

2.8 Biodiversität und Ökosystemleistungen

Biodiversität ist die Vielfalt des Lebens. Die vielen unterschiedlichen Lebensformen, die es auf unserer Erde gibt, haben eines gemeinsam: Sie sind voneinander abhängig. Wenn sich die Lebenssituation für eine Art ändert, hat das Konsequenzen für andere Lebewesen. Der Mensch profitiert von vielen durch die Biodiversität erzeugten Ökosystemleistungen, die uns seit jeher Nahrung, Fasern für Kleidung, Werk- und Baustoffe sowie medizinische Wirkstoffe liefern. Intakte Ökosysteme reinigen Luft und Wasser, sorgen für fruchtbare Böden, schützen uns vor Überschwemmungen und Hangrutschen und puffern die Auswirkungen des Klimawandels ab. Weltweit und in der Schweiz sind Biodiversität und Ökosystemleistungen aber stark durch Umweltveränderungen betroffen.

Markus Fischer (Universität Bern), Eva Spehn (Forum Biodiversität/SCNAT und Universität Bern)

Ökosystemleistungen sind Funktionen des Ökosystems, die für den Menschen vorteilhaft, oft auch direkt nutzbar sind (Abb. 2.11). Zu den Ökosystemleistungen gehören unter anderem:

- Produktion von Lebensmitteln,
- Wirkstoffe für Medikamente,
- Brenn- und Baumaterialien,
- natürliche Reinigung von Luft und Wasser,
- natürliche Regulierung der Nährstoffkreisläufe und des Mikroklimas,
- Abbau von Schadstoffen,
- Schutz vor Naturgefahren,
- Bestäubung,
- Schutz vor Schädlingen oder biologischen Invasionen und
- Stabilität gegenüber Umweltveränderungen.

Solche Ökosystemleistungen sind zentral für Gesundheit, Sicherheit und Wohlstand. Allerdings gelten die meisten Ökosystemleistungen als öffentliche Güter, die bisher nicht bilanziert werden.

Biodiversität ist eine Voraussetzung für Ökosystemleistungen und unerlässlich für das Funktionieren von Ökosystemen (Cardinale et al. 2012). Gleichzeitig kann man Biodiversität selbst auch als eine Ökosystemleistung mit gesellschaftlichem Wert an sich sehen (Fisher et al. 2009). Lebensräume benötigen eine gewisse Qualität hinsichtlich der Artenvielfalt und -häufigkeit, um die Vielzahl an Ökosystemleistungen zu gewährleisten (Cardinale et al. 2012). Übersteigen Verschiebungen im Artengefüge ein gewisses Ausmass – etwa als Folge von Landnutzungs- oder klimatischen Änderungen – ist zu erwarten, dass bisherige Ökosystemleistungen nicht mehr in derselben Qualität oder Quantität bereitgestellt werden können.

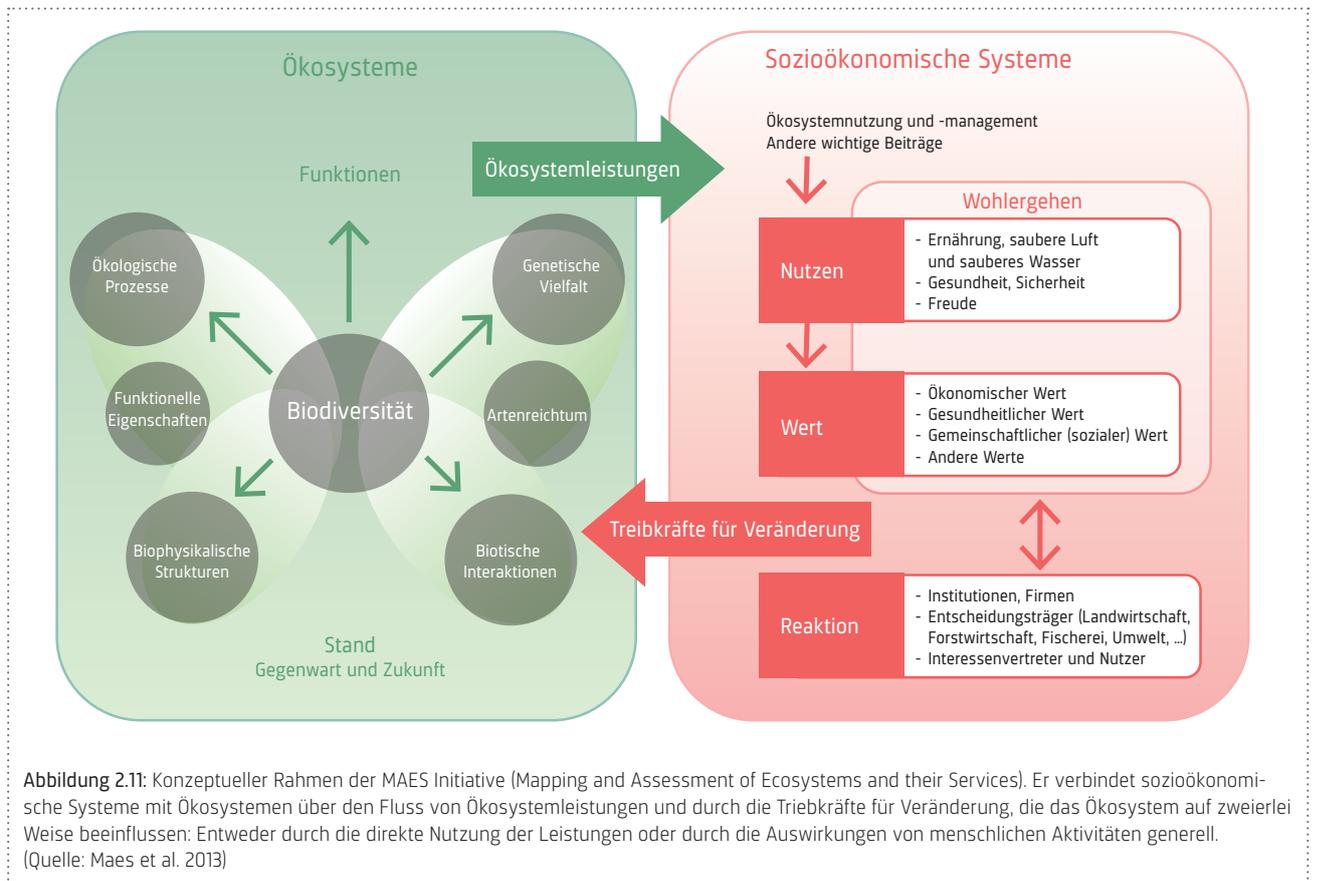
Globale und nationale Situation

Weltweit hoher Druck auf Biodiversität und Ökosystemleistungen

Global ändert sich die Biodiversität mit noch nie dagewesener Geschwindigkeit aufgrund der vom Menschen verursachten Umweltveränderungen (Mace et al. 2005). Der Rückgang der Biodiversität ist eine Folge des menschlichen Eingreifens in die Natur, vor allem durch Landnutzung und damit einhergehender Lebensraumverluste und -degradierungen (Newbold et al. 2015). Eine Schätzung der Intaktheit natürlicher Biodiversität in lokalen Ökosystemen zeigt, dass über die Hälfte der globalen Landfläche als «biotisch kompromittiert» gilt, also einen Verlust von mehr als 20 Prozent der Arten aufweist (Newbold et al. 2016). Der Biodiversitätsverlust – sowohl der absolute Verlust an Genen/Arten/Lebensgemeinschaften, als auch deren lokales Verschwinden – wird seinerseits auch als ein Antrieb globaler Umweltveränderungen betrachtet; dies aufgrund seines Ausmasses und wegen der starken Koppelung an Ökosystemleistungen und der gesellschaftlichen Nutzung natürlicher Ressourcen an Biodiversität (Mace et al. 2005).

Ökosystemleistungen sind global und in Europa bis an die Grenzen der Belastbarkeit beansprucht, und die Nachfrage steigt in den meisten Fällen weiterhin stark an (Schröter et al. 2005). Zudem gibt es zahlreiche Hinweise, dass der Klimawandel diese (Über-)Beanspruchung weiter steigern wird (Millennium Ecosystem Assessment 2005; TEEB 2009), da seine negativen Folgen auf Ökosysteme deren Potenzial zur Bereitstellung von Ökosystemleistungen beeinträchtigen.

Detailliertere Informationen zum weltweiten Zustand von Biodiversität und den Ökosystemleistungen, die sich teilweise auch auf die Schweiz übertragen lassen, sind bis 2019 zu erwarten. Bis dann wird der Weltbiodiversitätsrat IPBES – analog dem IPCC für das Klima – verschiedene



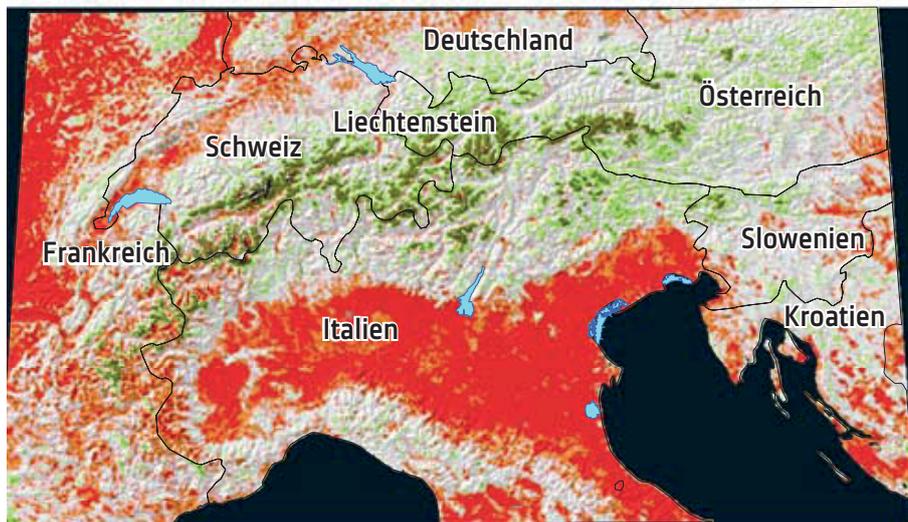
weltweite, regionale und thematische Berichte über Biodiversität und Ökosystemleistungen erarbeitet haben.

Schweiz: Rückgang der Biodiversität und Ökosystemleistungen

In den letzten Jahrzehnten hat die Biodiversität in der Schweiz einen deutlichen Rückgang erfahren (Lachat et al. 2010). Über ein Drittel der Pflanzenarten und fast die Hälfte der Tierarten stehen auf der roten Liste der Schweiz; der Zustand geschützter Lebensräume wie Moore und Trockenwiesen und Weiden verschlechtert sich weiter. Der Rückgang der Biodiversität ist vor allem durch Landnutzungsänderungen, Zersiedelung, Infrastrukturmassnahmen, Verkehrs-, Stickstoff- und Schadstoffbelastung verursacht (Lebensraumverlust). Die Trockenwiesen und -weiden haben deshalb seit 1900 einen Flächenrückgang von 95 Prozent erlitten (Lachat et al. 2010). In der Schweiz reichen die aktuelle Qualität, Quantität und die Vernetzung vieler Lebensräume nicht aus, um deren Biodiversität und Ökosystemleistungen langfristig zu erhalten. Der tatsächliche Flächenbedarf ist deutlich höher: Je nach Region und Lebensraum wird hierfür rund ein Drittel der Gesamtfläche als notwendig erachtet, in einigen weniger, in anderen mehr (Guntern et al. 2013). Vor allem im Mit-

telland ist die Biodiversität auf einem bedenklich tiefen Niveau angelangt. Viele Leistungen der Ökosysteme wie die Erholungsfunktion, die Abpufferung von Klimaänderungen und der Hochwasserschutz sind mit einer so stark reduzierten Biodiversität nicht mehr garantiert. Eine Studie in sechs europäischen Ländern zeigte, dass die Biomasseproduktion in Mischwäldern konstanter ist als in Monokulturen (Jucker et al. 2014), und dass Bestände, die aus verschiedenen Baumarten zusammengesetzt sind, generell mehr Ökosystemleistungen erbringen als Monokulturen (Van der Plas et al. 2016). Bei einer grossangelegten Feldstudie in drei Gebieten in Deutschland zeigte sich entsprechend, dass eine Intensivierung der Grünlandnutzung nicht nur zu einem Verlust an Biodiversität führt (Allan et al. 2014), sondern auch zu einem Rückgang in der Bereitstellung vielfältiger Ökosystemleistungen (Allan et al. 2015).

Der Rückgang der Biodiversität konnte bisher trotz zusätzlicher Anstrengungen – etwa im Natur- und Gewässerschutz und beim ökologischen Ausgleich in der Landwirtschaft – nicht gestoppt werden. Stattdessen verstärkt sich der Druck auf die Biodiversität noch weiter durch Entwicklungen wie die steigende Bevölkerungszahl, den Klimawandel oder die Intensivierung der Landwirtschaft an den für Ackerbau und Grünlandnutzung günstigen



MODIS Sommer Anteil FPAR im Vergleich zum Durchschnitt (%)

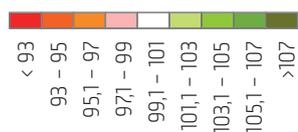


Abbildung 2.12: Anteil der im Sommer 2003 von Pflanzen absorbierten photosynthetisch relevanten Strahlung (FPAR) im Vergleich zum 5-Jahresmittel, gemessen von Instrumenten («MODIS») auf Satelliten. Die roten Bereiche zeigen, wo FPAR und somit das Pflanzenwachstum im Jahr 2003 geringer war als der Mittelwert. Grüne Bereiche zeigen höhere Werte von FPAR und somit besseres Pflanzenwachstum als im Mittelwert. In den weissen Gebieten blieben die Werte unverändert.
(Quelle: Reprinted by permission from John Wiley & Sons Ltd.: Jolly et al. 2014, copyright [2014])

Stellen beziehungsweise die Aufgabe der Nutzung an topographisch schwieriger zu bewirtschaftenden Orten. Ein Beispiel für den Artenverlust durch Intensivierung sind die Fromentalwiesen (Glatthaferwiesen), die bis Mitte des letzten Jahrhunderts weit verbreitet waren. Durch eine starke Intensivierung wurden sie fast vollständig durch artenarmes Wiesland verdrängt (von 85 Prozent aller Wiesen um 1950 zu 2 Prozent heute). Zudem ging die Zahl der für Fromentalwiesen typischen Arten von 25 auf 9 zurück (Bosshard 2015). Im Süßgewässer sind invasive Arten die Hauptursache für den Rückgang einheimischer Arten. Zum Beispiel wurden in den vergangenen 30 Jahren die einheimischen wirbellosen Tiere (Kleinkrebse, Insektenlarven, Schnecken, Muscheln, Würmer), welche die Rheinsohle bewohnten, fast vollständig durch eingewanderte Arten (z. B. asiatische Körbchenmuschel *Corbicula fluminea*) ersetzt (Rey et al. 2005).

Verletzlichkeit

Der Klimawandel zeigt jetzt schon Effekte auf die meisten Ökosysteme (s.a. Kap. 2.7 Alpine Ökosysteme, S.

96, Kap. 2.9 Wald, S. 106, Kap. 2.10 Landwirtschaft, S. 111) und wird künftig stärkere Auswirkungen auf Biodiversität und Ökosystemleistungen haben. Die Auswirkungen der Hitzewelle im Jahr 2003 auf das Pflanzenwachstum sollen exemplarisch zeigen, dass in der Schweiz vor allem die Ökosysteme niedriger Lagen durch Extremtemperaturen betroffen werden, während das Pflanzenwachstum in höheren Lagen sogar besser sein kann als bei bisher normalen Temperaturen (Abb. 2.12; Jolly et al. 2005).

Der Klimawandel verändert sowohl die Phänologie als auch die Verbreitung von Arten in der Schweiz mit der Tendenz zur Ausbreitung in höhere Lagen. Viele untersuchte Arten zeigen ein erhöhtes Risiko lokal zu verschwinden oder auszusterben, entweder direkt durch Kli-

mawandel verursacht oder in Kombination mit anderen Faktoren (Lachat et al. 2010; Bellard et al. 2012; Urban et al. 2012).

Allgemein kann der Klimawandel die Lebensräume der Arten verändern durch:

- Verlagerung des bisherigen Lebensraums, ohne dass die Arten dem folgen können (Abb. 2.13),
- Verlagerung der Arten aus ihrem bevorzugten Lebensraums hinaus oder
- Änderungen in der Qualität des Lebensraums (Urban et al. 2012).

Kippunkte der Ökosysteme

Der Klimawandel birgt einige Risiken für terrestrische und Süßwasser-Ökosysteme und ihre wichtigsten Ökosystemleistungen (IPCC 2014/WGII/Chap.4). Fast alle Auswirkungen des Klimawandels auf die Biodiversität sind schleichend, aber es kann auch zu plötzlichen, irreversiblen Veränderungen des natürlichen Gleichgewichts kommen, die zu einer substantiellen Störung von Ökosys-

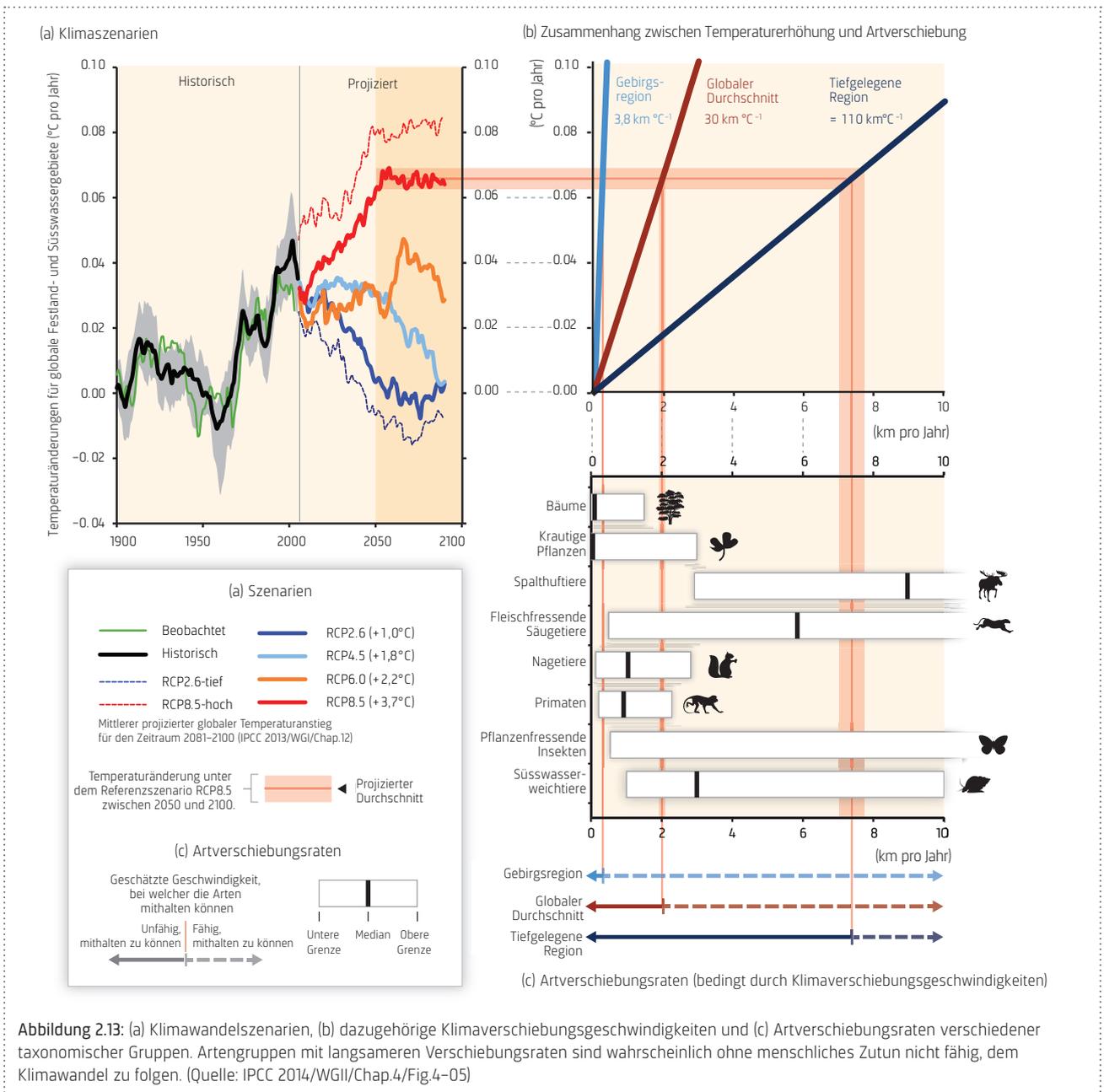


Abbildung 2.13: (a) Klimawandelszenarien, (b) dazugehörige Klimaverschiebungsgeschwindigkeiten und (c) Artverschiebungsraten verschiedener taxonomischer Gruppen. Artengruppen mit langsameren Verschiebungsraten sind wahrscheinlich ohne menschliches Zutun nicht fähig, dem Klimawandel zu folgen. (Quelle: IPCC 2014/WGII/Chap.4/Fig.4-05)

temen führen. In diesem Zusammenhang spricht man von Kippunkten von Ökosystemen (*tipping points*) (Secretariat of the Convention on Biological Diversity 2014).

Einer der am besten untersuchten Kippunkte ist der Verlust von Korallenriffen, der bis 2050 erwartet wird (IPCC 2014/WGII). Grund für das Verschwinden der Korallen ist eine Kombination von Verschmutzung, Überfischung, invasiven Arten und Versauerung der Ozeane (wegen der steigenden CO₂-Konzentrationen und steigenden Wassertemperaturen). Auch arktische Ökosysteme sind durch Auftauen des Permafrostes, Verbuschung der Tundra und vermehrten Ausbruch von Krankheiten oder Feuern in

nördlichen Wäldern gefährdet («boreal tipping point», IPCC 2014/WGII/Chap.4). Die Möglichkeiten, dieses Umkippen der Wälder durch Anpassung zu verhindern, sind sehr gering. Auch Baumsterblichkeit und Waldverlust nehmen an vielen Orten zu und wurden in manchen Fällen direkt Klimaeffekten und indirekten Effekten (Zunahme von Krankheitserregern und Schädlingen) zugeschrieben (s. a. Kap. 2.9 Wald, S. 106).

Schleichende Veränderungen und Anpassung

Klimamodelle sagen voraus, dass viele Arten in den nächsten Jahrzehnten durch langsame klimabedingte Lebensraumveränderungen betroffen sein werden (Urban et al. 2012). Zunehmende Trockenperioden aufgrund geringerer prognostizierter Regenfälle im Sommer könnten zum Beispiel bewirken, dass Wälder im Mittelwallis absterben und Laichgewässer von Amphibien frühzeitig im Jahr austrocknen (Lachat et al. 2010). Besonders gefährdet sind Arten mit geringer Ausbreitungsgeschwindigkeit; vor allem solche, die flache Gebiete besiedeln (Abb. 2.13), in denen die Geschwindigkeit der Klimaänderung hoch ist, und solche, die isolierte Lebensräume wie Berggipfel, Inseln oder kleine Schutzgebiete besiedeln. Im Zuge der Anpassung an ein wärmeres Klima wandern viele Arten im Gebirge schon nach oben. Eine Analyse der seit 2003 erhobenen Daten des Biodiversitätsmonitorings Schweiz zeigte, dass innerhalb von acht Jahren sowohl Pflanzen und Schmetterlinge als auch Vögel ihre Ausbreitung nach oben verlegt haben – im Durchschnitt um 8 Meter, 38 Meter und 42 Meter (Roth et al. 2014). Auch die Baumgrenze verschiebt sich nach oben (s. a. Kap. 2.9 Wald, S. 106, Kap. 2.7 Alpine Ökosysteme, S. 96).

Andererseits können wärmeliebende Arten in tieferen Lagen von höheren Temperaturen profitieren. In der Schweiz ist aufgrund der wärmeren und milderen Winter der vergangenen 30 Jahre sowohl im Tessin als auch in der Nordschweiz eine Angleichung der Vegetation an die neuen klimatischen Bedingungen im Gange. So sind beispielsweise wärmeliebende Arten häufiger als noch vor 30 Jahren. In den Wäldern im Tessin sind immergrüne hartlaubige Arten aus den gemässigten bis subtropischen Klimazonen Ostasiens inzwischen recht häufig, wie zum Beispiel Lorbeer, Japan-Liguster, Hanfpalme und Zimtbaum, die in Gärten kultiviert werden und sich von dort aus ausbreiten (Walther et al. 2001). Auch wärmeliebende Insektenarten im Mittelwallis profitieren, beispielsweise der Bläuling *Cupido alcetas*, der sein Verbreitungsgebiet im Hitzesommer 2003 stark erweitert hat (Juillerat 2005).

Langfristig könnten manche Lebensräume durch den Klimawandel ganz verschwinden oder neue Lebensräume entstehen (IPCC 2014/WGII/Chap.4). Mehrere aktuelle Studien zeigen, dass der Klimawandel die Qualität von Lebensräumen schon verändert hat und weiterhin verändern wird. Wie gross der Einfluss von veränderten Lebensräumen auf die Häufigkeit von Arten und deren Aussterberisiko ist, lässt sich nur schwer abschätzen, da manche Arten sich an neue Lebensräume anpassen können (IPCC 2014/WGII/Chap.4) oder durch unterschiedliche Wandergeschwindigkeiten (Abb. 2.13) auf neue Konkurrenten treffen (Alexander et al. 2015). Arten, die auf Synchronizität mit anderen Arten angewiesen sind, re-

agieren empfindlich auf Veränderungen in der zeitlichen Entwicklung (Phänologie), eine der raschesten Folgen des Klimawandels. So werden Interaktionen zwischen Arten unterbrochen, zum Beispiel wenn die Aktivität der Bestäuber nicht mehr mit der Blütezeit zusammenfällt. Oder wenn der Austrieb der Blätter (*Quercus robur*, Stieleiche) nicht mehr mit dem Schlüpfen der Raupen (*Operophtera brumata*, Kleiner Frostspanner) zusammenfällt, die sich von jungen Eichenblättern ernähren. Dadurch verhungern die Raupen, was wiederum den Bruterfolg von Meisen und Fliegenschnäppern verringert, die ihre Brut mit den Raupen füttern (Visser & Holleman 2001).

Herausforderungen für die Schweiz

Für die Schweiz sind der Erhalt und die nachhaltige Nutzung ihrer Biodiversität und Ökosystemleistungen eine grosse Herausforderung. Als ein Land mit hoher Bevölkerungsdichte im besiedelbaren Raum stellt sich das Problem der Priorisierung verschiedener Nutzungen auf bestimmten Flächen in besonderem Mass. Im Rahmen nationaler und internationaler Vereinbarungen hat sich die Schweiz verpflichtet, die Biodiversität zu erhalten und ihre Nutzung nachhaltig zu gestalten (u. a. Biodiversitätskonvention, Nagoya-Protokoll).

Der Flächenbedarf für die Erhaltung der Biodiversität und der Ökosystemleistungen beträgt in der Schweiz rund ein Drittel der Landesfläche und geht damit weit über das hinaus, was heute noch an ökologisch wertvollen Flächen vorhanden ist (Gunter et al. 2013). Der Schutz dieser verbliebenen Flächen ist wichtig, bei mehreren Lebensräumen sind aber Aufwertungs- und Wiederherstellungsmassnahmen erforderlich. Naturschutzgebiete mit Arten, für welche die Schweiz Verantwortung trägt, sollten die künftigen Areale dieser Arten berücksichtigen; es geht darum Wanderkorridore zu sichern, weitere Gebiete unter Schutz zu stellen, verinselte Populationen untereinander wieder zu verbinden und ein engmaschiges Netz von Lebensräumen zu knüpfen, das den Bedürfnissen einer grösstmöglichen Anzahl Arten gerecht wird (Lachat et al. 2010).

Die Förderung der Biodiversität ist für Ökosystemleistungen und den Klimaschutz sehr wichtig: Das Ziel sollte deshalb sein, Synergien zu erkennen und zu nutzen. Mögliche Nutzungsanpassungsmassnahmen, welche die Biodiversität betreffen, sind in der Landwirtschaft eine Anpassung der Sorten und die Verwendung diverser Saatzmischungen. In der Forstwirtschaft sind es beispielsweise die Vermeidung von empfindlich auf den Klimawandel reagierenden Baumarten, wie etwa Buche und Fichte im Unterland (Schelhaas et al. 2015), und die vermehrte Verwendung von Baumartmischungen. Zu den wirksamen

Förderungsmassnahmen der Biodiversität gehören Veränderungen und Zersiedelungen der Lebensräume sowie deren Verschmutzung und Übernutzung zu mindern, invasive Arten einzudämmen, Schutzgebiete auszuweiten, die Ausbreitung von Lebensräumen zu unterstützen sowie Arten ex situ zu konservieren. Der Bundesrat hat im April 2012 die Strategie Biodiversität Schweiz (SBS) ver-

abschiedet, die zum Ziel hat, die Biodiversität reichhaltig und gegenüber Veränderungen reaktionsfähig zu halten sowie die durch sie ermöglichten Ökosystemleistungen langfristig zu erhalten (BAFU 2012). Zurzeit wird der Aktionsplan zu dieser Strategie erarbeitet; er greift die oben genannten Förderungsmassnahmen auf (BAFU 2015).

Referenzen

- Alexander JM, Diez JM, Levine JM (2015) **Novel competitors shape species' responses to climate change.** *Nature* 525: 515–518.
- Allan E et al. (2014) **Interannual variation in land-use intensity enhances grassland multidiversity.** *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 111: 308–313.
- Allan E et al. (2015) **Land use intensification alters ecosystem multifunctionality via loss of biodiversity and changes to functional composition.** *Ecology Letters* 18: 834–843.
- Bellard C, Bertelsmeier C, Leadley P, Thuiller W, Courchamp F (2012) **Impacts of climate change on the future of biodiversity.** *Ecology Letters* 15: 365–377.
- BAFU (2012) **Schweizer Biodiversitätsstrategie.** In: Erfüllung der Massnahme 69 (Ziel 13, Art. 14, Abschnitt 5) der Legislaturplanung 2007–2011: Ausarbeitung einer Strategie zur Erhaltung und Förderung der Biodiversität.
- BAFU (2015) **Ergebnisbericht Vorkonsultation Massnahmen Aktionsplan Strategie Biodiversität Schweiz.**
- Bosshard A (2015) **Rückgang der Fromentalwiesen und die Auswirkungen auf die Biodiversität.** *Agrarforschung Schweiz* 6: 20–27.
- 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: 59–67.
- Fisher B, Turner RK, Morling P (2009) **Defining and Classifying Ecosystem Services for Decision Making.** *Ecological Economics* 68: 643–653.
- Guntern J, Lachat T, Pauli D, Fischer M (2013) **Flächenbedarf für die Erhaltung der Biodiversität und der Ökosystemleistungen in der Schweiz.** Forum Biodiversität Schweiz der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), Bern.
- IPCC (2014) **Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability (WGII).** Chapter 4 «Terrestrial and inland water systems». www.ipcc.ch/report/ar5/wg2
- Jolly WM, Dobberty M, Zimmermann NE, Reichstein M (2005) **Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps.** *Geophysical Research Letters* 32: L18409.
- Jucker T, Bouriaud O, Avakaritei D, Coomes DA (2014) **Stabilising effects of diversity on aboveground wood production in forest ecosystems: linking patterns and processes.** *Ecology Letters* 17: 1560–1569.
- Juillerat L (2005) **Extension rapide de l'aire de distribution de *Cupido alcetas* (Hoffmansegg 1804) (Lepidoptera, Lycaenidae) en Suisse occidentale en 2003 et 2004.** *Bulletin romand d'entomologie* 22: 81–95.
- Lachat T, Pauli D, Gonseth Y, Klaus G, Scheidegger C, Vittoz P, Walter T (eds.) (2010) **Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht?** Zürich, Bristol-Stiftung, Haupt Verlag, Bern.
- Maes J et al. (2013) **Mapping and Assessment of Ecosystems and their Services.** An analytical framework for ecosystem assessments under action 5 of the EU biodiversity strategy to 2020. Publications office of the European Union, Luxembourg.
- Mace G, Masundire H, Baillie J et al. (2005) **Biodiversity.** In: Millennium Ecosystem Assessment. (2005) Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group. Ecosystems and Human Well-being, Volume 1. Island Press, Washington DC.
- Millennium Ecosystem Assessment (2005) **Ecosystems and Human Well-being: Synthesis.** Island Press, Washington DC.
- Newbold T et al. (2015) **Global effects of land use on local terrestrial biodiversity.** *Nature* 520: 45–50
- Rey P, Ortlepp J, Küry D (2005) **Wirbellose Neozoen im Hochrhein.** Ausbreitung und ökologische Bedeutung. Schriftenreihe Umwelt 380, Bundesamt für Umwelt, Bern.
- 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*: e82490.
- Schelhaas MJ, Nabuurs GJ, Hengeveld G, Reyer C, Hanewinkel M, Zimmermann NE, Cullmann D (2015) **Adaptive forest management to account for climate change-induced productivity and species suitability changes in Europe.** *Regional Environmental Change* 15: 1581–1594.
- Schröter D et al. (2005) **Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe.** *Science* 310: 1333–1337.
- Secretariat of the Convention on Biological Diversity (2014) **Global Biodiversity Outlook 4.** Montréal, 155 pp. www.cbd.int/GBO4
- TEEB (2009) **The Economics of Ecosystems and Biodiversity.** Climate Issues Update, 32 p.
- Urban MC, Tewksbury JJ, Sheldon KS (2012) **On a collision course: competition and dispersal differences create no-analogue communities and cause extinctions during climate change.** *Proceedings of the Royal Society B* 279: 2072–2080.
- Van der Plas F et al. (2016) **Jack-of-all-trades effects drive biodiversity-ecosystem multifunctionality relationships in European forests.** *Nature Communications* 7: 11109.
- Visser ME, Hollemann LJM (2001) **Warmer springs disrupt the synchrony of oak and winter moth phenology.** *Proceedings of the Royal Society B* 268: 289–294.
- Walther G-R, Carraro G, Klötzli F (2001) **Evergreen broad-leaved species as indicators for climate change.** In: G-R Walther, Burga CA, Edwards PJ (eds.), «Fingerprints» of Climate Change – Adapted behaviour and shifting species ranges. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York: 151–162.