

Landökosysteme

Autoren

Christian Körner, Chair

Botanisches Institut, Universität Basel

Nina Buchmann

Institut für Pflanzenwissenschaften, ETH Zürich

Harald Bugmann

Departement Umweltwissenschaften, ETH Zürich

Peter Duelli

WSL Birmensdorf

Erika Hiltbrunner

Botanisches Institut, Universität Basel

Gabriele Müller-Ferch

Redaktion, ProClim-, Akademie der Naturwissenschaften Schweiz

Jürg Paul Müller

Naturmuseum Chur

Otto Wildi

WSL Birmensdorf

Roman Zweifel

WSL Birmensdorf



1. Einleitung

Einbettung

Wie wird die Landschaft aussehen, in der unsere Kinder und Kindeskinde im Jahre 2050 leben? Welche Trends erkennen wir heute und wie wird sich unsere Landschaft und ihre Leistungen ändern, wenn die heutige Entwicklung so weiter geht oder sich gar beschleunigt? Der vorliegende Bericht ist, wie das bei allen Projektionen in die Zukunft der Fall ist, eine Einschätzung auf der Basis heutigen Wissens, ein Versuch, ein möglichst plausibles Bild zu zeichnen.

Zu den stärksten Einflüssen, denen die Ökosysteme heutzutage ausgesetzt sind, gehören die folgenden:

- Landnutzungsänderungen durch den Menschen
- Veränderungen in der Zusammensetzung der Atmosphäre (CO₂, Stickstoff-Verbindungen)
- Klimaänderungen (Erwärmung, geänderte Niederschlagsverhältnisse, Stürme)
- Anreicherungen von Wirkstoffen (Pestiziden, Hormonen, allg. reaktive Substanzen)

Die möglichen Folgen dieser Veränderungen sind:

- Verlust an biologischer Vielfalt und ganzer Lebensgemeinschaften
- Veränderung der Landbedeckungsformen (Wald, Acker, Grünland, Siedlung usw.)
- Verlust an Bodensubstanz und Bodenqualität
- Veränderte ökosystemare Nutzen für den Menschen

Jede Einschätzung der zukünftigen Entwicklung der natürlichen Ressourcen eines Landes be-

ginnt notwendigerweise mit einer Betrachtung des gegenwärtigen Zustandes und seiner historischen Entwicklung. Im Fall der Landökosysteme (die Systeme im Wasser werden im Kapitel Wasserwirtschaft behandelt) ist der beste Ausgangspunkt die Flächenverteilung der Landbedeckungsformen im Laufe der Zeit. Solche Daten gibt es erstaunlicherweise noch nicht sehr lange.

Die ersten, vagen Schätzungen der Waldfläche in der Schweiz gehen auf das Jahr 1840 zurück. Ganze Berghänge waren damals kahl geschlagen. Das erste Waldgesetz aus dem Jahre 1876 setzte dieser ungezügelter Abholzung Schranken und bewirkte die Ausarbeitung der ersten Waldinventare. Später lag das Interesse vor allem bei den unmittelbar benötigten Ressourcen. So beschäftigte man sich in den grossen Kriegen mit dem Potenzial der eigenen landwirtschaftlichen Produktion und den dazu geeigneten Flächen. Dabei sind die verwendeten Methoden über die Zeit nicht konstant. Es ist zum Beispiel sehr schwierig zu definieren, was ein Wald und was keiner ist. Rechnet man Feldgehölze, Windwurfflächen oder aufkommenden Jungwuchs auf ehemaligem Weideland dazu oder nicht? Die historische Entwicklung der verschiedenen Landbedeckungsformen seit 1900 ist als Schätzung aufgrund von historischen Datenquellen in Abb. 1 dargestellt.

Die erste auf Luftbildern basierte und somit relativ präzise Arealstatistik der Schweiz entstand in den Jahren 1979–1985, eine weitere liegt aus den Jahren 1992–1997 vor. Eine dritte Nachführung ist seit 2005 in Arbeit (Abschluss bis 2013). Die Veränderungen zwischen der ersten und zweiten Arealstatistik zeigt Tabelle 1.

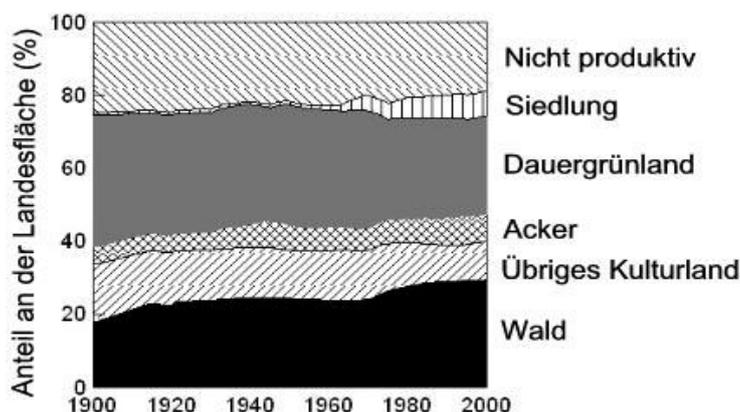


Abbildung 1:
Abschätzung der Entwicklung
der Landbedeckungsformen der
Schweiz 1900–2000¹

Tabelle 1: Landbedeckungsformen in der Schweiz. 74 Grundkategorien wurden zu vier Hauptkategorien zusammengefasst.

| Bodennutzungs- und Strukturkategorien | Fläche in ha (% der Gesamtfläche) | | Veränderung zwischen den Aufnahmen | |
|---|--------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------|
| | 1979–1985 | 1992–1997 | ha | % (100%=1979/85) |
| Siedlungs- und Verkehrsfläche | 246'098 (5.97%) | 278'772 (6.76%) | 32'674 | +13.3 |
| Landwirtschaftliche Nutzfläche | 1'572'091 (38.15%) | 1'523'930 (36.98%) | -48'161 | - 3.1 |
| Wald und Gehölzvegetation | 1'252'815 (30.40%) | 1'269'825 (30.81%) | 17'010 | +1.4 |
| Unproduktive Flächen und Vegetation ^{a)} | 1'050'044 (25.48%) | 1'048'521 (25.45%) | -1'523 | - 0.1 |

^{a)} Feuchtlebensräume (Inventarflächen) sind in dieser Kategorie enthalten (Flächenangaben gemäss Bundesinventaren zum Schutz der Hoch- und Flachmoore).

Von den rund 41'290 km² Landesfläche der Schweiz entfiel zum Zeitpunkt der ersten Erhebung (1979–1985) mit 38.1% der grösste Anteil auf die Landwirtschaft. Der Anteil der Waldfläche and anderer Gehölzformen betrug 30.4% der Landesfläche. Knapp 6% der Landesfläche entfiel auf Siedlung, Industrie und Verkehrsflächen, 25.5% waren so genannte unproduktive Flächen: Fels, Gletscher, Seen, Fließgewässer. Grob kann man sagen, dass die Waldfläche und Siedlungsfläche auf Kosten der landwirtschaftlichen Fläche in diesen 12 Jahren (1992–1997) um etwa 1.2% zunahm, wobei dieser Trend sich in jüngster Zeit beträchtlich verstärkte. Die bewaldeten Flächen bedeckten bei der zweiten Erhebung rund 31% der Landesfläche. Die stärkste Zunahme ist beim Gebüschwald im Alpenraum zu verzeichnen. Der prozentual niedrig erscheinende Verlust von 3% an landwirtschaftlichen Flächen täuscht hier über das grossflächige Verschwinden von Kulturland hinweg (3% entsprechen dem Verschwinden des gesamten Kantons Obwalden).

Wiesen und Weiden wichen in Grenzertragslagen dem Wald und im Bereich der Hohertragslandwirtschaft vor allem der Urbanisierung, die zusammen mit den wachsenden Verkehrsflächen in nur 12 Jahren um 13.3% zunahm. Pro Tag wurden in dieser Periode 7.5ha landwirtschaftlicher Fläche in Siedlungs- und Verkehrsfläche umgewandelt.

Vor diesem Hintergrund sind alle folgenden Überlegungen und Szenarien zu sehen. Die

flächenmässige Bedeutung der Waldflächen nimmt zu, die des Grünlandes ab, im hochalpinen Gelände gibt das Eis grosse Flächen frei. Die Entwicklung des Siedlungsraumes und der Landwirtschaft wird in eigenen Kapiteln dargestellt. Das Kapitel Landökosysteme behandelt hier:

- Waldökosysteme
- Wiesen und Weiden (extensiv genutztes Grünland)
- Feuchtlebensräume (Moore, Auen, Ufer)

Als Thema über alle drei Landbedeckungsformen werden die Einflüsse auf die Tierwelt erfasst.

Es werden kurz die historischen Entwicklungen erörtert, die zum heutigen Zustand führten, um anschliessend den Blick in die Zukunft zu richten. Das Schwergewicht wird auf die Klimagrössen Temperatur und Niederschlag gelegt und es wird jeweils zwischen der kontinuierlichen Entwicklung und extremen Ereignissen unterschieden. Der Text ist in folgende Abschnitte gegliedert:

- Biodiversität (Artenverlust, Habitatverlust, biotische Interaktionen)
- Naturgefahren und Lebensraumsicherheit (Erosion, Überschwemmungen, Hanginstabilität)
- Nutzen und Produkte von Ökosystemen (Holz, Nahrung, C-Speicher)

Überblick

Die Artenzusammensetzung der Ökosysteme in der Schweiz wird sich langfristig ändern, da die Arten unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren. Viele dieser Veränderungen sind irreversibel. Einerseits kommt es zu einem Schwund bisheriger Arten, andererseits auch zu einer Einwanderung fremder Pflanzen- und Tierarten aus wärmeren Regionen. So werden sich die Flora und Fauna in der Schweiz noch stärker jenen von tieferen und südlicheren Gegenden annähern. An kühle Lebensbedingungen gebundene Arten werden im Alpenraum in höhere Lagen ausweichen müssen. Sie werden dort aber aufgrund der Topografie flächenmässig stark eingeschränkt werden und können im Extremfall ihren Lebensraum ganz verlieren. Arten mit wenig Verbreitungsmöglichkeiten werden von der Erwärmung besonders beeinträchtigt. Sowohl die Klimaänderung als auch die Landnutzung werden sich in den nächsten 50 Jahren auf die Biodiversität auswirken.

Die Widerstandskraft der Vegetation und damit die Sicherheit unserer Lebensräume kann durch ein breites Artenspektrum und eine nachhaltige Nutzung der natürlichen Ökosysteme gestärkt werden. Häufigere und intensivere Extremereignisse können Ökosysteme lokal gravierend stören, so dass diese zumindest kurzfristig ihre Schutzwirkung verlieren. Die berechneten mittleren Veränderungen bis 2050 werden jedoch die Lebensraumsicherheit in der Schweiz nicht substanziell gefährden.

Landökosysteme erfüllen nicht nur wichtige Funktionen wie den Schutz vor Naturgefahren, sie liefern auch ökonomisch relevante Produkte wie Holz, Nahrung und sauberes Wasser. Dieser Nutzen wird in der Zukunft vor allem durch kombinierte Effekte beeinträchtigt, wie z. B. durch hohe Temperaturen zusammen mit geringeren Niederschlägen. Die Produktivität im Wald und im Dauergrünland wird sich spürbar verändern: In höheren Lagen dominiert eine verstärkte Produktivität durch Erwärmung, in tieferen Lagen leidet sie unter sommerlicher Trockenheit. Ausgeprägter sommerlicher Wassermangel bei hohen Temperaturen – wie zum Beispiel im Jahr 2003 und abgeschwächt im Juli 2006 – wird die Produktivität stark limitieren. In Jahren mit ausreichender Feuchtigkeit kann die Erwärmung

zu einer Verlängerung der Wachstumsperiode führen, wobei die genetisch festgelegte Entwicklungsrythmik sowohl vieler Feldfrüchte als auch in der heimischen Flora dafür wenig Spielraum lässt (<2 Wochen).

Der Wasserverfügbarkeit wird also in Zukunft noch grössere Bedeutung als heute zukommen, wobei vor allem die Tallagen und das Hügelland betroffen sind. Die Bewirtschaftung der Landökosysteme wird sich an die veränderten Umweltbedingungen anpassen müssen. So wird die Bedeutung der Hochlagen als Ausgleichsfläche für die Viehwirtschaft wieder zunehmen.

Verknüpfung mit anderen Themen

Wasserwirtschaft

- Grundwasserstand, Bedarf an Bewässerungswasser bei Dauergrünland
- Produktionseinbussen durch Wassermangel

Landwirtschaft

- Konflikte wegen Wassernutzung, hochmechanisierten Anbauverfahren und evtl. gesteigertem Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln.
- Alpiner Raum als wiederentdeckte Bewirtschaftungszone

Energie

Qualität der Kraftwerkseinzugsgebiete (Hangstabilität, Erosion)

Gesundheit

- Einwandern fremder Arten (Neophyten), welche Allergien und Asthma auslösen können (z.B. *Ambrosia artemisiifolia*).
- Kalamitäten infolge Zunahme von Naturgefahren

Tourismus

Ausfall von Schutzfunktionen im Alpenraum

Versicherungen

Frage nach Versicherungsdeckung bei Ausfall der Schutzwirkung von Landökosystemen infolge extremer Witterungsbedingungen (Lebensraumsicherheit)

2. Biodiversität

Der Lebensraum Schweiz ist stark durch die Höhenstufung geprägt, die zur Bildung von Vegetationsgürteln geführt hat. Bei einer Klimaerwärmung verschieben sich diese Gürtel nach oben. Aber auch die Artenzusammensetzungen innerhalb der Gürtel wird sich ändern. Vor allem in tieferen Lagen ist das mit dem Schwund bisheriger Arten und der Einwanderung bislang fremder Pflanzen- und Tierarten aus wärmeren Regionen verbunden.

Obwohl die Schweiz mit einer Landesfläche von rund 41'290 km² relativ klein ist und nicht am Meer liegt, weswegen die vielfältige küstennahe Pflanzen- und Tierwelt fehlt, erreicht sie ähnliche Artenzahlen wie manche viel grössere europäische Länder. Die relativ hohe Biodiversität verdankt sie den beachtlichen Höhengradienten, der geologischen Vielfalt, dem reich strukturierten, über lange Zeit traditionell bewirtschafteten Kulturland und der grossen Anzahl an natürlichen Lebensräumen.

Die ausgeprägten Vegetationsgürtel der Schweiz stellen eine Reaktion der Pflanzen- und Tierwelt auf die Höhenstufen dar. Diese Höhenstufen sind durch ihr spezifisches Klima und durch die Geländeform geprägt. Während sich die Topografie kurzfristig kaum ändern wird, verschieben sich die Klimagürtel bei einer Erwärmung tendenziell nach oben. Es resul-

tiert damit eine neue Kombination von Topografie und Klima. Für die weiteren Veränderungen ist daher die Frage der Verschiebung und Veränderung der Vegetationsgürtel wichtig.

Die *Wirbeltiere* sind schon wegen ihrer relativen Grösse in hohem Masse von der Lebensraumnutzung und -gestaltung wie auch von der direkten Nutzung durch den Menschen (Jagd, Schädlingsbekämpfung etc.) abhängig. Dieser Effekt wird – wie auch bei den wirbellosen Tieren – die Wirkungen der Klimaänderung stark überdecken. Besonders bei mobilen Tieren (z.B. bei Vögeln) ist davon auszugehen, dass Einwanderungen aus wärmeren Gebieten langfristig ein Thema bleiben werden. Auch dürfte sich der bereits gegenwärtig beobachtete Trend fortsetzen, dass früher als Zugvögel bekannte Arten der Klimagunst folgend in der Schweiz überwintern.

Entwicklung bis heute

Seit der letzten Eiszeit sind ständig Arten natürlicherweise aus wärmeren Gebieten in die Schweiz eingewandert. In Siedlungsgebieten tieferer Lagen erfolgt die Einwanderung durch anthropogene Einflüsse schneller, während die Veränderungen der Ökosysteme der Hochlagen nur langsam ablaufen.

Schon heute besteht ein grosser Teil der Fauna und Flora in Städten und Gewässern aus fremdländischen Arten. Die Einwanderung fremder Tierarten kann wegen deren Mobilität sehr rasch vor sich gehen. Bei den Wirbeltieren spielte dabei der Mensch fast immer eine zentrale Rolle. Die Verbreitung fremder Arten geschieht entweder absichtlich oder unabsichtlich durch Verschleppung beim Gütertransport.

Dass sich insbesondere die dominierenden Waldgürtel bei einer generellen Erwärmung nach oben verschieben werden, ist unbestritten² und für die spät- und nacheiszeitliche Entwicklung nachgewiesen³. Es wird davon ausgegangen, dass diese Verschiebung sehr lange dauern kann und dass sich die heutige Baumartenverbreitung erst über Jahrhunderte den veränderten Verhältnissen anpassen muss. Die wenigen im Bereich der Baumgrenze beobachteten Artverschiebungen von Arten weisen zudem darauf hin, dass solche Reaktionen in hohen Lagen besonders langsam ablaufen.⁴

Die Artenzahl in der Schweiz nimmt als Folge der steten Einwanderung fremder Arten seit der Eiszeit

zu. Durch die Erwärmung und die zunehmende Mobilität der Menschen wird sich dieser Trend noch beschleunigen (Abb. 2). Die neuen Arten dringen jedoch selten oder sehr verzögert in die bisherige, einheimische Vegetation ein und finden sich hauptsächlich in gestörten Lebensräumen.

Einheimische Arten sterben aus verschiedenen Gründen vermehrt aus. Entweder sie ertragen die Erwärmung nicht, sie werden von den Neuankömmlingen verdrängt oder durch stärker dominierende einheimische Arten unterdrückt. Letzteres gilt z.B. für die Wälder, wo sich das Wachstum der meisten Baumarten in den vergangenen zweihundert Jahren bei gleichzeitigem Rückgang der Nutzung beschleunigt hat (Abb. 3). Dies hat zu dichteren Pflanzenbeständen und damit zu einem Rückgang der lichtbedürftigen Arten geführt. Eine ähnliche Entwicklung konnte in den Feuchtgebieten mittlerer Lagen beobachtet werden, die sich unter zurückgehenden Niederschlägen kaum ändern. Sie reagieren jedoch auf erhöhte Nährstoffeinträge.

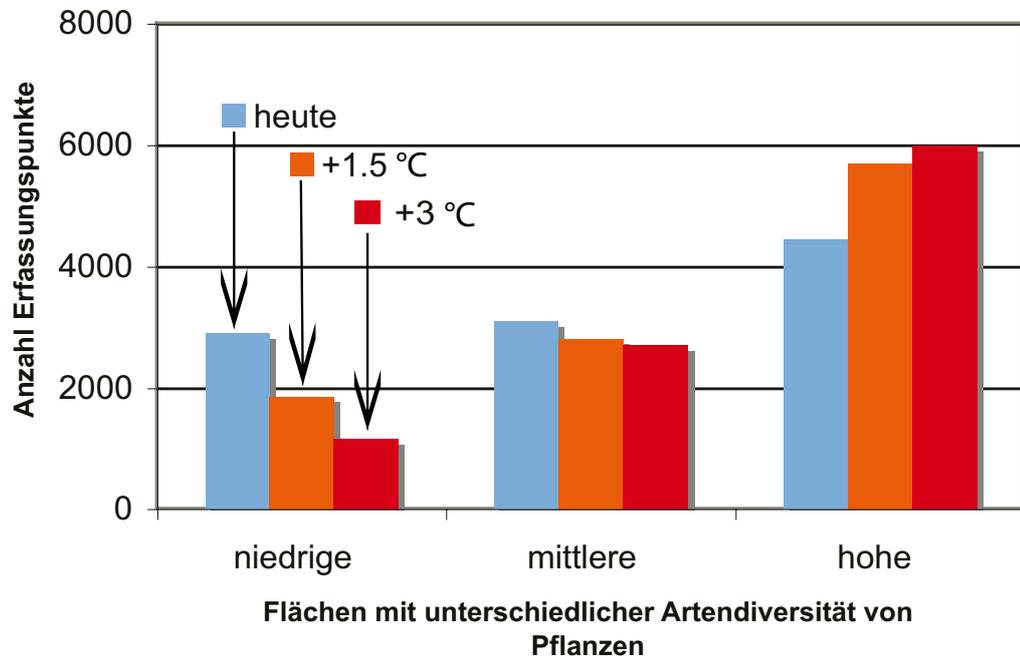


Abbildung 2: Prognostizierte Veränderung der Zahl der Pflanzenarten in den Wäldern der Schweiz als Folge des Klimawandels (Simulationsstudie, vereinfacht).⁵ Mit steigender Temperatur und gleichzeitigem leichtem Anstieg des Niederschlags (+15% im Modell; nach aktueller OcCC-Prognose sinken die Niederschläge) nimmt die Zahl der artenarmen Flächen ab, jene der artenreichen zu. Die Erfassungspunkte sind Stichproben an den Schnittpunkten des Kilometersnetzes der Schweiz innerhalb des Waldareals. Die Artenzahl bezieht sich auf Flächen von 200 m².

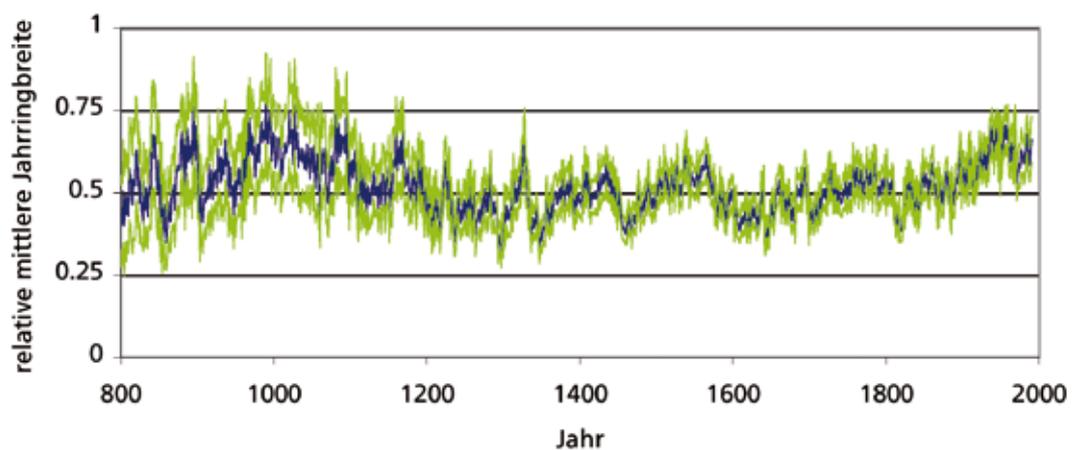


Abbildung 3: Mittlerer Dickenzuwachs der natürlich vorkommenden Baumarten im Alpenraum bis 1993.⁶ Seit 1816 nimmt die Jahrringbreite laufend zu. Die starken Schwankungen (Unsicherheiten) vor dem Jahr 1200 werden auf den Mangel an so alten Holzproben zurückgeführt (geringe Replikation). Violette Linie: Mittelwerte. Grüne Linien: Standardabweichungen.

Zukunft

Sowohl die Klimaänderung als auch die Landnutzung werden sich in den nächsten 50 Jahren auf die Biodiversität auswirken. Allgemein wird sich die Pflanzen- und Tierwelt verstärkt jenen tiefer und südlicher gelegenen Gegenden annähern. Wie viele Arten dabei verloren gehen oder neu einwandern, ist schwer abzuschätzen.

Die Einwanderung fremder Arten in die Schweiz wird sich in den nächsten 50 Jahren aufgrund des schnellen Temperaturanstiegs drastisch beschleunigen. Durch die Klimaänderung werden sich die Flora und Fauna noch stärker tiefer und südlicher gelegenen Gegenden annähern. Durch den Handel (z.B. Zierpflanzen) und die Mobilität der Bevölkerung gelangen zudem Tier- und Pflanzenarten (so genannte Neozoen und Neophyten) aus der ganzen Welt in die Schweiz. Viele neu zugewanderte Arten haben hier zunächst keine Feinde oder Krankheiten und neigen zu Massenvermehrung.

Änderungen, deren Konsequenzen erst heute spürbar werden, obwohl sie vor 100 Jahren stattfanden (z. B. Altersstruktur von Wäldern, Aufgabe der Waldweide, Erhöhung der Wildbestände).

Aufgrund heutiger Kenntnisse wird somit nicht nur das Klima, sondern vor allem die sich ändernde Landnutzung die Biodiversität stark beeinflussen. Wegen der liberalisierten Landwirtschafts- und Forstpolitik dürfte sich die Nutzung auf die Gunstlagen im Tal (Landwirtschaft) und gut zugängliche Wälder konzentrieren. Steigende Energiepreise könnten durch Energieholznutzung in Zukunft diesen



Abbildung 4:
Seit den 80er-Jahren wandert *Mantis religiosa* aus dem Südwesten (Jura) und aus dem Elsass in die Nordschweiz ein. Im Sommer 2006 wurden Eigelege in einer Waldlichtung im Fricktal (AG) gefunden.
(Quelle: Peter Duelli, WSL)

Da die Zeit bis zum Jahr 2050 für die meisten Ökosysteme sehr kurz ist, ergibt sich durch den generellen Erwärmungstrend zwangsweise eine Entkoppelung von „Klimabedürfnis“ und realem Standortklima. Dies führt zu einer allmählichen Verschiebung im Artenmuster der bestehenden Vegetation und der Tierwelt. Bestimmte Arten werden gefördert, andere werden zurückgedrängt. Diesen Prozessen ist die laufende Landnutzungsänderung überlagert, also zum Beispiel der Rückzug der Land- und Forstwirtschaft aus den Berggebieten. Als weitere Ebene sind diesen Vorgängen historische Landnutzungsänderungen unterlegt,

Trend rückgängig machen. Viele Kulturrelikte (z.B. Strukturelemente in der Landschaft) der vergangenen Jahrhunderte werden verschwinden. In den Alpen und im Jura sollte sich die Landwirtschaft mit Hilfe von Direktzahlungen vor allem in touristisch wichtigen Regionen halten können. Auch im Wald wird es einen allmählichen Übergang von der heute propagierten Multifunktionalität der Waldfläche zu einer Aufteilung der Flächen entsprechend ihrer jeweiligen prioritären Waldfunktionen kommen: subventionierte Pflege für Schutzwälder und spezifische Waldschutzgebiete, Wälder ohne kommerzielle Holznutzung sowie Wirtschaftswälder, in

denen rentable Holznutzung möglich ist. Es ist mit einer weiteren Ausdehnung der Siedlungsfläche und einer Zunahme des Verkehrs zu rechnen, was den Verlust von naturnahen Flächen sowie die weitere Zerschneidung der Landschaft bedeutet. Die Lebensräume für Tiere und Pflanzen werden somit kleiner bzw. verschwinden.

An kühle Lebensbedingungen gebundene Arten werden im Alpenraum in höhere Lagen verdrängt. Dort werden Sie aber aus topografischen Gründen eine kleinere Gesamtfläche zur Verfügung haben. Die Vegetationsgürtel wandern also nicht nur in die Höhe, sondern sie werden auch räumlich eingeschränkt², wobei unterschiedliche Artenkonkurrenz vor allem bei Bäumen diesen Trend verändern kann (bremsen oder beschleunigen). Gewässerbegleitende Pflanzenarten wandern am raschesten ein, und zwar in die wärmsten Gebiete (Gewässer im Tessin, Rhein bei Basel, Rhone bei Genf). Die Ausbreitung in höhere Lagen wird allerdings durch die verzögerte Anpassung der Arten an das Klima begrenzt. Im Gebirge sind es vor allem Pionierarten auf Rohböden, die dem Trend rasch folgen können. Wärmeliebende Neophyten breiten sich auch in den Wäldern aus, wobei sich im Handel angebotene Gartenpflanzen im Tessin und im Mittelland über weite Gebiete verbreiten können.

Insbesondere in den Flachmooren der Schweiz ist – mit Ausnahme der Südschweiz – ein Rückgang der Artenzahl zu erwarten. Dieser wird weiter verstärkt, wenn die Niederschläge abnehmen

und die Ausdehnung dieser Lebensräume mangels Wassers abnimmt. Die Hochmoore der Schweiz nehmen dabei eine Sonderstellung ein. Die höheren Temperaturen und die längeren Trockenperioden gefährden die Moosdecke und ermöglichen für Hochmoore untypischen Arten, in diese Lebensräume einzudringen. Das gilt als unerwünscht, da dies einem Ökosystemumbau gleichkommt und Artenarmut eine typische Eigenart der Hochmoore darstellt. Bei den verdrängten Arten handelt es sich um Spezialisten, die keine anderen Lebensräume besiedeln könnten.

Die Erwärmung wird vor allem jenen Arten zusetzen, die wenig mobil sind oder die auf wenig mobile Arten als Futter oder Wirt angewiesen sind. Mobile Arten können in kühlere Habitate ausweichen, was in den Bergen einfacher ist als im Flachland. Trotzdem werden Erwärmung und Nutzungswandel vor allem in den Alpen und im Jura viele Arten zum Aussterben bringen. Besonders Arten von sehr isoliertem Vorkommen (Endemiten) und Arten, die nicht weiter in die Höhe ausweichen können, sind gefährdet.

Kälteliebende, tundrenbewohnende Arten (Schneehase, Schneehuhn) werden dank der Ausbreitung der Pflanzendecke in Gebirgen mit einer grossen alpinen und nivalen Stufe vorerst mehr Lebensraum finden, auf kleinen, tiefer liegenden Gebirgsstöcken aber aussterben. Felsenbewohnende Arten südlicher Herkunft (Steinbock, Alpenmauerläufer) werden ihre Areale nach oben ausdehnen oder haben dies schon getan (Steinhuhn) (siehe Abb. 5).



Abbildung 5: Kälteliebende, tundrenbewohnende Arten wie der Schneehase werden vorerst mehr Lebensraum finden dank der Ausbreitung der Pflanzendecke in Gebirgen mit einer grossen alpinen und nivalen Stufe. Auf kleinen, tiefer liegenden Gebirgsstöcken werden sie aber aussterben. (Quelle: Martin Merker)

Felsenbewohnende Arten südlicher Herkunft wie der Steinbock werden ihre Areale nach oben ausdehnen oder haben dies schon getan, sofern die Berge hoch genug sind. Andernfalls dürften die lokalen Populationen zusammenbrechen. (Quelle: Thomas Jucker)

Auch bei den Wirbeltieren werden die mobilen Formen (Vögel, grosse Säugetiere) auf einen Klimawandel rascher reagieren können. Jede Arealverschiebung nach oben bedingt aber einen Nettoflächenverlust, weil die Landfläche mit der Höhe abnimmt. Zuverlässige Angaben liegen diesbezüglich über Bestandesänderungen bei Vögeln vor. Wie Abb. 6 zeigt, konnte für die vergangenen 15 Jahre ein Artenrückgang im Kulturland, jedoch eine Zunahme im Wald nachgewiesen werden, ein Trend, der in dieselbe Richtung wie die Entwicklung der Flächen der Landbedeckungsformen geht (Abb. 1, Tab. 1). Für alle Organismengruppen gilt, dass kurzfristige, spektakuläre Veränderungen wenig wahrscheinlich sind, und diese sich auf Einzelarten beschränken. Das zeigt z.B. der „Swiss Bird Index“ aller Vogelarten in Abb. 6, der auf praktisch konstantem Niveau verharrt.

In der Bilanz steigt die Artenzahl in der Schweiz trotz steigendem Verlust von Arten stetig an, da die Einwanderungen deutlich zahlreicher sind als die Aussterbefälle. In der Gesamtwertung sind die Verluste allerdings stärker zu gewichten, da viele dieser Arten ganz, also weltweit, aussterben, wohingegen die eingewanderten Arten ihr hauptsächlichstes Verbreitungsgebiet oft im Mittelmeerraum, gelegentlich gar auf anderen Kontinenten haben.⁷

Ebenso wichtig für die Veränderung der Biodiversität in der Schweiz ist der sich politisch abzeichnende Übergang von einer integrativen Landnutzung (überall von allem etwas) zu einer räumlichen Aufteilung, einer so genannten Segregation (hier Artenschutz, dort intensive Produktion). Dieser Übergang ist wissenschaftlich und politisch umstritten und bedeutet eine Änderung des Blickwinkels in der Gesellschaft bezüglich dieser Problematik.

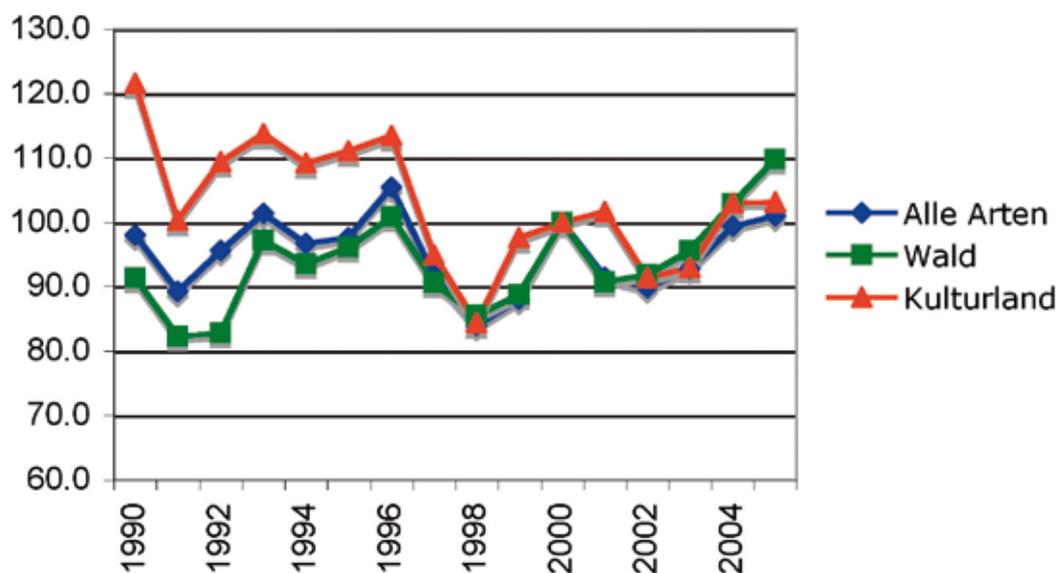


Abbildung 6: Verlauf des „Swiss Bird Index“ (der SBI repräsentiert die Zahl der standorttreuen Vogelarten in verschiedenen Landschaftstypen) für die vergangenen 15 Jahre. Im Kulturland ist die Vielfalt rückläufig, im Wald ansteigend und über alle Vogelarten gerechnet konstant. (Quelle: © Schweizerische Vogelwarte Sempach)

Massnahmen

Direkte Massnahmen zur Erhaltung bedrohter Arten sind schwierig zu realisieren. Den besten Schutz bietet die Erhaltung des Lebensraumes, was auch die Beibehaltung einer kleinräumig vielfältigen Landnutzung einschliesst.

Die traditionellen Massnahmen des Arten- und Biotopschutzes zur Erhaltung der Artenvielfalt sind durchaus geeignet, um auch zukünftigen Entwicklungen entgegenzuwirken. Wünschenswert ist ein grossräumiges Nebeneinander von verschiedenen Landnutzungen und flächendeckendem Artenschutz (unter Einbezug von Schutzgebieten) und gezielter Artenförderung, je nach Region und kultureller Prägung.

Die starke Intensivierung der Raumnutzung (der Landwirtschaft, der Siedlungs- und Gewerbenutzung) hat im vergangenen Jahrhundert zu massiven Artenverlusten geführt, die nicht durch partielle Extensivierung (meist

Wiederbewaldung) kompensiert wurden. Solchen Verlusten entgegenzuwirken, ist auch im Zusammenhang mit der Klimaveränderung sinnvoll und prioritär. Schwieriger gestaltet sich die Situation bei neu einwandernden Arten. Unter diesen wird es solche haben, die harmlos sind und deren Ausbreitung eine logische Konsequenz der veränderten Umweltbedingungen ist. Andere, wie aggressive Neophyten, Neozoen und neue Pathogene, welche die Biodiversität gefährden, müssen gezielt reguliert werden. Diese Arten frühzeitig als solche zu erkennen ist schwierig und Gegenstand der ökologischen Forschung.

3. Naturgefahren und Lebensraumsicherheit

Ökosysteme der Schweiz können bei steigender Häufigkeit und Intensität von Extremereignissen lokal stark gestört werden und damit zumindest kurzzeitig ihre Schutzwirkung verlieren. Die gemäss Klimamodellen zu erwartenden mittleren Veränderungen des Klimas bis ins Jahr 2050 sind für die Ökosysteme vergleichsweise weniger wirkungsvoll. Eine Gefahr für die Lebensraumsicherheit und die Unversehrtheit der Ökosysteme resultiert hauptsächlich aus klimatischen Extremereignissen und der nicht angepassten Nutzung von empfindlichen Landschaftstypen (z.B. standortfremde Artenzusammensetzung von Wäldern, die veränderte Bewirtschaftung von Alpweiden, aber auch der Schadstoffeintrag in ungenutzte Ökosysteme).

Die verschiedenen Landschaftstypen und Lebensräume des Gebirgslandes Schweiz erfüllen eine Vielzahl von wichtigen Funktionen: Jede Art geschlossener Vegetation schützt den Boden, stabilisiert Hänge und schützt vor Erosion. Dem Wald fällt eine besondere Rolle beim Schutz vor Lawinen und Steinschlag zu und er fördert die ökosystemare Wasserspeicherung. Gleichzeitig ist die Vegetation Rohstofflieferant und dient als Erholungsraum und Sportgelände. Diese wichtigen Funktionen sind untrennbar gekoppelt an die Widerstandsfähigkeit, Stabilität und dynamische Anpassungsfähigkeit der Ökosysteme, insbesondere der Wälder. Dadurch bekommen auch scheinbar unbedeutende Organismen einen Wert für die Lebensraumsicherheit. Das Zusammenwirken dieser unzähligen Bestandteile bestimmt letzt-

lich die Verletzlichkeit der Systeme gegenüber Nutzung oder klimatischen Veränderungen. Die land- und forstwirtschaftliche, aber auch die touristische Nutzung der Ökosysteme hat im Zeitraum von einigen Dekaden weit grösseres Veränderungspotenzial für die Schutzfunktionen als die künftigen mittleren Veränderungen von Temperatur und Niederschlag. Eine Häufung von klimatischen Extremereignissen kann rasche Veränderungen natürlicher Ökosysteme bewirken und birgt somit das Risiko eines zumindest zeitweiligen Verlusts an Funktionalität. Zudem lässt der Mensch durch die dichter werdende Nutzung unserer Landschaft grossen Naturereignissen (z.B. Hochwasser) immer weniger Raum, weshalb sie stärker spürbar werden und dementsprechend auch mehr Schaden verursachen.

Entwicklung bis heute

Bisher traten temporäre Verluste an Lebensraumsicherheit hauptsächlich aufgrund von Extremereignissen und der Siedlungstätigkeit in Gefahrenzonen auf. Die kontinuierliche Veränderung der Landnutzungsformen und der Eintrag von Nähr- und Schadstoffen aus der Luft haben aber einige Ökosystemtypen anfälliger für weitere klimatische „Störungen“ gemacht. Einzelne Veränderungen, wie z.B. die Zunahme der Waldfläche, zeigen aber auch positive Effekte: Wälder stabilisieren steile Hanglagen weit besser als alle anderen Ökosystemtypen.

Wald und extensiv genutzte Graslandschaften durchliefen in der Schweiz in den letzten 150 Jahren einen grossen Wandel. Früher wurde jeder Flecken Land aus der Sicht seiner produktiven Nützlichkeit für den Menschen bewertet. Daher wurden Feuchtgebiete trocken gelegt, Wälder wurden auf die Steigerung des qualitativ hochwertigen Holztrages ausgerichtet, Wiesen und Weiden wurden auch in unwegsamem Gelände genutzt. Dabei blieb der Aspekt der Integrität eines Ökosystems wie auch der damit verbundenen Lebensraumsicherheit während langer Zeit zweitrangig.

Heute sind viele dieser Gebiete wirtschaftlich nicht mehr interessant; die Bedeutung einer intakten Vegetationsdecke für die Lebensraumsicherheit hat aber an vielen Orten zugenommen, weil heute z. T. genau an diesen Stellen touristische Infrastruktur und Siedlungsraum vom Schutzwald profitieren (beide rückten in potenzielle Gefahrenzonen vor). Alpweiden verganden (gehen als spezieller Lebensraum und Ressource verloren) und unwegsames Gelände wird nicht mehr genutzt. Dafür steigt der Druck der Freizeitgesellschaft auf beinahe alle Vegetationsformen.

Diese menschlichen Einflüsse haben neben den klimatischen Veränderungen Auswirkungen auf die Vegetation gezeigt und so auch die damit verbundene Schutzwirkung vor Naturgefahren beeinflusst. Mehr Wald steigert meistens die Wasserspeicherkapazität von Böden, verbessert die Hangstabilität und schützt vor Erosion. Mehr Wald schützt je nach Topografie auch vor Lawinen oder Steinschlag. Dem zuwider läuft die Zunahme von Extremereignissen, die z. T. zu Überschwemmungen und Hangrutschungen führten, die durch die natürliche Pufferwirkung der Vegetation nicht absorbiert werden konnten. Gehäufte Sturmschäden haben in den betroffenen Gebieten die Lebensraumsicherheit vorübergehend stark herabgesetzt (z. B. die Stürme Vivian 1990 und Lothar 1999). Häufig trat eine grössere Schwächung der Ökosysteme aufgrund von klimatischen Extremereignissen dort auf, wo die topografischen Bedingungen ohnehin schon

grössere menschliche Eingriffe in die Vegetation bedingten, um modernes menschliches Leben möglich zu machen, z. B. in Alpentälern oder in der Nähe von Fliessgewässern. Zum Teil erfolgten die Starkniederschläge aber auch in Kombination mit geologischen Bedingungen, welche das Rückhaltevermögen jeglicher Vegetationsform überstiegen. Extreme Niederschlagsereignisse führten zum Abrutschen ganzer Waldteile (z. B. in der Innerschweiz im Sommer 2005).

Vorübergehende Verluste an Lebensraumsicherheit traten aber auch in Wäldern auf, in denen Trockenheit zusammen mit hohen sommerlichen Temperaturen und einem verstärkten Insektenbefall zum flächigen Absterben von Bäumen führte (z. B. Borkenkäferepidemien nach Lothar und im Trockensommer 2003, Föhrenwälder im Wallis;⁸ siehe Abb. 7 und 8). Auch hier dürfte die Art der Nutzung der Wälder neben den klimatischen Einflüssen über die letzten 100 Jahre eine Rolle gespielt haben. Laubbäume, allen voran die Flaumeiche, besiedeln rasch die freiwerdenden Flächen und konnten so bisher die Funktion der Föhren weitgehend ersetzen (siehe Abb. 8).



Abbildung 7: Die Kombination von verstärktem winterlichen Windwurf und wärmeren Sommern lässt die Borkenkäferpopulationen explodieren. (Quelle: Christoph Ritz)



Abbildung 8:
Die Kombination aus aufgegebener Landnutzung (Waldweide) und wärmeren trockeneren Sommern führt zu einem raschen Umbau der tiefgelegenen Walliser Föhrenwälder in Flaumeichenwälder.
(Quelle: Roman Zweifel)

Blick in die Zukunft

Weitere lokal und zeitlich begrenzte Verluste an Schutzfunktionen von Ökosystemen sind aufgrund der prognostizierten Häufung von Extremereignissen zu erwarten. Für siedlungsferne, ungenutzte Teile der naturnahen Landschaft ist dies kein Problem, da durch diese Dynamik neue Nischen für Tiere und Pflanzen entstehen. Ist der Siedlungs- oder Verkehrsraum betroffen, haben diese Veränderungen aber verheerende Folgen.

Fünfzig Jahre sind für die Vegetation und vor allem für Wälder ein kurzer Zeitraum, weil sich Veränderungen mit einer gewissen Trägheit und Verzögerung zeigen. Bis ins Jahr 2050 stellen die prognostizierten mittleren (!) Klimaveränderungen kaum eine substanzielle Gefahr für die Schutzfunktionen der Vegetationsdecke und der damit verbundenen Lebensraumsicherheit in der Schweiz dar. Häufigere oder ausgeprägtere Extremereignisse (Hitze, Dürre, Feuer, Starkregen, Stürme) können aber lokal massive Folgen haben und sprunghaft die ökosystemare Integrität ändern (etwa nach einem Waldbrand oder starkem Insektenbefall). Solche Prozesse werden wahrscheinlicher, je schneller sich das Klima ändert und je stärker die Vegetation schon in Folge des allgemeinen Klimatrends in Umstellung begriffen ist.⁹ Allerdings sind solche Szenarien eines plötzlichen Aufschaukelns von schädigenden Wirkungen (z. B. Insektenkalamität in der Folge von Dürre) kaum prognostizierbar.

Zuverlässiger abschätzbar sind Auswirkungen von Klimaänderungen (in Kombination mit den menschlichen Einflüssen), für die es Erfahrungswerte gibt. Aufgrund heutigen Wissens sind überdurchschnittlich starke Folgen der Klimaänderung bis ins Jahr 2050 in den folgenden Ökosystemen zu erwarten:¹⁰

- in Ökosystemen, die durch menschliche Eingriffe von ihrer natürlichen Form, Zusammensetzung und Funktionalität weit entfernt sind, z.B. forstliche Monokulturen standortfremder Arten oder übernutztes (z.B. überdüngtes und dadurch artenarmes) Grasland
- in Ökosystemen, die sich in klimatischen Grenzzonen befinden, wie z. B. in auftauenden Permafrostgebieten, an Trockenstandorten an der Grenze zur Versteppung, an nur schwach vernässten Feuchtstandorten und in der Nähe der oberen Waldgrenze

- in Ökosystemen, in welchen die Landnutzung der natürlichen klimabedingten Entwicklung der letzten Jahrzehnte entgegenlief (z. B. wo durch Alpweiden die obere Waldgrenze künstlich tief gehalten wurde, kann bei Nutzungsrückgang und gleichzeitig wärmeren Temperaturen der Wald sehr rasch nachrücken).
- in Ökosystemen, in denen Klimaänderungen Wirkungskaskaden auslösen, wie z. B. starker Befall durch Insekten oder andere Schädlinge durch höhere Temperaturen (z.B. drei statt zwei Borkenkäfergenerationen pro Saison)

Massnahmen, Unsicherheiten, Wissenslücken

Eine vielfältige Artenzusammensetzung und eine nachhaltige Nutzung erhöhen die Widerstandskraft und Stabilität der natürlichen Ökosysteme. Sie vermögen den Lebensraum des Menschen am besten zu sichern. Die Klimaänderung kann man nur langsam beeinflussen. Wie wir jedoch unseren Lebensraum nutzen, das können wir schneller ändern. So können wir auch viel rascher eine nachhaltige Wirkung erzielen, damit die Schutzfunktionen der Ökosysteme erhalten bleiben.

Vor allem in den letzten 50 Jahren wurde in der Schweiz Siedlungsraum in topografisch gefährdete Lagen ausgedehnt. Hänge, die ursprünglich einmal bewaldet waren, wurden nach Aufgabe der forstwirtschaftlichen Nutzung überbaut. Flusstäler, die Jahrhunderte lang gemieden wurden, werden heute intensiv bewohnt. Es sind vor allem diese exponierten Gebiete, in denen die (durch den Menschen veränderte) Vegetation ihre Schutzfunktion bei Extremereignissen oft nicht mehr zu erfüllen vermag. Die globale Entwicklung brachte einerseits die anthropogene Klimaänderung mit sich, sie hat die Menschheit aber gerade in Gebirgsländern wie der Schweiz auch stärker abhängig gemacht von der Lebensraumsicherheit, die von einer intakten Vegetationsbedeckung abhängt. Technische Massnahmen werden nicht im Stande sein, die Lebensraumsicherheit in den Schweizer Gebirgstälern ohne die Hilfe der natürlichen Ökosysteme, insbesondere von Wäldern in

Steillagen, zu sichern. Es wird deshalb entscheidend sein, dass wir standortgerechte vielfältige Artenzusammensetzungen von Ökosystemen fördern und eine naturnahe Altersstruktur und Baumartenmischung der Wälder herbeiführen, wo diese nicht mehr gegeben ist. Ob diese Diversifizierung rasch genug erfolgen kann, ist in Anbetracht der langsamen Entwicklungsgeschwindigkeit v. a. von Waldökosystemen allerdings eher fraglich.

Der direkte Zusammenhang zwischen naturnahen (also gut angepassten und diversen), widerstandsfähigen Ökosystemen und der Lebensraumsicherheit in Gebirgsregionen muss verstärkt ins (politische) Bewusstsein gerückt werden. Dabei ist gerade in einem dicht besiedelten Land wie der Schweiz die Erkenntnis wichtig, dass Ökosysteme immer auch die darin lebenden Menschen beinhalten und eine nachhaltige Entwicklung nur unter Berücksichtigung der menschlichen Tätigkeiten erreicht werden kann.

4. Nutzen und Produkte von Ökosystemen

Landökosysteme erfüllen nicht nur wichtige Funktionen wie die Lebensraumsicherheit, sie liefern auch ökonomisch relevante Produkte wie Holz, Nahrung und sauberes Wasser.

Abgesehen von den bereits im Abschnitt 3 Naturgefahren und Lebensraumsicherheit genannten umfassenden Nutzen der Sicherung der Lebensräume, erfüllen Landökosysteme auch ausserhalb der Intensivlandwirtschaft wichtige Funktionen wie Luft- und Wasserreinhaltung, Kohlenstoff- und Wasserspeicherung und Nährstoffrecycling. Sie liefern ökonomisch relevante Produkte wie Holz, Nahrung und

Wasser. Ferner haben Wälder durch den grossen Biomassevorrat von Bäumen ein besonders hohes Kohlenstoffsinkenpotenzial, deutlich grösser als Grünland oder Acker (wo sich das Potenzial im Bodenumus erschöpft). All diese Leistungen und Produkte werden zwar durch physikalisch-chemische und klimatische Bedingungen beeinflusst, aber auch seit Jahrtausenden durch die Landnutzung wesentlich geprägt.

Entwicklung bis heute

In den letzten 100 Jahren wurden die meisten Landökosysteme stärker durch Änderungen in der Landnutzung als durch den Klimawandel beeinflusst. Dennoch sind Auswirkungen des Klimawandels auf die Bereitstellung von Bioressourcen (z. B. Heu, Holzvorrat, Kohlenstoffspeicherung) in der Schweiz bereits zu beobachten.

Die Landnutzung von Agrar- und Forstökosystemen hat sich in den letzten 100 Jahren stark verändert. Intensivierung und Mechanisierung in der Landwirtschaft haben vor allem die Produktivität stark erhöht, aber gleichzeitig den Humus abgebaut und damit die Kohlenstoffspeicherung in landwirtschaftlichen Böden reduziert.¹¹ Der Holzvorrat nahm in den Schweizer Wäldern in den letzten Jahrzehnten kräftig zu und erreicht heute Maximalwerte und zwar sowohl pro Flächeneinheit (geringere Nutzung) als auch durch die Waldflächenvergrösserung. Pro Jahr werden in der Schweiz rund 5 Mio. m³ Holz geschlagen, obwohl aufgrund des jährlichen Zuwachses 7 Mio. m³ Holz genutzt werden könnten, ohne negative Auswirkungen auf die Waldbestände. In den letzten 50 Jahren wuchsen die Wälder auch infolge erhöhter atmosphärischer Stickstoffeinträge und günstiger Klimabedingungen deutlich schneller als früher. Heute sind 90% der Schweizer Wälder mit Stickstoff übersorgt, was neben gesteigertem Baumwachstum zu einer Abnahme der Basensättigung im Boden, Bodenversauerung und zu einer Belastung des Sickerwassers, welches das Grundwasser speist, führt.

Auswirkungen des Klimawandels sind bereits heute im früheren Austrieb und dadurch in einer Verlängerung der Vegetationsperiode um 5–6 Tage zu erkennen.¹² In der jüngsten Vergangenheit häuften sich Extremereignisse (z. B. Stürme Vivian

und Lothar, Hitzesommer, Grossbrand im Wallis) und führten zu Schäden am Wald.

Die Nutzungsänderungen zeigen je nach Höhenlage einen sehr unterschiedlichen Verlauf. Während in den letzten 10–15 Jahren in den Tallagen neben der landwirtschaftlichen Intensivierung auch eine Extensivierung stattfand, dominiert in den subalpinen und alpinen Lagen die Extensivierung (Überführung von Wiesen in Weiden) bis hin zur völligen Nutzungsaufgabe. Diese ehemals genutzten Flächen verganden, Wald wandert ein. Fehlt die Beweidung oberhalb des Bergwaldes, wird mehr Wasser durch Verdunstung und v.a. durch Transpiration der nun höheren Vegetation an die Atmosphäre abgegeben als früher. Es fliesst weniger Wasser ab (bis 10%), was schliesslich im Einzugsgebiet eines Wasserkraftwerkes zu einem reduzierten Energiegewinn führen kann.¹³

Feuchtgebiete wurden in den letzten 100 Jahren stark durch den Menschen verändert.¹⁴ Während sie früher bedeutende Wasser- und C-Speicher waren, wurden viele durch Torfabbau und Entwässerung der Energieproduktion und der landwirtschaftlichen Produktion zugeführt. Dadurch nahm die Fläche der Feuchtgebiete in der Schweiz in den letzten 100 Jahren um fast 90% ab – verbunden mit einem grossen Verlust an Biodiversität und an hydrologischen Pufferräumen.

Blick in die Zukunft

In der Zukunft werden die Funktionen und Nutzen von Landökosystemen vor allem durch kombinierte Effekte beeinträchtigt werden, z. B. durch die Kombination hoher Temperaturen mit geringeren Niederschlägen. Der Wasserverfügbarkeit und dem Alpenraum werden besondere Bedeutung zukommen.

Die Klimaszenarien für die Schweiz 2050 liegen in einem Bereich, der zu spürbaren Veränderungen der Produktivität im Wald und im Dauergrünland führen wird. Der bisherige Trend zu höherer Produktivität durch Intensivierung wird abgeschwächt bzw. durch einen ausgeprägten sommerlichen Wassermangel bei hohen Temperaturen – wie zum Beispiel im Jahr 2003 – limitiert werden. Ciaia et al.¹⁵ konnten zeigen, dass sich die Kohlenstoff-Senke in Europa während des Jahres 2003 völlig veränderte und aus der CO₂-Senke in den europäischen Wäldern eine deutliche CO₂-Quelle wurde. Dies kann zu geringerer Kohlenstoffspeicherung im Boden führen, verstärkt durch einen möglicherweise erhöhten Abbau organischer Substanz im Humus¹⁶ und durch verringerte Kohlenstoffeinträge durch die Vegetation. Sollten – wie Modelle vorhersagen – solche trockenen Sommer häufiger werden, dann käme es langfristig zu einer Verringerung der Kohlenstoffvorräte in Holz und im Boden. Lokale Effekte hängen jedoch stark von der Entwicklung der Bodenfeuchte ab. Eine Zunahme in der Kohlenstoffspeicherung wird weiterhin durch Ausdehnung und Unternutzung der Waldbestände erfolgen, sofern nicht die steigenden Energiekosten eine Rückkehr zum Rohstoff Holz bewirken. Ein gesteigertes Baumwachstum

infolge höherer CO₂-Konzentration ist eher unwahrscheinlich, da andere wichtige Nährstoffe (ausser Stickstoff) nicht vermehrt angeboten werden.¹⁷ Wassermangel im Sommer und Herbst wird in Zukunft vor allem die Tallagen und das Hügelland treffen. In den hochmontanen Gebirgswäldern und alpinen Höhenlagen wird sich der Wassermangel weniger stark auswirken. Hier wird eher eine Zunahme der Produktivität erwartet. Der Wasserverfügbarkeit wird also in Zukunft grössere Bedeutung zukommen.

Die Bewirtschaftung der Landökosysteme wird sich an die veränderten Umweltbedingungen anpassen müssen (z. B. durch frühere Heuernte, Bewässerung von Dauergrünland, Anpassung der Tierbestände, steigende Bedeutung von Hochlagen für die Sömmerung, Veränderungen der Baumartenwahl). Die Nutzung höherer Lagen für den Erhalt von Tierbeständen dürfte wieder lukrativer werden. Das bedeutet, dass der Alpenraum in Zukunft als wiederentdeckte Bewirtschaftungszone, aber auch als Rückzugs-/Ersatzlebensraum wieder wichtiger werden könnte. Dies wird allerdings nur gelingen, wenn diese Flächen durch aktives Management offen gehalten werden und der Verbuschung von montanen und subalpinen Wiesen und Weiden Einhalt geboten wird.

Unsicherheiten, Massnahmen

Angepasstes Management von Wäldern und Dauergrünland ist notwendig, um negative Folgen der Klimaveränderungen auf Nutzen und Produkte dieser Ökosysteme zu mindern oder zu vermeiden. Alpines Weideland sollte offen gehalten werden.

Die natürliche Baumartenvielfalt sollte als Versicherung gegen Klimawandel oder Auswirkungen von Extremereignissen gefördert werden. Grossflächige Rodungen sollen vermieden und alte Waldbestände in stufige Bestände (z.B. Plenterwald¹⁸) überführt werden, damit die Stabilität gewährleistet wird und der gespeicherte Kohlenstoff nicht als CO₂ in die Atmosphäre abgegeben wird.

Aktives Management der Landschaft, insbesondere des Alpenraumes, sollte eine Inwertsetzung beinhalten. Dadurch kann der Nutzen für die gesamte Gesellschaft bewertet werden (auch monetär).

Es muss eine politische Diskussion darüber stattfinden, wie angepasstes, nachhaltiges Management umgesetzt und unterstützt werden kann/soll.

Literatur und Anmerkungen

- 1 Quellen: Statistische Jahrbücher, Arealstatistik, Forststatistik, FAO Datenbank.
- 2 B. Brzeziecki, F. Kienast, O. Wildi. A simulated map of the potential natural forest vegetation of Switzerland. In: *Journal of Vegetation Science* 4, 1993, 499–508.
- 3 C. A. Burga, R. Perret. *Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter*. Thun, Ott-Verlag: 1998.
- 4 P. Geissler, J. Hartmann. Vegetation dynamics in a mountain pine stand burnt down in 1951. Succession research in the Swiss National Park 89, 2000, 107–130.
- 5 F. Kienast, O. Wildi, B. Brzeziecki. Potential impact of climate change on species richness in mountain forests – an ecological risk assessment. In: *Biological Conservation* 83, 1998, 291–305.
- 6 J. Esper, E. R. Cook, F. H. Schweingruber. Low-frequency signals in long tree-ring chronologies for reconstructing past temperature variability. In: *Science*, 295, 2002, 2250–2253.
- 7 W. Thuiller, S. Lavorel, M. B. Araújo, M. T. Sykes, and C. Prentice. Climate change threats to plant diversity in Europe. In: *PNAS* 102, 2005, 8245–8250.
- 8 A. Rigling, M. Dobbertin, M. Bürgi, E. Feldmeier-Christe, U. Gimmi, C. Ginzler, U. Graf, P. Mayer, R. Zweifel und T. Wohlgemuth. Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern – Wald und Klimawandel. In: T. Wohlgemuth (Hg.). *Forum für Wissen 2006 – Wald und Klimawandel*. Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Zürich, 2006, 23–33.
R. Zweifel, L. Zimmermann, W. Tinner, P. Haldimann, F. Zeuglin, S. Bangerter, S. Hofstetter, M. Conedera, T. Wohlgemuth, A. Gallé, U. Feller und D. M. Newbery. *Salgesch, Jeizinen, ihre Wälder und der globale Klimawandel*. Nationaler Forschungsschwerpunkt Klima (NFS Klima), Universität Bern. Bern, 2006.
- 9 S. Schumacher, H. Bugmann. The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. In: *Global Change Biology* 12, 2006, 1435–1451.
- 10 H. Bugmann, C. Pfister. Impacts of interannual climate variability on past and future forest composition. *Regional Environmental Change* 1(3), 2000, 112–125.
H. Bugmann. Anthropogene Klimaveränderung, Sukzessionsprozesse und forstwirtschaftliche Optionen. In: *Schweiz. Z. Forstwesen* 150, 1999, 275–287.
- 11 J. Leifeld, S. Bassin, J. Fuhrer. Carbon stocks and carbon sequestration potentials in agricultural soils in Switzerland. *Schriftenreihe der FAL* 44, 2003.
B. Zierl, H. Bugmann. Global change impacts on hydrological processes in Alpine catchments. In: *Water Resources Research* 41(W02028): 2005, 1–13.
- 12 A. Menzel et al. European phenological response to climate change matches the warming pattern. In: *Global Change Biology* 12, 2006, 1–8.
- 13 C. Körner. Mountain biodiversity, its causes and function. In: *Ambio, Special Report* 13, 2004, 11–17.
- 14 A. Grünig. Surveying and monitoring of mires in Switzerland. In: L. Parkyn, R. E. Stoneman, H. A. P. Ingram (Hg.). *Conserving peatlands*, Oxon, UK, CAB International, 1997, 217–227.
- 15 P. H. Cias et al. Europe-wide reduction in primary productivity caused by heat and drought in 2003. In: *Nature* 437, 2005, 529–533.
- 16 P. H. Bellamy, P. J. Loveland, R. I. Bradley, R. M. Murray, and G. J. Kirk. Carbon losses from all soils across England and Wales 1978–2003. In: *Nature* 437/8, 2005, 245–248.
- 17 Ch. Körner, R. Asshoff, O. Bignucolo, S. Hättenschwiler, S. G. Keel, S. Pelaez-Riedl, S. Pepin, R. T. W. Siegwolf, and G. Zotz. Carbon flux and growth in mature deciduous forest trees exposed to elevated CO₂. In: *Science* 309, 2005, 1360–1362.
- 18 Bewirtschaftungsform, als deren Folge die Bäume aller Dimensionen und Alter auf kleiner Fläche nebeneinander wachsen und ohne Schaden für die Waldstruktur einzeln genutzt werden können.