

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel

Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft Basel ; Naturforschende Gesellschaft Baselland

Band: 13 (2011)

Artikel: Biodiversität widerspiegelt die Qualität der von Menschen beeinflussten Lebensräume

Autor: Baur, Bruno

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-676664>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 27.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Biodiversität widerspiegelt die Qualität der von Menschen beeinflussten Lebensräume

BRUNO BAUR

Zusammenfassung: Biodiversität – auch biologische Vielfalt genannt – umfasst die Vielfalt der Pflanzen- und Tierarten, die Variabilität innerhalb der Arten (genetische Vielfalt) sowie die Vielfalt der Lebensräume und der Ökosystemprozesse. Viele Menschen sind sich nicht bewusst, dass ihr Leben von der Funktion verschiedener Ökosysteme abhängig ist. Diese produzieren für die Menschen Nahrungsmittel und Rohstoffe wie Fasern und Holz, bilden Sauerstoff, reinigen Wasser und Luft und regulieren das Klima. Die Qualität dieser natürlichen Dienstleistungen hängt weitgehend von der vorhandenen Biodiversität ab. Ökonomisch betrachtet sind die gesamten Ökosystemleistungen von grossem finanziellen Wert. Aus ethischer Sicht hat jedes Lebewesen, egal ob Pilz, Pflanze oder Tier, auch einen Eigenwert. Der Mensch hat deshalb kein Recht, eine Art auszurotten. Die letzten Jahrzehnte wurden aber geprägt durch einen Artenschwund von gewaltigem Ausmass. Die Hauptursachen für dieses Massenaussterben sind die Zerstörung von natürlichen Lebensräumen und veränderte Landnutzung im Zusammenhang mit der steigenden Bevölkerungszahl und dem erhöhten Pro-Kopf-Verbrauch an natürlichen Ressourcen. Massnahmen zur Reduktion oder zur Vermeidung von weiterem Aussterben von Arten sind durchaus bekannt und werden auch regional und lokal in verschiedenen Projekten erfolgreich angewendet. Auf internationaler und nationaler Ebene sind der Schutz und die Förderung der Biodiversität aber weiterhin ungenügend, vor allem weil der politische Wille fehlt, die bestehenden gesetzlichen Grundlagen umzusetzen und die internationalen Abkommen einzuhalten und weil (kurzfristige) wirtschaftliche Interessen der grundlegenden Idee einer nachhaltigen Entwicklung der Gesellschaft und ihrer Umwelt entgegenwirken.

Abstract: Biodiversity mirrors the quality of man-influenced habitats. Biodiversity or biological diversity encompasses the species richness of plants and animals, the within-species variability (genetic diversity) as well as the variety of habitats and ecosystems. Many people are unaware that their lives depend on the functioning of various ecosystems producing food, oxygen and raw material like fibre and timber, purifying waste water and polluted air, and regulating the climate. The quality of these natural ecosystem services is mainly depending on the locally existing biodiversity. Estimates of the overall human welfare benefits from these ecosystem services are significant. From an ethical point of view, each organism – either fungus, plant or animal – has its intrinsic value. Thus, human beings do not possess the right to extirpate any species. However, there is clear evidence that the current loss of global biodiversity is occurring at a rate never before experienced. Destruction of natural habitats and changes in land use are considered as main causes for the present mass extinction, driven by the increasing population and the increasing per-capita rate of natural resource use. Measures for the reduction and avoidance of further species extinctions are known and are successfully applied in various projects on a regional or local scale. At the international and national level, however, the protection and support of biodiversity are still insufficient, mainly because of the lack of political will to implement the existing laws and international conventions, and because (short-term) economic interests counteract the basic idea of sustainable development of society and its environment.

Key words: biological diversity, ecosystem services, human welfare, species extinction.

Biodiversität als Konzept

Biodiversität oder biologische Vielfalt bedeutet nicht nur die Vielfalt der Pflanzen- und Tierarten. Zur Biodiversität gehören auch die genetische Vielfalt und die verschiedenen Lebensräume und Ökosysteme, die unterschiedlichen Lebensgemeinschaften von Arten und ihre Wechselbeziehungen untereinander, wie beispielsweise die Bestäubung blühender Pflanzen durch Bienen und andere Insekten. Die genetische Vielfalt bezeichnet die im Erbmaterial festgehaltenen Unterschiede zwischen Individuen, zwischen Gruppen von Individuen und zwischen Arten. Bekannte Beispiele für genetische Vielfalt sind die Augenfarbe der Menschen, die verschiedenen Sorten von Äpfeln, Birnen und anderen Früchten und Gemüsen, die auf dem Markt angeboten werden, oder verschiedene Rassen von Nutztieren. Die genetische Vielfalt erlaubt es den Arten, sich an Veränderungen der Umwelt anzupassen sowie Krankheiten und Schädlingen zu widerstehen.

Wissenschaftlich kann Biodiversität auf drei Organisationsebenen betrachtet werden: auf der genetischen Ebene, auf der organismischen sowie auf der ökosystemaren Ebene. Somit ist Biodiversität als Objekt schwer erfassbar, da sie alles umfasst, nicht nur die Arten, sondern auch die Vielfalt innerhalb der Arten. Vereinfacht gesagt beinhaltet Biodiversität alle Formen der Lebensvielfalt auf der Erde.

Der Begriff «Biodiversität» entstand Anfang der 1980er Jahre, als amerikanische Wissenschaftler auf den rapiden Artenschwund in tropischen Regenwäldern aufmerksam machten. Bald danach wurde auch eine erste Synthese über das weltweite Ausmass des Aussterbens von Arten und mögliche Konsequenzen in einem Buch mit dem Titel «Biodiversity» veröffentlicht (Wilson 1988). Der neu entstandene Begriff umschrieb die Lehre von der Erforschung biologischer Vielfalt und ihrer Bedrohung auf der Erde unter gleichzeitiger Berücksichtigung geeigneter Schutzmassnahmen. Diese ursprünglich relativ restriktive wissenschaftliche Bedeutung von Biodiversität wurde aber innert kurzer Zeit erweitert. In dem an der UNO-Konferenz über Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro

im Jahre 1992 verabschiedeten Übereinkommen sollte mit der Biodiversität ein zusätzliches Zielpublikum angesprochen werden, nämlich politische Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit (Biodiversitäts-Konvention; www.cbd.int). Biodiversität wurde so zu einem Konzept weiterentwickelt, dessen drei Hauptziele der Schutz der biologischen Vielfalt, deren nachhaltige Nutzung und die gerechte Verteilung der sich aus der Nutzung ergebenden wirtschaftlichen Vorteile sind. Die Biodiversitäts-Konvention ist eng mit dem Konzept der nachhaltigen Entwicklung (im Sinne der Brundtland-Kommission) verknüpft, stellt aber eine ökonomische Argumentation in den Vordergrund, mit der Annahme, dass derartige Argumente überzeugender sind als rein ökologische oder ethische (Baur 2010). Der ursprünglich wissenschaftliche Begriff hat schnell in verschiedenen Bereichen des Naturschutzes sowie in Gesetzen und Verordnungen einen konzeptionellen Platz gefunden. Biodiversität ist also weit mehr als ein neues Fachgebiet der Biologie. Biodiversität umfasst die ökonomische Nutzbarkeit der Natur, beinhaltet aber auch Aspekte der sozialen Gerechtigkeit sowie Schutzbestimmungen (Baur 2010). Biodiversität integriert auf faszinierende Weise Zahlen, ökologische Zusammenhänge, Wertungen und Forderungen: Mit einem einzigen Begriff wurde eine Verbindung zwischen der biologischen Vielfalt und ihrer Erforschung, Bedrohung, Erhaltung und Nutzung hergestellt (Duelli et al. 2010).

In diesem Beitrag werden ausgewählte Aspekte der Biodiversität skizziert und anhand von Beispielen aus der Nordwestschweiz erläutert. Es wird gezeigt, dass die biologische Vielfalt wie fast überall auf der Welt auch in der Region Basel in den letzten hundert Jahren stark abgenommen hat. Es werden aber auch Massnahmen und Aktionen vorgestellt, die lokal den Artenschwund stoppen und längerfristig zur Erhaltung und zur Förderung der Biodiversität beitragen können.

Artenvielfalt im Laufe der Erdgeschichte

Der zeitliche Ablauf der Evolution kann anhand von Fossilien rekonstruiert werden. Entsprechend der vertikalen Aufeinanderfolge fossilfüh-

render Gesteinsschichten lassen sich Gesellschaften vorzeitlicher Lebewesen in eine zeitliche Reihenfolge bringen und mit Hilfe radiometrischer Methoden kann das Alter der Gesteine und damit dasjenige der gefundenen Fossilien bestimmt werden. Das Vorkommen und das Alter gewisser Fossilien geben zudem Hinweise, wann im Verlauf der Stammesgeschichte bestimmte Innovationen und Aufsplitterungsergebnisse auftraten (Nentwig et al. 2009). Gemeinsame Merkmale bei verschiedenen Gruppen von Lebewesen legen nahe, dass sie ursprünglich von einer Art (oder einem Genpool) abstammen. Mit verschiedenen Ansätzen (vergleichende Anatomie, Morphologie, molekulare Techniken) können Verwandtschaftsverhältnisse sowohl zwischen Arten als auch zwischen taxonomischen Gruppen untersucht werden. Mit Hilfe molekularer Analysen lässt sich auch der Zeitpunkt bestimmter Ereignisse während der Evolution abschätzen (molecular clock; Streit 2007).

Das Alter der Erde wird auf 4.5 Milliarden Jahre geschätzt. Die frühesten Fossilien von lebenden Organismen – einfache Bakterien – stammen aus ca. 3.5 Milliarden altem Gestein. In den nächsten 3 Milliarden Jahren entfaltete sich das Leben vorwiegend im Wasser. Die ersten Eukaryoten entstanden vermutlich vor ungefähr 2 Milliarden Jahren. Aus Einzellern entwickelten sich Zellkolonien und schliesslich die mehrzelligen Organismen.

Die Landbesiedelung, das heisst Anpassungen von aquatischen Lebewesen an eine terrestrische Lebensweise, fand wiederholt und unabhängig voneinander in verschiedenen Gruppen wie Einzellern, Pilzen, Pflanzen, Schnecken und Wirbeltieren statt (Little 1990). Durch fossile Belege relativ gut dokumentiert ist die Landbesiedelung der Pflanzen vor ungefähr 460–480 Millionen Jahren (im Devon). Die Urfarne traten vor etwa 400 Millionen Jahren auf, erreichten schnell eine grosse Vielfalt, starben aber später wieder aus. Die Gymnospermen (Nacktsamer) wurden erstmals in Gesteinen des Devons gefunden und wiesen während des Mesozoikums eine grössere Vielfalt auf als heute. Die Gymnospermen erlebten in den letzten 100 Millionen Jahren einen starken Rückgang, während die Angiospermen (Bedecktsamer) eine grosse Artenviel-

falt entwickelten. Heute gibt es weltweit etwa 800 Gymnospermen-Arten, aber rund 240000 Angiospermen-Arten (Nentwig et al. 2009).

Bei der Betrachtung der Evolution verschiedener Organismengruppen muss auch berücksichtigt werden, dass sich die Landmasse (die späteren Kontinente) im Verlauf der Erdgeschichte in ihrer Lage auf der Erdkugel, in ihrer Grösse (durch Schwankungen im Meeresspiegel) sowie im Ausmass der Isolation verschiedener Teile verändert hat. Im Zeitraum, als die Landbesiedelung durch zahlreiche Gruppen stattfand, gab es nur eine einzige Landmasse (Pangaea). Später, als die Dinosaurier verbreitet waren, trennte sich Pangaea durch plattentektonische Kräfte in Laurasien und Gondwana auf. Die nachfolgende Isolation der Kontinente trug wesentlich zur Entwicklung einzelner Gruppen bei. Ein gutes Beispiel dafür ist der Inselkontinent Australien. Nach der Auflösung Gondwanas in die einzelnen Erdteile driftete die australische Platte lange Zeit weitgehend isoliert in östlicher Richtung. Ein Kontinent übergreifender Artenaustausch konnte nicht mehr stattfinden. In der Isolation Australiens konnten so Organismengruppen überdauern, die sonst fast überall ausgestorben sind, wie etwa die Kloakentiere (Protheria). Auch die Beuteltiere (Metatheria) konnten hier überleben und entwickelten sich zu einer artenreichen Gruppe, während es mit Ausnahme weniger Arten in Amerika auf der Erde sonst keine Vertreter dieser einstmais weit verbreiteten Gruppe mehr gibt.

Fossilien belegen die Zu- und die Abnahmen in der Diversität einzelner Gruppen. Neue Arten haben sich entwickelt, viele sind auch wieder ausgestorben. In Organismengruppen, über die aufgrund von Fossilfunden ausreichende Erkenntnisse vorliegen, ist die Artenzahl seit ihrem ersten Auftreten meistens angestiegen. Die heute lebenden Pflanzen- und Tierarten machen – je nach Schätzung – weniger als 1 % bis maximal 4 % der Arten aus, die jemals auf der Erde gelebt haben. Das Aussterben einer Art ist demnach ein fast ebenso häufiges Ereignis in der Erdgeschichte wie das Erscheinen einer neuen. Es gab aber auch Phasen der Abnahme der Diversität. Aufgrund der Fossilienfunde konnten in der Vergangenheit mindestens sechs grössere Massen-

aussterben von Arten, die sich innerhalb bestimmter Erdeepochen während eines erdschichtlich kurzen Zeitabschnitts ereigneten, dokumentiert werden. Ein solches Massenaussterben ereignete sich beispielsweise am Ende der Kreidezeit vor rund 65 Millionen Jahren, als die Dinosaurier verschwanden. Heute befinden wir uns mitten in einem weiteren Massenaussterben. Es wird geschätzt, dass im 21. Jahrhundert zwischen 10000 und 25000 Arten jährlich auf der Erde aussterben; dies entspricht ein bis drei Arten pro Stunde. Das Artensterben verläuft gegenwärtig mindestens tausend Mal schneller als jemals zuvor in der Erdgeschichte. Zudem wird im Unterschied zu den früheren Ereignissen das aktuelle Massenaussterben durch eine einzelne Art verursacht, nämlich durch den Menschen.

Nach jedem Massenaussterben waren freie ökologische Nischen vorhanden, die die Entwicklung und die Entfaltung (Radiation) anderer Organismengruppen ermöglichte oder beschleunigte. So konnten die landlebenden Säugetiere nach dem Aussterben der Dinosaurier die freiwerdenden Nischen besetzen und eine sehr grosse Artenvielfalt entwickeln.

Wie viele Arten gibt es?

Die Kenntnisse über die einzelnen Artengruppen sind sehr unterschiedlich. Grosse, auffällige Organismen und solche von wirtschaftlicher oder medizinischer Bedeutung (Schädlinge, Krankheitserreger) sind relativ gut erforscht. Riesige Wissenslücken gibt es hingegen bei kleinen, eher unscheinbaren Organismen und solchen, die Lebensräume bewohnen, welche für Menschen schwer zugänglich sind (Boden, Tiefsee, Kronendach des tropischen Regenwaldes). Momentan sind etwa 1.8 Millionen Arten bekannt (Baur 2010). Bei den Pflanzen dürfte ein grosser Teil der Arten entdeckt und beschrieben sein. Bei den Mikroorganismen (Prokaryoten), Pilzen und verschiedenen Gruppen von wirbellosen Tieren (Würmern, Milben, Insekten) ist hingegen nur ein Bruchteil der zu erwartenden Arten wissenschaftlich beschrieben. So wird beispielsweise angenommen, dass bisher nur etwa 1 % der Mikroorganismen-Arten bekannt sind (Nentwig et al. 2009). Die tatsächliche Zahl aller auf der Erde



Abb. 1: Felsflühe im Nordwestschweizer Jura mit ihren zahlreichen hochspezialisierten Pflanzen- und Tierarten gelten als lokale Biodiversitäts-Hotspots (Rappenflue bei Riederwald, Liesberg).

existierenden Arten kann deshalb nur geschätzt oder hochgerechnet werden. Mit unterschiedlichen Ansätzen wurden Schätzwerte von 5 Millionen bis über 100 Millionen Arten ermittelt (Streit 2007, Nentwig et al. 2009). Zur breiten Streuung dieser Schätzwerte tragen einerseits die grosse Unsicherheit in der Zahl der Mikroorganismen bei und andererseits die vielen Insektenarten, die in den Baumkronen tropischer Regenwälder leben, aber noch weitgehend unbekannt sind. Werden neuere Schätzungen betrachtet, kann davon ausgegangen werden, dass auf der Erde die Gesamtzahl der Mikroorganismen, Pilze, Pflanzen und Tiere in der Grössenordnung von 10 bis 20 Millionen Arten liegen dürfte.

Die 1.8 Millionen bekannten Arten bedeuten, dass bisher erst jede fünfte bis zehnte Art entdeckt und beschrieben wurde. Derzeit werden jährlich etwa 15000 neue Arten wissenschaftlich erfasst. Bei gleich bleibender Arbeitsgeschwindigkeit würde es 120 Jahre dauern, bis weitere 1.8 Millionen beschrieben sind. Unter Berücksichtigung der momentan hohen Aussterberate ist es daher kaum vorstellbar, dass die vielen Millionen noch zu entdeckenden Arten mit den derzeitigen Möglichkeiten je wissenschaftlich beschrieben werden. Die grossen Kenntnislücken sind teilweise auch auf das Fehlen von Fachleuten für die Systematik und die Taxonomie von vielen Organismengruppen zurückzuführen.

In der Schweiz sind bisher rund 30000 Tierarten und 19000 Pflanzen- und Pilzarten bekannt (Baur et al. 2004). Laut einer Schätzung dürfte die Schweiz aber 43000 Tierarten und 27000 Arten von Pilzen und Pflanzen beherbergen (Dueli 2004).

Biodiversität ist nicht gleichmäßig verteilt

Die Biodiversität ist nicht gleichmäßig über die Erdoberfläche verteilt. Sowohl auf dem Land wie auch in Inlandgewässern und in den Meeren gibt es Stellen oder Gebiete mit extrem hoher Artenvielfalt und solche mit eher geringer Vielfalt (Baur 2010). Generell nimmt die Anzahl der Arten mit zunehmender Fläche zu. Bei verschiedenen Organismengruppen nimmt die Artenvielfalt von den gemässigten Breitengraden zu den Tropen zu. Weltweit weisen einige Regionen eine besonders hohe Artenvielfalt und Anzahl endemischer Arten auf, das heisst Pflanzen- und Tierarten, die nur in einem bestimmten Gebiet vorkommen. Diese werden als globale Biodiversitäts-Hotspots bezeichnet, wenn sie sowohl ein vorgegebenes Seltenheits- als auch ein Gefährdungskriterium erfüllen (www.biodiversityhotspots.org). Um als Hotspot zu gelten, muss eine Region mindestens 1500 endemische Pflanzenarten beherbergen (0.5 % der global vorkommenden 300000 Pflanzenarten), die bereits mehr als 70 % ihres ursprünglichen Lebensraumes dort verloren haben. Die 34 globalen Biodiversitäts-Hotspots umfassen zusammen nur 2.3 % der Erdoberfläche, beherbergen aber rund 50 % der weltweit bekannten Pflanzenarten und 42 % der Amphibien-, Reptilien-, Vogel- und Säugetierarten. Der konsequente Schutz der globalen Biodiversitäts-Hotspots wird jedoch durch die Tatsache erschwert, dass die meisten Hotspots eine weit über dem Weltdurchschnitt (42 Menschen pro km²) liegende Bevölkerungsdichte aufweisen. In vielen Hotspots liegt auch die Wachstumsrate der Bevölkerung weit über dem Weltdurchschnitt von 1.3 % pro Jahr. Dadurch dürfte sich der Druck auf die noch bestehenden Lebensräume in den globalen Hotspots in Zukunft noch weiter erhöhen.

Es gibt aber auch Ökosysteme, Lebensraumtypen und Landschaften, die sich durch eine

überdurchschnittlich hohe Artenvielfalt auszeichnen, beispielsweise Korallenriffe, Trockenrasen und Gebirge. Die geografische Isolation von Gebirgszügen oder Bergspitzen sowie ihre Vergletscherungsgeschichte führten zur Entstehung zahlreicher endemischer Arten. Die Alpen mit ihren rund 5000 Gefässpflanzenarten – darunter etwa 350 endemische Arten – beherbergen etwa 43 % der europäischen Flora. Zur grossen Vielfalt an Arten und Lebensräumen in den Alpen trägt auch die traditionelle Kulturlandschaft bei. Dies hat mit der kleinstrukturierten naturräumlichen Situation und der vielerorts erschweren Nutzung zu tun sowie mit kulturellen und geschichtlichen Besonderheiten.

Lokale Biodiversitäts-Hotspots sind Lebensräume, die einen aussergewöhnlich hohen Artenreichtum beherbergen. In der Nordwestschweiz sind dies Kalkmagerwiesen und -weiden, Jurafelsflühe (Abb. 1) sowie spezielle Habitate wie der Eichenhain beim Schloss Wildenstein (Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel 2003).

Biodiversität leistet grosse Dienste

Ökosysteme können durch unterschiedliche funktionelle Eigenschaften charakterisiert werden. Wälder binden Kohlenstoff aus dem aufgenommenen Kohlendioxid (CO₂) und geben Sauerstoff frei, verhindern Erosion und das Abgleiten von Schnee sowie das Herunterstürzen von Felsblöcken an Steilhängen. Wälder speichern Wasser, produzieren Beeren, Pilze, Bau- und Brennholz und stellen einen Lebensraum für Pflanzen und Tiere und einen Erholungsraum für Menschen dar. Eine anthropozentrische Betrachtungsweise der Ökosysteme setzt ihre Nutzbarkeit ins Zentrum und zielt auf die «Dienstleistungen» ab, die sie zum Gebrauch und zum Genuss durch den Menschen bereitstellen. Die Dienstleistungen und die Produkte resultieren aus der normalen Funktion der Ökosysteme.

Ohne die breite Palette an Ökosystem-Dienstleistungen ist menschliches Leben auf dem Planeten Erde nicht möglich. Zu den wichtigsten Ökosystemleistungen gehören die Produktion von Biomasse wie Nahrungsmittel und Baurohstoffe, die Aufrechterhaltung von Nährstoffzy-

klen, die Regulation des Gas- und des Wasserhaushaltes der Erde, die Steuerung des Klimas, die Versorgung mit Wasser, die Bodenbildung und die Erosionskontrolle und die Bestäubung der Blütenpflanzen. Neben Nahrungsmitteln und Gewürzen bieten Pflanzen und Tiere unzählige Stoffe für unterschiedliche Produkte an: Farbstoffe, Abwehrstoffe gegen Schädlinge, Komponenten von Kosmetika und Wirkstoffe in Medikamenten. So produziert der einjährige Beifuss (*Artemisia annua*), der in Asien und in Afrika zur Herstellung von Artemisin angebaut wird, einen Wirkstoff zur Behandlung von Malaria. Zahlreiche Medikamente wie Aspirin und Antibiotika beruhen auf Inhaltsstoffen von Pilzen, Pflanzen und Tieren. Traditionelle Heilmittel aus Pflanzen und Tieren dominieren immer noch die medizinische Versorgung eines grossen Teils der Weltbevölkerung. In China werden über 5000 Arten für medizinische Zwecke genutzt, im Amazonasbecken 2000 Arten.

Auch in durch den Menschen stark veränderten Ökosystemen leistet die Biodiversität unermessliche Dienste. In Grossstädten tragen Grünflächen und Bäume entlang von Strassen zur Luftreinigung, Lärmreduktion und Erholung der Menschen bei und sind deshalb für das Wohlergehen der Stadtbevölkerung von grosser Bedeutung. Direkte Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen lassen sich nachweisen. So nimmt in New York der Anteil an Asthma erkrankten Kleinkindern mit zunehmender Anzahl Bäume in ihrem Wohnquartier ab (Lovasi et al. 2008). Gewisse Aspekte der biologischen Vielfalt werden von vielen Leuten als ästhetisch schön empfunden (z.B. Pflanzenvielfalt). Biodiversität ist somit auch wichtig für die Gesundheit und die Erholung der Menschen.

Die Eigenschaften eines Ökosystems werden weitgehend von der Summe der verschiedenen funktionellen Eigenschaften bestimmt, die in einer Lebensgemeinschaft vertreten sind. Zahlreiche Studien belegen, dass artenreiche Ökosysteme in der Regel funktionstüchtiger sind als artenarme Systeme. So schützen artenreiche Wälder besser vor Erosion, Steinschlag, Lawinen und Nährstoffverlusten als Baum-Monokulturen. Zudem sind artenreiche Wälder besser gegen Schädlingsbefall geschützt und resistenter

gegen invasive Arten als artenarme Wälder. Nicht immer ist die eigentliche Funktion einer Art im Ökosystem ersichtlich. Mehrere Arten können für die Funktion eines Ökosystems die gleiche Bedeutung haben. Daraus lässt sich aber nicht ableiten, dass einige Arten überflüssig sind, denn im Sinne der Versicherungshypothese braucht es Redundanz in einem Ökosystem, um dessen funktionelle Integrität zu gewährleisten.

Vorlage für moderne Technologien

Neben den Ökosystem-Dienstleistungen profitieren die Menschen auch auf andere Weise von der Biodiversität, dient sie doch als Vorbild für neue Technologien. So wurde beispielsweise 1951 der Klettverschluss, der Anwendungen bei Schuhen, Taschen und Babywindeln hat, zum Patent angemeldet. Sein Prinzip beruht auf dem Ineinandergreifen kleiner Widerhähkchen, wie sie die Große Klette (*Arctium lappa*) zum Festhalten ihrer Früchte im Fell herumstreifender Säugetiere ausnutzt. Bei verschiedenen Pflanzen (Akelei, Weisskohl, Lotosblumen) und manchen Insekten perlt Wasser in Tropfen ab und nimmt dabei auch alle Schmutzpartikel auf der Oberfläche mit. Der Grund dafür ist die komplexe mikro- und nanoskopische Struktur der Oberfläche, welche die Haftung von Schmutzpartikeln minimiert. Diese als Lotuseffekt bekannte Selbstreinigungsfähigkeit wasserabweisender Oberflächen wurde in den 1970er Jahren entdeckt und seit Mitte der 1990er Jahre auf technische Produkte übertragen. Spinnennetze sind das Vorbild für Dachkonstruktionen, wie diejenige des Münchner Olympiastadions.

Ökonomischer Wert der Ökosystemleistungen

Ökosysteme erbringen für den Menschen relevante Leistungen, die anders nur kaum zu erbringen sind. Diese Leistungen werden von den konventionellen Wirtschaftssystemen ignoriert, obwohl die weltweite Bedrohung der Ökosysteme und ihre teilweise markante Schädigung weithin bekannt sind. Seit einigen Jahren gibt es aber Bestrebungen, den monetären Wert der verschiedenen Ökosystemleistungen zu erfassen.

Die Zahlen sollen helfen, dass Biodiversitätsaspekte in politischen und wirtschaftlichen Entscheiden ein grösseres Gewicht erhalten. Der Wert von ökologischen Leistungen und Ressourcen kann so gegen die Gewinne aufgerechnet werden, die mit umweltzerstörenden Industrieprojekten und anderen menschlichen Aktivitäten erzielt werden.

Aus wirtschaftlicher Sicht bestehen Ökosystemleistungen aus Gütern und aus Dienstleistungen. Für deren Werteinschätzung werden verschiedene Ansätze und Methoden verwendet. Bei Ökosystemleistungen werden häufig die normalen Kosten der technischen Ersatzmassnahmen festgelegt, die bei deren Ausfall eingesetzt werden müssten. Für einige Güter (Holz, Früchte, Fleisch) kann der marktübliche Preis eingesetzt werden. Für Güter ohne eigentlichen Markt wie saubere Luft und intakte Landschaften müssen indirekte Methoden wie die durch Luftverschmutzung entstehenden Krankheitskosten oder der finanzielle Verlust, welcher der einheimischen Bevölkerung durch das Ausbleiben der Touristen entsteht, angewendet werden. Bei kulturellen Ökosystemleistungen, wie beispielsweise der Wert eines Naturerlebnisses, ist eine Abschätzung des monetären Wertes schwieriger. Oft bezieht sich die ökonomische Bewertung auf den Mehrwert an Leistungen des Ökosystems im Zustand A im Vergleich zu Zustand B (z.B. Wiese mit 80 Pflanzenarten im Vergleich zur Wiese mit 20 Arten).

In einer Pionierarbeit ermittelte eine Gruppe von Fachleuten unter Anwendung verschiedener Methoden einen Wert von 33 Billionen US-Dollars für die jährlichen Leistungen der globalen Biodiversität (Costanza et al. 1997). Dieser als Minimalschätzung bezeichnete Wert ist unvorstellbar gross und entspricht fast dem doppelten jährlichen Bruttonationaleinkommen aller Staaten. Dies bedeutet, dass der Wert der weltweit produzierten Waren zusammen mit den Dienstleistungen aller Menschen in einem Jahr ungefähr halb so gross ist wie der Wert aller Ökosystem-Dienstleistungen im gleichen Zeitraum.

Dieser Ansatz wurde in verschiedenen Modellen weiterentwickelt. Im Projekt «The Economics of Ecosystems and Biodiversity» (TEEB) wird Expertenwissen aus den Bereichen der

Wissenschaft, der Wirtschaft und der Politik aus allen Teilen der Erde zusammengeführt, um die wirtschaftlichen Folgen des Biodiversitätsverlustes abzuschätzen (www.teebweb.org). So wird beispielsweise der durchschnittliche Wert der Ökosystem-Dienstleistungen eines tropischen Regenwaldes auf 6120 US-Dollar pro Hektar und Jahr geschätzt (Maximum 16362 US-Dollar). Dieser Wert ist ein Vielfaches höher als der jährliche Ertrag, der bei landwirtschaftlicher Nutzung einer gerodeten Fläche von gleicher Grösse erzielt werden kann.

TEEB ermittelt auch weltweite Schätzungen. Erste Ergebnisse weisen darauf hin, dass die Menschheit bei einer anhaltenden Reduktion der biologischen Vielfalt Ökosystem-Dienstleistungen von sehr grossem Wert verlieren wird (www.teebweb.org). Laut TEEB können Regierungen schon jetzt Schritte zur Einbeziehung der Ökosystemleistungen in ihre volkswirtschaftliche Gesamtrechnung unternehmen, um zu beurteilen, wie sie mit der Biodiversität umgehen.

Ökonomischer Wert von Arten

Der Nutzen von Kulturpflanzen und von Haustieren ist unbestritten und über ihre vom Menschen nutzbaren Produkte direkt in Geld messbar. Ähnliches gilt für Bäume, die Bau- und Brennholz liefern, Arznei- und Faserpflanzen sowie für Fische und jagdbares Wild. Blütenbesucher sichern über die Bestäubung die Bildung von Samen oder Früchten. Ihr ökonomischer Wert ist daher mit der Produktion von beispielsweise Rapsöl oder Obst korreliert, was eine grobe Schätzung ihres monetären Wertes zulässt. Viele Arten haben einen hohen Wert, weil sie im Rahmen der biologischen Schädlingskontrolle Unkräuter und Schädlinge wirkungsvoll unterdrücken können. So sind Schlupfwespen erfolgreiche Gegenspieler von Schildläusen und von Käfern, welche den Anbau von Gemüsen stark schädigen würden.

Wildpflanzen und -tiere, welche Wirkstoffe für Medikamente enthalten, sind ebenfalls eine für Menschen wertvolle Ressource. Der Weltmarkt für Pharmazeutika, die von Pflanzen abstammen oder aus Pflanzen gewonnen werden, wird heute jährlich auf 200 Milliarden US-Dol-

lars geschätzt. Cyclosporin A, ein Wirkstoff gegen die Abstossung körperfremder Gewebe, ermöglicht Organtransplantationen bei Menschen. Dieser Wirkstoff stammt aus zwei in norwegischen Böden gefundenen Schlauchpilzen (*Tolyphocladium inflatum* und *Cylindrocarpon lucidum*). Zwei Medikamente (Neoral und Sandimmun) mit diesem Wirkstoff erzielten 2008 einen Jahresumsatz von 956 Millionen US-Dollars. In einer ähnlichen Größenordnung liegt der Jahresumsatz von Medikamenten mit Wirkstoffen des Madagaskar-Immergrüns (*Catharanthus roseus*). Diese Pharmazeutika werden erfolgreich in der Krebstherapie eingesetzt.

Von den fast 3000 Milliarden US-Dollars jährlich, die Costanza et al. (1997) als monetärer Wert von Arten und von ihren Produkten weltweit schätzen, entfallen 1386 Milliarden auf den direkten Gegenwert der Nahrungsmittelproduktion, 721 Milliarden beziehen sich auf weitere Rohstoffproduktion wie Holz und Rohfasern, 417 Milliarden entsprechen dem Wert der biologischen Schädlingskontrolle und 117 Milliarden US-Dollars dem Wert der Bestäubung durch Blütenbesucher.

Die in den Beispielen vorgestellten Arten haben einen direkten Wert als lebende Ressource. Viele andere Arten haben vermutlich ebenfalls einen ökonomisch erfassbaren Wert, der bisher aber noch nicht erkannt wurde. Das Potenzial einer Art, irgendwann in der Zukunft für die Menschen von Nutzen zu sein, wird als deren Optionswert bezeichnet. So dürften viele Pflanzen- und Tierarten noch unbekannte Substanzen enthalten, die als Wirkstoffe in neuen Medikamenten von grossem Nutzen sein könnten. Der Erhalt der genetischen Vielfalt von Nutzpflanzen sichert auch Optionen für die Züchtung von neuen Sorten in der Zukunft. Je grösser die Sortenvielfalt, desto besser lassen sich Nutzpflanzen züchterisch an die Klimaveränderung, neu auftauchende Pflanzenkrankheiten oder an sich ändernde Geschmacksrichtungen der Menschen anpassen.

Im Gegensatz zum Wert von Naturgütern, die auf dem Markt gehandelt werden, lässt sich der indirekte ökonomische Wert von Biodiversität wie zum Beispiel die Schönheit einer Landschaft oder der Wert eines Naturerlebnisses nicht

so leicht ermitteln. Je nach Fragestellung müssen deshalb spezielle Methoden angewendet werden. So kann mit Hilfe der Reisekostenmethode der ökonomische Nutzen eines Erholungsgebiets, einer Landschaft oder eines Nationalparks geschätzt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich der Wert des Gebiets in den Reisekosten, welche die Besucher auf sich nehmen, widerspiegelt. Je mehr eine Person aufwendet, um ins Gebiet zu gelangen, desto mehr ist ihr der Besuch dieses Gebiets wert. Bewertungen der Schönheit einer Landschaft oder des ökonomischen Nutzens eines Schutzgebiets beruhen aus Mangel an alternativen Bewertungsmethoden fast ausschliesslich auf Befragungen. Kombiniert mit Übernachtungsstatistiken lassen Befragungen beispielsweise den Beitrag von Grossraumschutzgebieten für die regionale Wirtschaft berechnen, was einem Teil der kulturellen Dienstleistungen der Ökosysteme entspricht. So bringen Touristen, die den Müritz-Nationalpark in Mecklenburg-Vorpommern (Deutschland) besuchen, der regionalen Wirtschaft jährlich 5.6 Millionen €, was 261 Arbeitsplätzen entspricht (Job et al. 2005). Die Werte der kulturellen Dienstleistungen des Nationalparks für die lokale Bevölkerung sowie diejenigen der bereitstellenden und regulierenden Dienstleistungen (z.B. Erosionsschutz, Wasser- und Luftreinigung) sind in diesem Betrag nicht enthalten.

Grundsätzlich sind ökonomische Bewertungen von Ökosystemleistungen möglich, auch wenn sie nur Größenordnungen und keine festen Preise ergeben.

Biodiversität hat einen ethischen Wert

Für die Bewahrung der biologischen Vielfalt sprechen nicht nur ihre Dienstleistungen und ihre Produkte, sondern auch gewichtige ethische Argumente. Jede Art ist um ihretwillen wertvoll; sie besitzt einen Eigenwert, der nicht von menschlichen Bedürfnissen abhängt. Deshalb hat jede Art das Recht zu existieren. Dieses Argument wurzelt in den Wertesystemen der meisten Religionen, Philosophien und Kulturen. Es appelliert an die Achtung vor dem Leben, an die Wertschätzung der Natur als solcher und in den



Abb. 2: Die Vielfalt der Tagfalter hat in intensiv genutzten Lebensräumen der Region Basel stark abgenommen (Veilchen-Perlmuttfalter, *Boloria euphrosyne*).

Religionen an die Vorstellung von göttlicher Schöpfung. Arten haben ein Existenzrecht, auch wenn ihnen das Bewusstsein fehlt oder sie kein Nervensystem besitzen, um die Umwelt wahrzunehmen.

Der Mensch (*Homo sapiens*) ist nur eine von mehreren Millionen Arten, welche die Erde bewohnen. In der rund 3.5 Milliarden Jahre langen Entwicklungsgeschichte des Lebens auf diesem Planeten stellt er zudem eine relativ junge Art dar. Aber keine Art hat jemals in der Erdgeschichte in so kurzer Zeit so dramatische Auswirkungen auf ihre Umwelt gehabt wie der Mensch. Eine zentrale Frage in der Debatte über den ethischen Wert der Biodiversität ist deshalb: «Welches Recht hat der Mensch, andere Arten auszurotten?»

Biodiversität ist bedroht

Weltbevölkerung und Ressourcenverbrauch nehmen zu

Hauptursachen für das gegenwärtige Artensterben sind die Zerstörung und die Veränderung von natürlichen Lebensräumen im Zusammenhang mit der steigenden Bevölkerungszahl und dem erhöhten Pro-Kopf-Verbrauch an natürlichen Ressourcen. Mit zunehmender Bevölkerungsdichte nimmt der Einfluss des Menschen auf die Ökosysteme zu. Vor 2000 Jahren dürfte die weltweite Bevölkerung 200 bis 250 Millionen Men-

schen umfasst haben. Ab dem Jahr 1600 nahm die Weltbevölkerung – damals knapp 300 Millionen Menschen – stetig zu, erreichte 1859 eine Milliarde und 1939 zwei Milliarden. Seit 1950 ist die Wachstumsgeschwindigkeit stark erhöht; 1959 umfasste die Weltbevölkerung bereits drei Milliarden und 1999 sechs Milliarden Menschen. 2012 dürften rund sieben Milliarden Menschen die Erde bewohnen. Die Ursachen für die enorme Zunahme liegen bei den hohen Geburtenraten bei gleichzeitiger Abnahme der Sterberaten infolge deutlicher Fortschritte der medizinischen Versorgung sowie im Vorhandensein immer zuverlässigerer Nahrungsquellen. Zwar hat sich das Bevölkerungswachstum in den letzten 10 Jahren verlangsamt. In einigen Industriestaaten liegt es inzwischen nahe bei Null. Aber in vielen Regionen des tropischen Afrika, Lateinamerika und Asien, die gleichzeitig die Gebiete mit der grössten biologischen Vielfalt sind, ist das Bevölkerungswachstum immer noch hoch.

Entsprechend der Zunahme der Bevölkerung wurde auch der Druck auf die natürlichen Ressourcen grösser, um die Grundbedürfnisse der Menschen wie Nahrung, Wasser und Wohnraum zu decken. Der globale Ressourcenverbrauch hat in den letzten Jahrzehnten aber noch stärker zugenommen als die Weltbevölkerung, weil die Ansprüche der Menschen stiegen. So nahm die Fleischproduktion pro Kopf der Weltbevölkerung von 18 kg im Jahre 1950 auf 36 kg im Jahre 1999 zu (www.fao.org). Der Papierverbrauch pro Kopf wuchs in Industrieländern von 70 kg im Jahre 1961 auf 158 kg im Jahre 1998. Im gleichen Zeitraum nahm der Pro-Kopf-Papierverbrauch in Entwicklungsländern von 2 auf 18 kg zu. Die Menschheit verbraucht zurzeit mehr natürliche Ressourcen als die Erde regenerieren kann (Ökologischer Fussabdruck; footprintnetwork.org).

Landzerstörung und Aussterben

Pflanzen und Tiere sind von ihrem Lebensraum abhängig. Wenn dieser zerstört oder verändert wird, führt dies zu Verlusten an Arten. Hauptursachen für das gegenwärtige Artensterben sind die Zerstörung und die Veränderung von natürlichen Lebensräumen durch den Menschen.

Die Zerstörung des tropischen Regenwaldes mit seiner einmaligen Biodiversität ist zum Synonym für einen starken Rückgang der Artenvielfalt geworden. Global gesehen gehen jährlich bis zu 140000 km² tropischer Regenwald verloren. In Madagaskar wurde beispielsweise die ursprüngliche Regenwaldfläche um über 90 % reduziert. Schätzungen gehen derzeit davon aus, dass die Abholzung von Wäldern weltweit für rund 20 % der menschlich verursachten CO₂-Emissionen verantwortlich sind. Durch die Verbrennung und die Verrottung von Holz wird der gebundene Kohlenstoff in Form von CO₂ in die Luft abgegeben. Die Zunahme von CO₂ in der Atmosphäre führt zur Klimaerwärmung, welche wiederum negative Auswirkungen auf die Biodiversität haben kann.

Beim Begriff «Aussterben» gilt es zwischen lokalem, regionalem und globalem Aussterben zu unterscheiden. Lokales Aussterben betrifft eine Population. Die Art verschwindet beispielsweise aus einem Naturschutzgebiet oder einer Trockenwiese. Für Ökosystemleistungen ist lokales Aussterben von grosser Bedeutung. Gut dokumentiert ist das lokale Aussterben von zahlreichen Schmetterlingsarten in der Region Basel (Altermatt et al. 2006).

Beim regionalen Aussterben verschwindet eine Art aus einem Tal, von einem Gebirge, aus einem Kanton oder einem Land. Die Art existiert aber noch anderswo. So wurde beispielsweise der Fischotter (*Lutra lutra*) in der Schweiz durch Jagd ausgerottet, in Deutschland kommt diese Art aber noch vor. Beim globalen Aussterben gibt es keine lebenden Individuen von der entsprechenden Art mehr. Sie ist auf der ganzen Erde ausgelöscht. Bekannte Beispiele sind die Dronte (Dodo; *Raphus cucullatus*), welche ausschliesslich auf Mauritius vorkam, aber 1665 durch Jagd und eingeführte Tiere ausgerottet wurde, und das Quagga (*Equus quagga*) in Südafrika, welches ungefähr 1890 durch Jagd ausgelöscht wurde.

Lokales Aussterben kann der erste Schritt zum Aussterben einer Art bedeuten, falls dadurch der weitere Individuenaustausch zwischen den Restpopulationen verunmöglich wird, oder die Restpopulationen zu klein für ein längerfristiges Überleben sind. Zudem bedeutet lokales

Aussterben häufig das globale Verschwinden von Genen, die für Anpassungen an spezielle Standortbedingungen wichtig sind (Reduktion der genetischen Vielfalt der Art).

Intensivierung der Landwirtschaft

In Mitteleuropa wurden in den vergangenen 7000 Jahren durch wiederholte Rodungen von Wald grosse Flächen zur landwirtschaftlichen Nutzung gewonnen. Dies führte zum lokalen Aussterben von zahlreichen Waldarten wie Wilsent und Elch. Das vielerorts entstandene Mosaik aus Wald, Grünland und Ackerbauflächen erhöhte aber in einzelnen Landschaften die Artenvielfalt (Sauberer et al. 2008). Die traditionelle Landnutzung erweiterte das Angebot an Lebensräumen für viele spezialisierte Pflanzen- und Tierarten. Dabei sind vor allem die halbnatürlichen, durch menschliche Aktivität entstandenen Trockenwiesen und -weiden mit ihrer hohen Artenvielfalt zu erwähnen.

Mit dem Zeitalter der Industrialisierung ab der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts und dem parallel dazu verlaufenden starken Bevölkerungswachstum trat eine tiefgreifende Wende ein. War der bäuerliche Betrieb zuvor fast ein geschlossenes System, veränderte er sich schrittweise zur hochtechnisierten und spezialisierten Produktionsstätte. Die Erfindung des Kunstdüngers ermöglichte eine völlig andere Nutzung des Grün- und Ackerlandes. Durch Dünger konnte die Produktivität massiv gesteigert werden. Die Bearbeitung des Bodens mit Maschinen erfordert relativ grosse und zusammenhängende Flächen. Mit Güterzusammenlegungen wurden die durch jahrhundertelange Erbteilung zersplitterten kleinen Parzellen zu grösseren Einheiten vereint und maschinengerecht umgestaltet. Naturnahe Landschaftselemente wie Einzelbäume, Sträucher, Hecken, Steinhaufen, Feuchtgebiete und Tümpel, welche die Bewirtschaftung erschwerten, wurden entfernt. Im weiteren wurden topografische Unebenheiten beseitigt, Waldränder begradigt und Bäche eingedolt (Ewald und Klaus 2009). Für die wenigen Arten von Feldfrüchten, die in Monokultur angebaut werden, müssen nun regelmässig chemische Unkraut- und Insektenbekämpfungsmittel (Herbizide und

Insektizide) eingesetzt werden. In den Äckern und den Wiesen brachten Herbizide Pflanzengesellschaften, die sich während Jahrhunderten den verschiedenen Standorten und Nutzungen angepasst hatten, in wenigen Jahrzehnten zum Verschwinden. Gleichzeitig wurde auch die von den Ackerwildkräutern abhängige Tiervielfalt (Wildbienen, Wespen) stark reduziert.

Die Intensivierung und die Mechanisierung der Landwirtschaft hat in Europa das Landschaftsbild radikal verändert (Baur et al. 2004). Naturnahe Landschaftselemente wurden und werden immer noch aus der Agrarlandschaft entfernt. So wurde beispielsweise die Zahl der ökologisch wertvollen Hochstamm-Obstbäume im Kanton Baselland zwischen 1951 und 1995 von 750000 auf rund 200000 reduziert (Tanner 1999). Weltweit gilt die intensive, moderne Bewirtschaftung mit den resultierenden Lebensraumveränderungen als Hauptursache für den Biodiversitätsverlust in Agrargebieten. Eine europaweite Untersuchung von 130 Grasländern und 141 Äckern ergab, dass die Pflanzenvielfalt exponentiell mit dem Ausmass des Stickstoffeintrags (= Grad der Bewirtschaftungsintensität) abnimmt (Kleijn et al. 2009).

Seit einigen Jahrzehnten führt auch das Gegen teil der Intensivierung, nämlich Flächenstilllegungen, zu einer Abnahme der Artenvielfalt. In topografisch ungeeigneten und abgelegenen Randgebieten, in denen arbeitssparende Mähdrescher nur bedingt einsetzbar sind und eine Beweidung mit grossen Mühen verbunden ist, wird die Bewirtschaftung von Graslandflächen aufgegeben. Der natürlich aufkommende Wald führt zu einem weiteren Rückgang artenreicher Wiesen und Weiden und zum ursprünglich artenärmeren Ausgangszustand.

Zerstückelung der Lebensräume und Ausdehnung der Siedlungsfläche

Durch die Intensivierung der Landwirtschaft, mit der Ausdehnung von Siedlungsräumen und Industriezonen sowie durch den Bau von Strassen, Autobahnen und Eisenbahnlinien werden ehemals zusammenhängende Lebensräume von Pflanzen und Tieren nicht nur flächenmäßig stark reduziert, sondern auch voneinander ge-

trennt. In Mitteleuropa sind sämtliche natürliche und halbnatürliche Biotope in den vergangenen Jahrzehnten massiv zerstückelt worden. So blieben von Trockenwiesen, Mooren und Auen nur noch isolierte Restflächen in der Landschaft übrig (Ewald und Klaus 2009). Die Fragmentierung der Landschaft bedroht die biologische Vielfalt auf subtile Art. Die als Barrieren wirkenden Strassen und bebauten Gebiete reduzieren den Individuenaustausch zwischen Populationen, die Besiedlung von geeigneten Lebensräumen, die Ausbreitung von Pollen und Samen und bei Tieren die Möglichkeit, sich frei in der Landschaft zu bewegen. Dadurch bleibt eine genetische Auffrischung durch einwandernde Individuen aus. Bei zahlreichen Pflanzen- und Tierarten sind die Auswirkungen von Inzucht mehrfach dokumentiert worden. Die Wahrscheinlichkeit steigt, dass kleine Populationen aussterben.

Die Siedlungs- und Industrieflächen nehmen weltweit zu, in Europa wie auch in der Region Basel. Biodiversitätsrelevant ist diese Entwicklung vor allem wegen der Zerstörung und der Veränderung von Lebensräumen: Naturnahe Habitate werden verkleinert und zerstückelt. Diese bieten veränderte, meistens verschlechterte Lebensbedingungen für die ansässigen Arten; einige können sich auf Ersatzstandorte zurückziehen, andere sterben lokal aus.

Verschmutzung und Übernutzung natürlicher Ressourcen

Weltweit sind viele aquatische Ökosysteme bedroht und teilweise schon zerstört worden. Über Düng- und Reinigungsmittel, Siedlungsabwasser und Industrieabfälle gelangen grosse Mengen an Stickstoff- und Phosphorverbindungen, Salze sowie organische Verbindungen in die Gewässer. Stickstoff und Phosphor führen zur Eutrophierung von Binnen- und Küstengewässern. In verschiedenen Industriestaaten konnten inzwischen durch den Bau von modernen Abwasserreinigungsanlagen grosse Fortschritte in der Behandlung von verunreinigtem Wasser erzielt werden. Dort erholen sich die ehemals stark verschmutzten Gewässer zusehends, was sich auch in einem Anstieg der Artenvielfalt nachweisen lässt. Ein ungelöstes Problem bleibt die

hohe Belastung der Gewässer durch schwerabbaubare Chemikalien, beispielsweise durch hormonaktive Substanzen aus Antibaby-Pillen, die unter anderem eine Störung der Geschlechtsdifferenzierung bei Fischen und aquatischen Wirbellosen bewirken. In zahlreichen Industrieregionen und bei einem grossen Teil der Bevölkerung werden die Abwässer aber kaum oder gar nicht gereinigt. Somit übersteigt die globale Wasserverschmutzung bei weitem die Selbstreinigungskapazität der Gewässer und Meere.

Durch übermässige Bejagung, sehr intensives Sammeln und überstarke Befischung sind schon zahlreiche Arten ausgerottet worden. Eine langfristig nachhaltige Nutzung von erneuerbaren natürlichen Ressourcen setzt voraus, dass nicht mehr Pflanzen oder Tiere entfernt werden, als gleichzeitig wieder nachwachsen. Dies setzt wiederum detaillierte Kenntnisse über die Populationsdynamik der betroffenen Arten voraus, welche teilweise auch von der Umwelt (Nahrungsmenge, Wassertemperatur) beeinflusst wird. So erschweren jährliche Schwankungen in den Umweltbedingungen das nachhaltige Management natürlicher Bestände. Das bekannteste Beispiel für die Übernutzung natürlicher Ressourcen dürfte die Ausbeutung der Fischbestände sein, die in vielen Gewässern zum Rückgang und teilweise zum Aussterben von kommerziell wichtigen Arten geführt hat.

Tourismus und Freizeitaktivitäten

In den letzten Jahrzehnten wurde die Arbeitszeit der Menschen in den Industriestaaten stark reduziert. Gleichzeitig nahm die Lebenserwartung zu. Dadurch gibt es jetzt mehr Freizeit als je zuvor. Das Freizeitverhalten ist geprägt durch eine hohe Mobilität und tendiert verstärkt zu erlebnisorientierten Aktivitäten in der Natur. Für manche «Outdoor»-Aktive dienen Natur und Landschaft jedoch nur als Kulisse: Sie sind wenig sensibilisiert für die möglichen negativen Auswirkungen ihrer Tätigkeiten auf die Biodiversität. Die Einflüsse auf die biologische Vielfalt können direkt sein, etwa wenn Korallen durch Flossenschlag von Tauchenden abgebrochen werden, wenn bedrohte Pflanzen wie die



Abb. 3: Invasive nicht-einheimische Pflanzen verdrängen einheimische Pflanzen und Tiere. Der Japanische Staudenknöterich *Reynoutria japonica* zerstört zudem Uferbefestigungen.

im Jura vorkommende Grenobler Nelke (*Dianthus gratianopolitanus*) auf Felsrippen zertreten und zum Verschwinden gebracht werden oder wenn Biker und Picknicker seltene Vegetationsarten beeinträchtigen. Noch häufiger sind indirekte Wirkungen, indem Tiere gestört, aufgescheucht und von ihrem Nist-, Nahrungs- oder Ruheplatz vertrieben werden. Neben Stress und erhöhtem Energieaufwand kann dies bei wiederholtem Auftreten die Tiere zum Verlassen ihres Lebensraumes zwingen. Solche Wirkungen werden häufig von den Verursachern kaum wahrgenommen; sie sind aber durch wissenschaftliche Untersuchungen gut belegt (Ingold 2005). So reagieren beispielsweise Singvögel auf freilaufende Hunde über eine Distanz von 70 m mit Flucht.

Neobiota und invasive Arten

Die in den letzten Jahrzehnten weltweit gestiegene Mobilität und der globalisierte Handel führen immer häufiger zu einem gezielten Einführen oder zufälligen Einschleppen nicht-einheimischer Arten. Ein Teil dieser Neobioten – die so genannten invasiven Arten – kann sich an den neuen Standorten stark vermehren und ökonomische und ökologische Schäden verursachen (Nentwig 2010). Wirtschaftliche Schäden können im Bereich der Land- oder Forstwirtschaft auftreten, etwa durch Unkräuter oder durch

Pflanzenschädlinge wie den Buchsbaumzünsler *Diaphania perspectalis*, Pilze oder Krankheitserreger, wie Feuerbrand an Ostbäumen. Neu eingeführte Parasiten und Krankheiten können die Tierhaltung beeinflussen. Neobiota können auch die Infrastruktur schädigen durch Zerstörung wassertechnischer Anlagen und die menschliche Gesundheit durch Krankheitserreger, Parasiten, Pollen oder durch Verletzungen beeinträchtigen.

Invasive Arten beeinflussen die lokale Biodiversität mit Verdrängung von einheimischen Arten durch Konkurrenz (Kanadische Goldrute *Solidago canadensis* oder Staudenknöterich *Reynoutria japonica*), Frass oder durch die Übertragung von Krankheiten und Parasiten. Auch die Hybridisierung invasiver mit verwandten einheimischen Arten, die dadurch ihre arteigene Identität verlieren, kann die einheimische Artenvielfalt reduzieren. So wurde die amerikanische Schwarzkopf-Ruderente (*Oxyura jamaicensis*) 1948 als Ziervogel in Europa eingeführt. Bald entwichen erste Tiere aus Vogelparks in England. Der Bestandeszuwachs in der Wildnis war beträchtlich, wurden doch im Jahr 2000 bereits 5000 Individuen gezählt (Hughes et al. 2006). Die Schwarzkopf-Ruderente konkurriert und hybridisiert mit der nahe verwandten europäischen Weisskopf-Ruderente (*Oxyura leucocephala*). Eine Hybridisierung wird als grösste Gefahr für das Weiterbestehen der nur noch in Spanien vorkommenden Restpopulationen dieser global gefährdeten Art betrachtet.

Invasive Arten können direkt oder indirekt auf den Zustand und die Funktion von Ökosystemen einwirken. Kurzfristig mögen Neobiota zwar die lokale Biodiversität erhöhen, da einige von ihnen aber invasiv werden und einheimische Arten verdrängen, dürfte die lokale Artenvielfalt in der Regel abnehmen.

Biologische Invasionen werden, nach der Veränderung und der Zerstörung natürlicher Lebensräume durch den Menschen, als zweitwichtigster Grund für die weltweite Gefährdung der Artenvielfalt betrachtet (Nentwig 2010). Die Zahlen der Neobiota und invasiven Arten haben in den letzten Jahrzehnten stetig zugenommen, auch in der Nordwestschweiz. Es gibt keine Hin-

weise, dass dieser Trend sich in nächster Zeit ändern wird. Die Bedrohung der einheimischen Biodiversität durch invasive Arten wird in Zukunft weiter zunehmen.

Klimaerwärmung

In erdgeschichtlichen Zeiträumen veränderten sich die klimatischen Bedingungen wiederholt, was zu Veränderungen in den Ausbreitungsarealen der Arten oder zum Aussterben führte. Dies ist ein natürlicher Prozess. Als Beispiel kann auf die postglaziale Wiederbesiedlung eisfreier Gebiete nach dem Rückzug der Gletscher hingewiesen werden. Die früheren Temperaturveränderungen fanden aber oft über Zeiträume von 1000 und mehr Jahren statt. Im Gegensatz dazu verläuft die derzeitige globale Klimaerwärmung viel schneller. Weltweit haben die menschlichen Treibhausgasemissionen im Zeitraum von 1970 bis 2004 um 70 % zugenommen, wobei sich die Zunahme in den letzten zehn Jahren beschleunigt hat. Es ist sehr wahrscheinlich, dass der Grossteil der Erwärmung seit Mitte des 20. Jahrhunderts durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe und den menschlich verursachten Treibhausgasanstieg bedingt ist. Die mittleren globalen Temperaturen liegen heute bereits um etwa 0.8°C höher als dies bei einer unveränderten Zusammensetzung der Atmosphäre der Fall wäre. Die zukünftige Klimaentwicklung ist abhängig vom Ausmass der weiteren Treibgasemissionen und damit von menschlichem Handeln und politischen Entscheidungen.

Wenn sich das Klima in den nächsten 100 Jahren um 3°C erwärmt (Mittelwert verschiedener Szenarien), werden sich die Vegetationszonen auf der Nordhalbkugel um rund 600 km von Süden nach Norden und um rund 600 m in die Höhe verschieben. Viele Arten werden die Wanderung nicht mitmachen können, weil sie zu langsam sind. Die meisten Gehölze können sich mit einer Geschwindigkeit von etwa 100 km in 100 Jahren ausbreiten, viele alpine Pflanzen um 50 Höhenmeter in 100 Jahren. Mit Daten aus detaillierten Monitoring-Programmen konnte bei verschiedenen Tiergruppen bereits eine Verschiebung der nördlichen Ausbreitungsgrenze auf den britischen Inseln nachgewiesen werden.

In den vergangenen 30 bis 40 Jahre dehnten sich die Areale vieler Arten 20 bis 80 km Richtung Norden aus (Hickling et al. 2006). Einzelne Arten reagieren aber sehr unterschiedlich auf die fortschreitende Klimaerwärmung.

Die globale Klimaerwärmung wird die regionale Biodiversität in kurzer Zeit verändern. Der Klimawandel verändert nicht nur die Verbreitung von Arten, sondern auch die Entwicklungsgeschwindigkeit der Individuen, die aus diesem Grund jahreszeitlich früher erscheinen und zum Teil mehr Generationen pro Jahr bilden (z.B. Schmetterlinge). Viele Arten zeigen eine Tendenz zur Ausbreitung in höhere Lagen. Im Alpenraum wird der Lebensraum für Arten der nivalen Hochgebirgsstufe kleiner, während sich derjenige der aus dem Tiefland und unteren Höhenlagen eingewanderten Arten nach oben ausdehnt. Insgesamt wird mit zunehmenden Temperaturen die Anzahl neuer Arten in den Alpen zunehmen. Diese Arten dürften aber in ihrem Herkunftsgebiet meist noch häufig sein. In den Alpen und in anderen Gebirgen werden jedoch gefährdete Arten verloren gehen. Dies sind kälteadaptierte Endemiten, die ihre ökologische Nische verlieren, oder konkurrenzschwache Arten, die von einwandernden Arten verdrängt werden. Diese Verluste – auch wenn sie vergleichsweise eher wenige Arten betreffen – sind qualitativ gravierender für die weltweite Biodiversität als die lokalen quantitativen Gewinne durch die zahlreichen Einwanderer.

Gesetzliche Grundlagen, internationale Abkommen und Aktionen

Die Bundesverfassung, verschiedene Gesetze (Natur- und Heimatschutzgesetz, Umweltgesetz, Waldgesetz etc.) und internationale Abkommen verpflichten die Schweiz die Biodiversität zu schützen und zu fördern. Auf internationaler Ebene ist das Übereinkommen über die biologische Vielfalt (Biodiversitäts-Konvention; www.cbd.int) von grösster Bedeutung. Obwohl inzwischen 191 Staaten die Biodiversitäts-Konvention ratifiziert haben, hält sich das Engagement von Politik und Wirtschaft für die Erhaltung der biologischen Vielfalt in Grenzen.

Countdown 2010

Die Biodiversitäts-Konvention verfolgt drei untrennbare Ziele: den Schutz der Biodiversität, deren nachhaltige Nutzung und eine gerechte Verteilung der aus der Nutzung erwirtschafteten Gewinne. Qualitative Vorgaben für den Schutz der Biodiversität enthält die Konvention aber nicht. Erst 2002 beschlossen die am Erdgipfel von Johannesburg versammelten Staaten das Ausmass des Biodiversitätsverlustes bis ins Jahre 2010 bedeutend zu verlangsamen. Die europäischen Länder, unter ihnen auch die Schweiz, gingen noch einen Schritt weiter: Sie verpflichteten sich an der 5. Ministerkonferenz «Umwelt für Europa» in Kiew im Mai 2003, den Verlust an biologischer Vielfalt bis ins Jahr 2010 ganz zu stoppen. Die Weltnaturschutzzunion IUCN lancierte daraufhin die europäische Initiative «Countdown 2010», um politische Entscheidungsträger wie auch nicht-staatliche Naturschutzorganisationen, Firmen und die Gesellschaft zu mobilisieren, alles Nötige zu unternehmen, um dieses Biodiversitätsziel zu erreichen (www.countdown2010.net).

Die im «Jahr der Biodiversität» (2010) vorgestellten Bilanzen sind ernüchternd. Der «Global Biodiversity Outlook 3» zeigt aufgrund verschiedener Indikatoren, dass die biologische Vielfalt weltweit auf allen Ebenen weiter zurückgeht (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2010). Das europäische Ziel, den Verlust von Biodiversität zu stoppen, wurde ebenfalls nicht erreicht (EEA 2009).

Eine detaillierte Analyse der Veränderung der Biodiversität in der Schweiz zeigt, dass in fast allen Lebensräumen und Regionen die biologische Vielfalt zwischen 1900 und 1990 stark abgenommen hat (Lachat et al. 2010). In den letzten 20 Jahren konnten aber die Bestandesrückgänge bei zahlreichen Arten und die quantitativen Flächenverluste bei einigen Lebensräumen gebremst werden. Zudem konnten in den vergangenen zwei Jahrzehnten in wenigen Einzelfällen auch positive Bestandesentwicklungen festgestellt werden. Die biologische Vielfalt hat aber in bestimmten Lebensräumen und in einigen Regionen ein sehr tiefes Niveau erreicht. Vor allem im Mittelland ist die Biodiversität in einem bedenklichen Zustand.



Abb. 4: Revitalisierte Bachabschnitte ermöglichen zahlreichen Pflanzen- und Tierarten eine Wiederbesiedelung (Chlusbach bei Aesch).



Abb. 5: Neu angelegte Steinhaufen verbessern die Lebensraumqualität für Eidechsen und andere Kleintiere (zwischen den Rebbergen bei Muttenz).

Insgesamt konnte aber der Verlust an Biodiversität in der Schweiz noch nicht gestoppt werden. Die Fachleute vermuten, dass eine echte Trendwende unter den gegebenen Rahmenbedingungen (Gesetze, Instrumente und Massnahmen beziehungsweise deren Umsetzung) bis 2020 nicht möglich ist (Lachat et al. 2010). Für die weiter anhaltenden Verluste in der Schweiz sind unter anderem die Intensivierung der landwirtschaftlichen Nutzung in den Berggebieten, die Ausdehnung des Siedlungsraumes und die Zunahme der Tourismus- und Freizeitaktivitäten verantwortlich. Neue Bedrohungsfaktoren wie invasive gebietsfremde Arten und direkte und indirekte Auswirkungen des Klimawandels werden den Druck auf bereits seltene Arten und Lebensräume zusätzlich erhöhen (Nentwig 2010; www.biodiversity.ch).

Biodiversität erhalten und nachhaltig nutzen

Die Syntheseberichte des «Millennium Ecosystem Assessment» zeigen die Auswirkungen der Biodiversitätsverluste auf und schlagen sinnvolle Strategien für die Erhaltung der biologischen Vielfalt vor (www.millenniumassessment.org). Da die Gründe für die Abnahme auf globaler, regionaler und lokaler Ebene zu suchen sind, gilt es auch, adäquate Strategien auf die entsprechenden Ebenen auszurichten.

In dicht besiedelten Gebieten und intensiv genutzten Kulturlandschaften stellt sich die Frage, wie sich wenigstens Teile der ursprünglichen Artenvielfalt erhalten lassen. Noch artenreiche Flächen können als Schutzgebiete ausgewiesen werden. Auf den angrenzenden Flächen findet aber eine intensive Nutzung statt. In diesem so genannten Segregationskonzept sind Flächen mit intensiver menschlicher Nutzung (Landwirtschafts-, Industrie- und Siedlungsgebiete) von Flächen für die Förderung und Erhaltung der Biodiversität getrennt. Die Schutzgebiete sind aber oft von geringer Grösse, stark isoliert und meistens von den umgebenden Flächen mit naturfremden Nutzungen beeinflusst. Arten mit komplexen Umweltansprüchen und grossem Raumbedarf können so kaum überleben. Der ökonomische Druck und der Flächenbedarf der Bevölkerung lassen in diesen Landschaften kaum genügend Gesamtfläche für den Naturschutz übrig. Der zunehmende Bedrohungsgrad vieler Arten weist aber darauf hin, dass das Konzept der Trennung (Segregation) einen ungenügenden Erfolg aufweist. Deshalb wurde in den letzten Jahren von Fachleuten vermehrt ein Integrationskonzept gefordert: Nicht zurückgezogen in die kleinen Naturschutzgebiete, sondern auf idealerweise 100 % der Landfläche sollen die Arten überleben können, indem die Landschaft wieder naturverträglicher genutzt wird und naturnahe Flächen und Struk-

turen in Siedlungs- und Industriegebieten gefördert werden. Mit ökologischen Ausgleichszahlungen von Bund und Kanton kann die extensive Nutzung von gewissen Flächen abgegolten werden.

Verschiedene Studien belegen eine erstaunlich hohe Artenvielfalt in Industrie- und Stadtgebieten (Burckhardt et al. 2003, Baur et al. 2008). So beherbergen beispielsweise die unterschiedlich genutzten Kies- und ungenutzten Lagerflächen des Birsfelder Rheinhafens insgesamt 230 Pflanzenarten (Lenzin et al. 2007). Diese Flächen stellen für Pflanzen und wirbellose Tiere Ersatzlebensräume für die zerstörten Trockenauen entlang des Rheins dar. Der Erhaltung der Biodiversität in Siedlungs- und Industriegebieten kommt in Zukunft eine noch grösere Bedeutung zu.

Renaturierungsmassnahmen

In den letzten Jahren wurden mit zunehmendem Mass Anstrengungen unternommen, um beeinträchtigte und geschädigte Ökosysteme wiederherzustellen. Ziel dabei ist, ein Ökosystem mit Hilfe von umwelttechnischen Methoden wieder in einen ähnlichen Zustand zu versetzen, wie er vor der Störung durch den Menschen existierte. So erhalten eingedolte Bäche wieder ihren freien Lauf. Das Methodenspektrum reicht von der Wiederansiedlung von Arten, der Entfernung von invasiven Arten, der Abschürfung von nährstoffreichem Humus bis hin zu Versuchen, ganze Lebensgemeinschaften im Rahmen eines funktionierenden Ökosystems wieder entstehen zu lassen. Dabei geht man davon aus, dass sich die Schädigung zumindest teilweise wieder rückgängig machen lässt. Es gilt jedoch zu bedenken, dass sich Ökosysteme nur unter bestimmten Bedingungen wiederherstellen lassen und dass gewisse Ökosysteme wie Hochmoore in kurzen Zeiträumen nicht renaturierbar sind. Wichtig für den Erfolg ist auch, dass die lokal ausgestorbenen Arten in der näheren Umgebung noch vorhanden sind. Dies trifft aber in vielen intensiv genutzten Landschaften nicht mehr zu.

Viel Know-how ist vorhanden

Biodiversitätsschutz ist machbar. Zahlreiche Beispiele belegen, wie biologische Vielfalt durch nachhaltige Nutzung langfristig erhalten werden kann (Baur et al. 1997). Auch viele Arten- und Biotopschutzprogramme sind erfolgreich. Ein gutes Beispiel ist die Aktion «Hallo Biber»: Die naturnahe Gestaltung der Bach- und Flussufer und Beseitigung von Ausbreitungsbarrieren ermöglichen dem Biber die Wiederbesiedelung der Nordwestschweizer Gewässer. Der Erfolg verschiedener Artenschutzprogramme kann wissenschaftlich mit den so genannten Blauen Listen dokumentiert werden (www.blue-lists.ethz.ch). Blaue Listen sind ein Instrument, welches jene Rote Liste-Arten aufführen, deren Bestände längerfristig gefördert oder mindestens stabilisiert werden konnten. Eine Studie in der nördlichen Schweiz ergab, dass 33 % der in einer Gefährdungskategorie aufgeführten Pflanzenarten durch verschiedene Natur- und Umweltschutzmassnahmen zwischen 1966 und 1998 gefördert oder stabilisiert werden konnten (Gigon et al. 2000). Beispiele solcher Massnahmen sind die Entbuschung von Trockenwiesen und fachgerechte Ansaaten und Anpflanzungen.

Bemerkenswert ist, dass für etwa 90 % der gefährdeten Arten die wissenschaftliche Grundlage für eine erfolgreiche Förderung vorhanden ist. Von diesem Wissen wird aber nur ein Bruchteil angewendet. Es fehlt der politische Wille, die bestehenden gesetzlichen Grundlagen umzusetzen, die eingegangenen Verpflichtungen einzuhalten und die dafür benötigten Mittel und Fachleute einzusetzen.

Die zurzeit vorhandene Biodiversität ist das Ergebnis der Evolution über einen Zeitraum von mehr als 3 Milliarden Jahren. Es gibt eine Reihe von Gründen, sich für die Erhaltung dieser Vielfalt einzusetzen.

Dank

Ich danke Anette Baur und Evelyn Meyer für Kommentare zum Manuskript.

Literatur

- Altermatt, F., D. Fritsch, W. Huber & S. Whitebread (2006): Die Gross-Schmetterlingsfauna der Region Basel. Monographien der Entomologischen Gesellschaft Basel 2: 1–423.
- Baur, B. (2010): Biodiversität. UTB Profile. Haupt Verlag, Bern.
- Baur, B., W. Billen & D. Burckhardt (Red.) (2008): Vielfalt zwischen den Gehegen: wildlebende Tiere und Pflanzen im Zoo Basel. Monographien der Entomologischen Gesellschaft Basel 3: 1–462.
- Baur, B., P. Duelli, P.J. Edwards, M. Jenny, G. Klaus, I. Künzle, S. Martinez, D. Pauli, K. Peter, B. Schmid, I. Seidl & W. Suter (2004): Biodiversität in der Schweiz – Zustand, Erhaltung, Perspektiven. Haupt Verlag, Bern.
- Baur, B., K.C. Ewald, B. Freyer & A. Erhardt (1997): Ökologischer Ausgleich und Biodiversität. Birkhäuser, Basel.
- Burckhardt, D., B. Baur & A. Studer (2003): Fauna und Flora auf dem Eisenbahngelände im Norden Basels. Monographien der Entomologischen Gesellschaft Basel 1: 1–248.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton & M. van den Belt (1997): The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature* 387: 253–260.
- Duelli, P. (2004): Wieviele Arten leben in der Schweiz? WSL Birmensdorf, Informationsblatt Forschungsbereich Landschaft 61: 4.
- Duelli, P., G. Klaus, T. Lachat & D. Pauli (2010): Den Wandel der Biodiversität aufzeigen – ein Indizienprozess. In: Lachat T., D. Pauli, Y. Gonseth, G. Klaus, C. Scheidegger, P. Vittoz & T. Walter (Red.) Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht? Bristol Stiftung, Zürich, Band 25, Haupt Verlag, Bern, pp. 15–21.
- EEA (2009): Progress towards the European 2010 biodiversity target. European Environment Agency, Report 4/2009.
- Ewald, K.C. & G. Klaus (2009): Die ausgewechselte Landschaft. Haupt Verlag, Bern.
- Gigon, A., R. Langenauer, C. Meier & B. Nievergelt (2000): Blue lists of threatened species with stabilizing or increasing abundance: a new instrument for conservation. *Conservation Biology* 14: 402–413.
- Hickling, R., D.B. Roy, J.K. Hill, R. Fox & C.D. Thomas (2006): The distributions of a wide range of taxonomic groups are expanding polewards. *Global Change Biology* 12: 450–455.
- Hughes, B., J.A. Robinson, A.J. Green, Z.W.D. Li & T. Mundkur (Red.) (2006): International single species action plan for the conservation of the white-headed duck *Oxyura leucocephala*. CMS Technical Series No. 13 and AEWA Technical Series No. 8, Bonn.
- Ingold, P. (2005): Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere. Haupt Verlag, Bern.
- Job, H., B. Harrer, D. Metzler & D. Hajizadeh-Alamdaray (2005): Ökonomische Effekte von Grossschutzgebieten. BfN-Skripten 135, Bundesamt für Naturschutz, Bonn.
- Kleijn, D., F. Kohler, A. Baldi, P. Batary, E.D. Conception, Y. Clough, M. Diaz, D. Gabriel, A. Holzschuh, E. Knop, A. Kovacs, E.J.P. Marshall, T. Tscharntke & J. Verhulst (2009): On the relationship between farmland biodiversity and land-use intensity in Europe. *Proceedings of the Royal Society of London, Series B* 276: 903–909.
- Lachat, T., D. Pauli, Y. Gonseth, G. Klaus, C. Scheidegger, P. Vittoz & T. Walter (Red.) (2010): Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht? Bristol Stiftung, Zürich, Band 25, Haupt Verlag, Bern.
- Lenzin, H., H. Meier-Küpfner, S. Schwegler & B. Baur (2007): Hafen- und Gewerbegebiete als Schwerpunkte pflanzlicher Diversität innerhalb urban-industrieller Ökosysteme. *Naturschutz und Landschaftsplanung* 39: 86–93.
- Little, C. (1990): The terrestrial invasion: an ecophysiological approach to the origins of land animals. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lovasi, G.S., J.W. Quinn, K.M. Neckerman, M.S. Perzanowski & A. Rundle (2008): Children living in areas with more street trees have a lower prevalence of asthma. *Journal of Epidemiology and Community Health* 62: 647–649.
- Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel (2003): Naturschutzgebiet Wildenstein Kanton Basel-Landschaft. Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaften beider Basel 7: 1–358.
- Nentwig, W. (2010): Invasive Arten. UTB Profile, Haupt Verlag, Bern.
- Nentwig, W., S. Bacher & R. Brandl (2009): Ökologie kompakt (2. Auflage). Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- Sauberer, N., D. Moser & G. Grabherr (2008): Biodiversität in Österreich. Räumliche Muster und Indikatoren der Arten- und Lebensraumvielfalt. Bristol-Stiftung, Band 20. Haupt Verlag, Bern.
- Secretariate of the Convention on Biological Diversity (2010) Global biodiversity outlook 3. Montreal.
- Streit, B. (2007): Was ist Biodiversität? Erforschung, Schutz und Wert biologischer Vielfalt. C.H. Beck Verlag, München.
- Tanner, K.M. (1999): Augen-Blicke – Bilder zum Landschaftswandel in Baselbiet. Quellen und Forschungen zur Geschichte und Landeskunde des Kantons Basel-Landschaft, Band 68. Verlag des Kantons Basel-Landschaft, Liestal.
- Wilson, E.O. (Red.) (1988): Biodiversity. National Academy Press, Washington D.C.

Erwähnte Internetadressen

www.biodiversity.ch – Forum Biodiversität Schweiz, das Kompetenzzentrum für Biodiversitätsforschung in der Schweiz, Schweizerische Akademien der Naturwissenschaften, Bern.

www.biodiversityhotspots.org – Information über die globalen Biodiversitäts-Hotspots

www.bluelists.ethz.ch – Information über das Instrument der Blauen Listen

www.cbd.int – *Convention on Biological Diversity*. Offizielle Website des internationalen Abkommens (eine Übersetzung der Konvention ins Deutsche ist als pdf-Dokument erhältlich über: www.admin.ch/ch/d/sr/i4/0.451.43.de.pdf)

www.countdown2010.net – Detaillierte Information über die Initiative «*Countdown 2010*»

www.fao.org – *Food and Agricultural Organization of the United Nations*. Information über nachhaltige Nahrungsmittelproduktion

www.footprintnetwork.org/de/ – *Global Footprint Network – Advancing the Science of Sustainability*. Information über den ökologischen Fussabdruck

www.millenniumassessment.org – *Millennium Ecosystem Assessment*, Informationen über die verschiedenen Projekte. Die meisten Berichte können vom Netz heruntergeladen werden.

www.teebweb.org – TEEB (*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*) Informationen über das Projekt

*Prof. Dr. Bruno Baur
Institut für Natur-, Landschafts- und Umweltschutz der Universität Basel
St. Johans-Vorstadt 10
CH-4056 Basel
bruno.baur@unibas.ch*