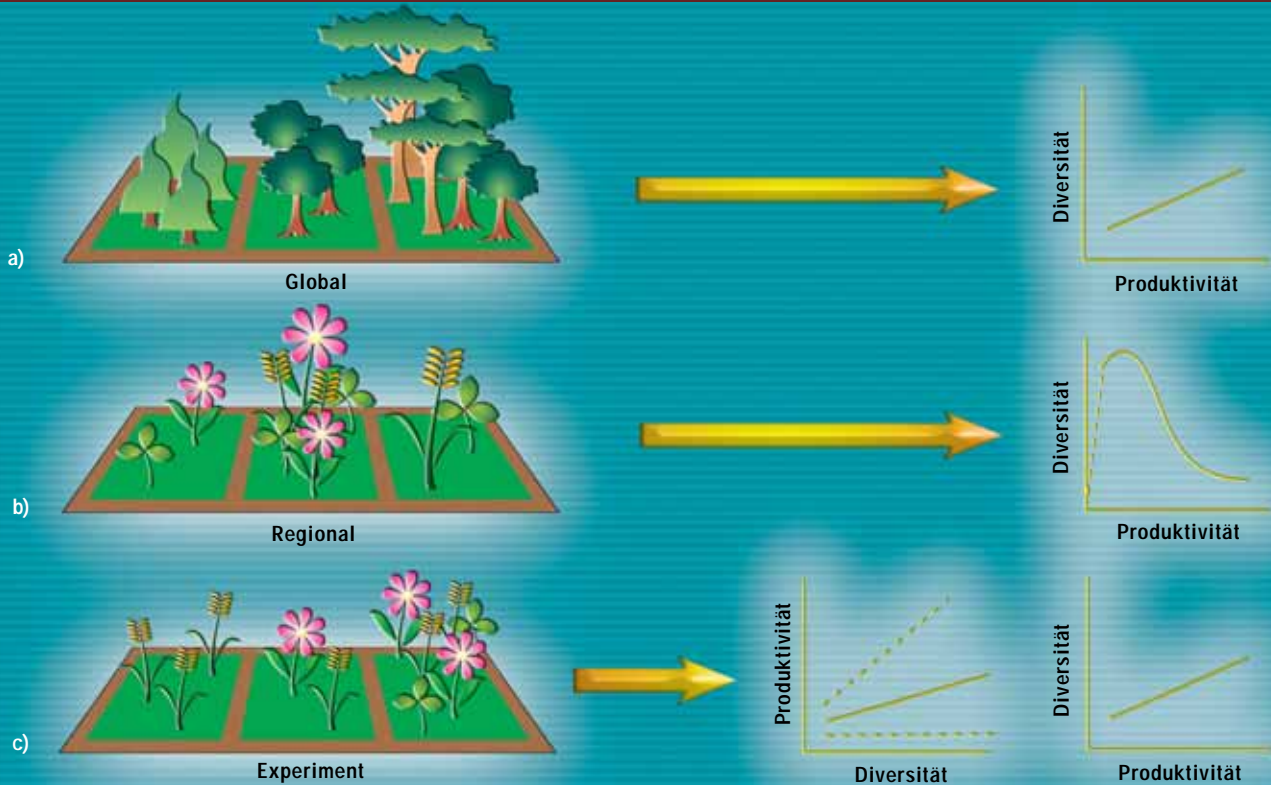
ganzjährig im Brutgebiet bleibt. Denn die Umweltbedingungen für Amseln haben sich zunehmend verbessert. So gibt es im Bereich der Städte und Dörfer mehr und mehr Rasenflächen, die den Regenwurmfang erleichtern; darüber hinaus füttern Vogel-Liebhaber alljährlich die Tiere durch harte oder auch weniger harte Winter. Diese Standvögel brüten bevorzugt miteinander in den ortsnahe, günstigeren Lebensräumen („Stadtamseln“), während die ziehenden Individuen in den weniger günstigen ortsferneren Waldgebieten („Waldamseln“) miteinander brüten. Sollten sich die Temperaturen in unseren Breiten in den kommenden Jahrzehnten infolge des Treibhauseffekts tatsächlich um mehrere Grad Celsius erhöhen, so erwarten die Forscher, dass zahlreiche Arten, die heute Teilzieher sind, nahezu ausschließlich oder gänzlich zu Standvögeln werden – wie heute schon die Amselpopulationen am Niederrhein.

LANGSTRECKENFLIEGER OHNE MILES & MORE RABATT

Die Vorteile des Überwinterns vor Ort liegen auf der Hand: Die Vögel können ihre Reviere frühzeitig besetzen und haben dabei die Auswahl unter den besten Territorien; ein vorgezogener Brutbeginn erhöht die Chancen für Ersatz- und Zweitbruten. Zudem sinkt infolge milderer Winter die Sterblichkeitsrate. Wärmeres Klima würde also die Standvogelpopulationen stark anwachsen lassen. Eine große Zahl von Standvögeln könnte sich somit zusätzlich neue ökologische Nischen erschließen und sich weit mehr flächendeckend ansiedeln als gegenwärtig. Das brächte allerdings große Probleme für unsere Zugvögel mit



◀ An einer teilziehenden Mönchsgraspopulation konnten Max-Planck-Forscher (links im Bild) zeigen, dass aus einer solchen Population innerhalb von nur drei bis sechs Generationen (F₃ bis F₆) durch experimentelle Selektion – die der gerichteten Mikroevolution in der freien Natur entspricht – nahezu reine Zug- bzw. fast ausschließlich Standvögel gezüchtet werden können. 267 Vögel wurden mit der Hand aufgezogen. Diese Ausgangspopulation bestand zu 75% aus Zugvögeln und zu 25% aus Standvögeln.



▲ Das Verhältnis zwischen Diversität und Produktivität hängt bei Pflanzen vom räumlichen Maßstab ab. Global betrachtet erhöht sich die Diversität mit der Produktivität kontinuierlich von den Polen zum Äquator. Die tropischen Regenwälder sind die produktivsten und artenreichsten Landökosysteme der Erde (a). Im regionalen Maß-

stab nimmt ab einem bestimmten Punkt die Diversität mit steigender Produktivität wieder ab. So gedeihen bestimmte Pflanzenarten an manchen Standorten so gut, dass sie zwar die Biomasse erhöhen, aber eben andere Arten verdrängen (b). Im Experiment zeigt sich dagegen eine positive Korrelation zwischen Produktivität und Diversität. Hier

können die Forscher lediglich den Parameter „Diversität“ verändern und die Produktivität als Antwort darauf messen (c). Im nicht manipulierten Ökosystem verhält es sich aber anders: Die Produktivität ändert sich in Abhängigkeit vom Angebot an Nährstoffen, Wasser- und Licht – und als Folge davon ändert sich auch die Diversität.

sich. Umfangreiche Untersuchungen in England haben gezeigt, dass Zugvögel in ihrer Siedlungsdichte und ihrer Populationsentwicklung direkt von der Populationsstärke der in ihrem Brutgebiet lebenden Standvögel abhängig sind. Besonders die spät heimkehrenden Langstreckenzieher können nur jene Lebensräume besetzen, die ihnen Standvögel und früher heimkehrende Arten frei lassen. Für Garten- und Mönchsgrasmücke ist dieser Zusammenhang direkt experimentell nachgewiesen: Wurden in einem Versuchsgebiet Mönchsgrasmücken (die wesentlich früher heimkehren) zur Zeit der Ankunft der Gartengrasmücken weggefangen, dann siedelten sich dort weit mehr Gartengrasmücken an als normalerweise (Gartengrasmücken werden von den sehr aggressiven Mönchsgrasmücken oft direkt vertrieben). Die **Klimaerwärmung** – so die Prognose der Ornithologen – könnte Langstreckenzieher allmählich aus unserer heimischen Vogelwelt verdrängen. Sollte es etwa den Afrikaziehern gelingen, bereits im

Mittelmeerraum zu überwintern, könnten sie u. a. aufgrund kürzerer Zugstrecken die Bestandseinbußen möglicherweise wieder ausgleichen. Ansätze dazu gibt es bereits: So überwintern inzwischen mehr als 15 Vogelarten, die zuvor ausschließlich in Zentral- und Südafrika das Winterhalbjahr verbracht haben, in kleiner, aber steigender Zahl im Mittelmeerraum. Dazu gehören auch unsere Mehlschwalben und Weißstörche.

EINE SCHREBERGARTENKOLONIE FÜR FORSCHUNGSZWECKE

Änderungen bestimmter Umweltparameter können also zu einer vollkommen neuen geographischen Verteilung von Populationen und zu einer anderen Zusammensetzung von Arten innerhalb eines Ökosystems führen. Solche Wechselbeziehungen zwischen Artenvielfalt und Ökosystemprozessen untersuchen auch die Forscher des Max-Planck-Instituts für Biogeochemie in Jena. Eines der umfangreichsten Experimente dazu war das zwischen

1996 und 1999 durchgeführte EU-Projekt BIODEPTH. An acht Standorten innerhalb Europas wurden in einem einheitlichen Versuchsaufbau 480 Wiesenparzellen angelegt und verschiedene heimische Pflanzenarten ausgesät. Dabei variierten die Forscher sowohl die Zahl als auch die Zusammensetzung der Arten in den jeweiligen Mini-Gärten. Sie reduzierten die Zahl der Arten in den jeweils vier Quadratmeter großen Parzellen von 16, 8, 4 und zwei Arten bis hin zur Monokultur, also einer verbleibenden Art. Darüber hinaus teilten die Forscher die Pflanzen in Artgruppen mit ähnlichen Eigenschaften, so genannte „funktionelle Gruppen“, und variierten diese gleichzeitig auf den Versuchsflächen. Um die Zusammensetzung an Pflanzen konstant zu halten, mussten die Forscher regelmäßig zum Unkraut-Jäten ins Feld. Über drei Jahre hinweg erfassten die Ökologen europaweit eine Reihe von Ökosystemeigenschaften und -prozessen. Eine ihrer ganz wesentlichen Fragen lautete: Beeinflusst pflanzliche **Artenvielfalt** →



→ die **Produktivität** eines Ökosystems? Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass der nördlichste und die südlichsten Standorte generell niedrigere Biomasse-Werte (Heu-Ertrag) lieferten als die zentraleuropäischen Standorte. Ein Trend jedoch war unverkennbar: Sowohl die Anzahl der Arten als auch die der funktionellen Gruppen beeinflusste die Produktivität. Die Mini-Gärten mit geringerer pflanzlicher Diversität bauten tatsächlich weniger **Biomasse** auf als jene mit einer größeren Vielfalt an Arten oder an funktionellen Typen.

NISCHENVIELFALT – JEDEM SEIN EIGENES REICH

Diese in der Fachzeitschrift *Science* veröffentlichten Ergebnisse schienen eine bereits von Charles Darwin in seinem Buch „Die Entstehung der Arten“ 1859 geäußerte Vermutung zu bestätigen: „If a plot of ground be sown with one species of grass, and a similar plot be sown with several distinct genera, a greater number of plants and a greater weight of dry herbage can thus be raised“. Dennoch blieben einige Forscherkollegen skeptisch: Die Ergebnisse, so einer der Haupteinwände, seien zwar für experimentell angelegte Ökosysteme zutreffend, ließen sich aber nicht unbedingt auf natürliche, bestehende Ökosysteme übertragen (**siehe Kasten Seite 3**). Im Zuge dieser Diskussion wurden daher eine Reihe neuer Forschungsprojekte initiiert, u.a. auch zur Übertragbarkeit der Ergebnisse auf natürliche Pflanzenbestände. Inzwischen gilt BIODEPTH als eines der herausragendsten EU-Projekte. „Wir konnten in ersten Ansätzen experimentell zeigen, dass ökologische Unterschiede zwischen den Arten dazu führen, dass mit zunehmender Artenzahl die vorhandenen Ressourcen wie Licht, Wasser und Nährstoffe effektiver genutzt werden“, erläutert Ernst-Detlef Schulze, Direktor am Jenaer Institut. Die Wissenschaftler nennen das **Nischen-Komplementarität**. So durchwurzeln verschiedene Pflanzenarten den

Bodenraum unterschiedlich und nutzen das vorhandene Wasser optimal. Wächst dagegen nur eine einzige Art im Ökosystem, so wurzeln alle Pflanzen in derselben Bodentiefe. Sie konkurrieren dann um weniger verfügbares Wasser und wachsen schlechter.

Im Frühjahr 2002 starteten die Max-Planck-Forscher im Saaletal bei Jena ein Projekt, welches an Größe und angestrebter Laufzeit (10 Jahre) die bisherigen Versuche übertrifft: Auf einer Fläche von 13 Fußballfeldern legten sie über 400 Wiesenparzellen an und säten 495 verschiedene Mischungen von Wiesenpflanzen aus (**Abb. B**). Diese stammten aus einem Pool von 60 Pflanzenarten, die vier verschiedenen funktionalen Gruppen zugeordnet werden konnten. Fünf Monate nach der Aussaat wurden die Wiesen zum ersten Mal gemäht, die Pflanzen nach Arten sortiert und gewogen. Es bestätigten sich die Ergebnisse früherer Experimente: Artenreiche Wiesen produzierten mehr Biomasse als artenarme. Dabei wirkte sich der Verlust einer funktionellen Gruppe verstärkt auf die Produktivität aus. Um festzustellen, inwieweit Wiesen mit weniger Pflanzenarten z.B. das Nährstoffangebot schlechter nutzen (manche Pflanzenarten benötigen viel Stickstoff, andere eher Phosphor), nehmen die Forscher in regelmäßigen Abständen Wasserproben. Da überschüssige, also nicht genutzte Nährstoffe im Boden versickern, belasten sie das Grundwasser. Steigt der Gehalt an bestimmten Nährstoffen in der Wasserprobe, so wäre das ein Beleg dafür, dass artenarme Systeme die angebotene Nischenvielfalt nicht ausnutzen können. Im BIODEPTH-Experiment überstieg die Nitratkonzentration im Bodenwasser artenarmer Wiesen den zulässigen Grenzwert für Trinkwasser um das 7-fache.

Offen ist, inwieweit sich die Ergebnisse aus den Wiesen-Experimenten auch auf Wälder übertragen lassen. Angesichts zunehmender Sturm-

▲ Nach der Aussaat im Frühjahr (a) sind die Pflanzen in den jeweiligen Wiesenparzellen im Juli bereits gut hochgewachsen (b). Im BIODEPTH-Versuch waren alle Parzellen unterirdisch „verkabelt“, um Bodenwasser zu gewinnen (c).

schäden in den vergangenen Jahren werden derzeit verstärkt Waldumbauprogramme gefördert. Welche möglichen Vorteile sich aus dem Umbau von artenarmen in arten- und strukturreiche Bestände ergeben, ist allerdings noch wenig untersucht. Mit BIOTREE haben die Biogeochemiker im Frühjahr 2003 ein weiteres, weltweit einzigartiges Projekt gestartet: Auf insgesamt 80 ha Brachland werden in den nächsten zwei Jahren 250 000 Bäume gepflanzt. Diese Bestände sollen über die kommenden Jahre und Jahrzehnte hinweg wissenschaftlich untersucht werden. Messinstrumente im Boden, an den Pflanzen sowie ein meteorologischer Messturm erfassen die Prozesse und Veränderungen von Boden, Vegetation und Atmosphäre beim Heranwachsen des Waldes. Vielleicht bewegt dann wenigstens der wissenschaftlich bestätigte Nutzen die Menschen dazu, den biologischen Reichtum dieser Erde zu schützen.

Schlagwörter: Vogelzug, Teilzug, Zugvögel, Standvögel, Mikroevolution, Gen-Selektion, Klimaerwärmung, Artenvielfalt, Produktivität, Biomasse, Nischen-Komplementarität

Lesetipps: Andrew P. Dobson, *Biologische Vielfalt und Naturschutz: der riskierte Reichtum*, Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg, 1997; M. Gleich, D. Maxeiner, M. Miersch, F. Nicolay, *Life Counts*, Berlin-Verlag, 2000

Internet: www.learn-line.nrw.de/angebote/agenda21/thema/biovielfalt.htm

DIE „MAX“-REIHE

auch unter www.max-reihe.mpg.de

BIOMAX, GEOMAX und TECHMAX erscheinen jeweils zweimal im Jahr und berichten über aktuelle Forschungsergebnisse aus den Max-Planck-Instituten vor allem für Lehrer und Schüler. Weitere Exemplare können unter folgender Adresse kostenlos bestellt werden: