

# Konzepte, Instrumente und Herausforderungen bei der Förderung der Biodiversität im Wald

**Kurt Bollmann** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)\*  
**Ariel Bergamini** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)  
**Beatrice Senn-Irlet** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)  
**Michael Nobis** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)  
**Peter Duelli** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)  
**Christoph Scheidegger** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

## Concepts, instruments and challenges for the conservation of biodiversity in the forest

According to the forest law, the conservation of biological diversity is an integral part of the multifunctional forestry in Switzerland. To date, biodiversity conservation has mainly been addressed by sustainable and partly nature-close forest practices and the conservation of rare biotopes and single threatened species. Some studies show that this generally integrative approach cannot guarantee the persistence of the 32000 known species, their genes and habitats in Switzerland. The deficits of highest concern are the low percentage of forest reserves, old-growth stands and deadwood, the dominance of uniform and dense stands and the high proportion of unstructured, linear forest edges. The total area of primary forests and nature forest reserves as well as special forest reserves that are managed in favour of a conservation target is below five percent. Besides, old-growth stands are missing more or less in forests dedicated for timber production. Here, we describe the major concepts and instruments (segregation, integration) for biodiversity conservation in forests. In a further step, we discuss the main challenges for this task by considering the accelerated demand for wood as renewable resource, the ongoing climate change and the increasing number of invasive species. We conclude that a strategy that links both, integrative and segregative instruments and measures and combines them with species conservation projects will be the best option to address ongoing problems of biodiversity conservation in forests. In addition, there is a need to scientifically identify the gaps in the network of forest reserves so as to complement the spectrum of protected forest habitats and their various organismic groups.

**Keywords:** biodiversity, conservation, integration, forest, segregation, Switzerland  
**doi:** 10.3188/szf.2009.0053

\* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail kurt.bollmann@wsl.ch

**W**ald ist der grösste, am weitesten verbreitete und artenreichste Lebensraum der Schweiz. In ihm kommen rund 32000 der 50000 in unserem Land bekannten Pilz-, Pflanzen- und Tierarten vor (Buwal & WSL 2005; Abbildungen 1 und 2). Diese Arten bilden die Basis der Biodiversität im Wald, welche auch die genetische Vielfalt der Arten und die Vielfalt der Lebensräume einschliesst. Gemäss Waldprogramm Schweiz (Projektleitung WAP-CH, BHP Brugger 2004) muss diese Biodiversität für die Zukunft erhalten bleiben – eine Aufgabe, die über die Konvention von Rio von 1992 eng mit der nachhaltigen Nutzung des Waldes verknüpft ist. In der Konvention werden Schutz und nachhaltige Nutzung als gleichberechtigte Ansätze zur Erhaltung der Biodiversität anerkannt.

Aber gibt es aus heutiger Sicht überhaupt ein Problem mit dem Schutz der Biodiversität im Schwei-

zer Wald? Das Forstpolizeigesetz von 1876 und die aktuell gültigen Gesetze und Verordnungen haben dazu geführt, dass der Schweizer Wald im Allgemeinen und der Gebirgswald im Speziellen ein recht naturnaher Lebensraum geblieben ist. Die Fläche des Schweizer Waldes bedeckt 31% des Landes und nahm in den letzten Jahrzehnten stetig zu (Brassel & Brändli 1999, WSL 2007<sup>1</sup>). Trotzdem sind Defizite beim Schutz der Biodiversität bekannt, die vor allem auf qualitativ-strukturelle Veränderungen im Wald und in der Bewirtschaftung zurückgehen (Mollet et al 2005) und durch die gefährdeten Waldarten der nationalen Roten Listen belegt sind.

<sup>1</sup> Erste Ergebnisse des dritten Landesforstinventars LFI3. Wissenschaftliche Fakten zur Medienkonferenz WSL/Bafu vom 9. November 2007 in Bern. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch. anst. Wald Schnee Landschaft. 12 p. [www.wsl.ch/news/presse/pm\\_071109\\_DE](http://www.wsl.ch/news/presse/pm_071109_DE) (3.2.2009)

Bei den Vögeln leben 8% der gefährdeten Brutvogelarten im Wald (Keller et al 2001), bei den Farn- und Blütenpflanzen sind 17% der gefährdeten Arten eigentliche Waldpflanzen (Moser et al 2002), bei den baumbewohnenden Flechten 44% (Scheidtger et al 2002), bei den Moosen 26% (Schnyder et al 2004) und bei den Pilzen 15% (Senn-Irlet et al 2007). Diese Einstufungen zeigen, dass auch im vergleichsweise naturnahen Lebensraum Wald nicht alles zum Besten steht. Es stellt sich also die Frage, wie man die rund 32 000 Arten des Waldes samt ihrer genetischen Vielfalt sowie die Vielfalt der Lebensräume langfristig erhalten oder sogar fördern kann. Welche wissenschaftlich fundierten Konzepte

ter Schutz gestellt worden. Gewisse früher häufige Bewirtschaftungsformen, die durch ihre Auswirkungen spezielle Nischen und Lebensräume schufen und bestimmte Arten förderten, kamen aber nur noch selten zum Einsatz (Stuber & Bürgi 2001).

Ab den Siebzigerjahren des letzten Jahrhunderts wurde biologische Vielfalt als integraler Bestandteil der Waldbewirtschaftung auf der ganzen Fläche gefordert (Ewald 1982, Murri 2003). Seither genießt dieses integrative Konzept, ergänzt mit segregativen Elementen (geschützte Naturvorrangflächen), den grössten Zuspruch bei der Erhaltung der Waldbiodiversität in Kulturlandschaften (Winkel 2008).

**Abb 1** Artenreichtum des Waldes (l, von links nach rechts): Auerhahn (*Tetrao urogallus*); Foto: Klaus Robin. Leuchtender Weichporling (*Pycnoporellus fulgens*); Foto: Beatrice Senn-Irlet. Rudolphs Trompetenmoos (*Tayloria rudolphiana*); Foto: Norbert Schnyder. Nagelfleck (*Aglaia tau*); Foto: Beat Wermelinger. Kleiner Schmalbock (*Stenurella melanura*); Foto: Beat Wermelinger. Waldeidechse (*Zootoca vivipara*); Foto: Thomas Reich.



sollen bei der Naturschutzplanung berücksichtigt werden, damit die meisten Arten profitieren? Welche Instrumente und Massnahmen stehen zur Verfügung, um die Biodiversitätsziele im Wald zu erreichen? Wie werden zukünftige Veränderungen wie eine vermehrte Holznutzung, der Klimawandel und invasive Arten die Biodiversität im Wald beeinflussen? Bei der Beantwortung dieser Fragen darf nicht vergessen werden, dass in Mitteleuropa eine praktisch vollständige Umwandlung der Primär- in Sekundärwälder stattgefunden hat und der Wald heute ein Element der Kulturlandschaft ist. Nur gerade 0.01% der Waldfläche der Schweiz gelten als Urwald (Buwal & WSL 2005). Nach dem grossen Holz hunger im 17. und 18. Jahrhundert waren zwischen 1850 und 1970 die Vergrösserung der Waldfläche und des Holzvorrats sowie die Verbesserung der Schutzwirkung der Gebirgswälder die vorrangigen Ziele der Schweizer Waldpolitik (Schönenberger 2001).

Lange Zeit wurde versucht, die Naturschutzleistungen im Wald vorwiegend mit einer naturnahen Bewirtschaftung zu erbringen. Im Rahmen der Arbeiten rund um das Bundesgesetz vom 1. Juli 1966 über den Natur- und Heimatschutz (NHG, SR 451) sind gefährdete Tier- und Pflanzenarten über Verordnungen vor dem menschlichen Zugriff geschützt und im Wald die Naturobjekte von nationaler und kantonaler Bedeutung als seltene Biotope un-

ter Schutz gestellt worden. Im ersten Teil dieses Artikels beschreiben wir, welche ökologischen Zusammenhänge für den Schutz und die Förderung der Biodiversität im Wald wichtig sind. In einem zweiten Teil stellen wir Instrumente und Massnahmen vor, mit denen eine möglichst wirkungsvolle Förderung der Biodiversität erreicht werden kann. Zukünftige Herausforderungen für die Erhaltung der Biodiversität, wie ein erhöhter Bedarf an nachwachsenden Energieträgern, der Klimawandel und steigende Einwanderungsraten gebietsfremder Arten, werden in einem dritten Teil diskutiert.

## Ökologische Zusammenhänge

Bei der nachhaltigen Bewirtschaftung des Waldes ist die langfristige Erhaltung der Waldbiodiversität ein zentrales Ziel. Um dieses mit einem möglichst geringen Einsatz von Ressourcen zu erreichen, sollten die allgemeingültigen Grundlagen der Ökologie berücksichtigt werden.

### Habitatfläche

Je grösser eine Fläche eines bestimmten Habitats (Lebensraums) ist, desto mehr Arten kommen dort vor (Arrhenius 1921). Mit zunehmender Fläche nimmt nicht nur die Artenzahl zu, sondern es sinkt auch die Wahrscheinlichkeit des lokalen Aussterbens von Arten, da grössere Flächen in der Regel grössere

Populationen aufweisen (Soulé 1987). Zudem werden grössere Habitate schneller wiederbesiedelt, da sie einfacher aufgefunden werden (Coleman et al 1982). Weil Artengemeinschaften oft eine verschachtelte Struktur aufweisen (Nestedness), sind seltene Arten eher in grossen Habitaten zu finden (Wright & Reeves 1992). Nach naturschutzbiologischen Gesichtspunkten sind deshalb bei der Ausscheidung von Schutzgebieten grosse Habitate gegenüber kleinen zu bevorzugen (Diamond 1975).

Hingegen haben Untersuchungen gezeigt, dass viele kleine Habitate zusammen meist eine grössere Artenzahl enthalten als ein einzelnes grosses Habitat gleicher Fläche (Quinn & Harrison 1988, Peintin-

(Leimu et al 2006), was langfristig zu ihrem Verschwinden führen kann. Dazu gibt es allerdings bislang aus Wäldern kaum Untersuchungen (Honnay et al 2005). In der Nordostschweiz wurde aber gezeigt, dass kleine isolierte Populationen der seltenen Elsbeere (*Sorbus torminalis*) weniger blühende Individuen, eine geringere Blühintensität und weniger fertile Samen aufweisen als grössere Populationen (Hoebee et al 2007).

Mit Massnahmen zur Gestaltung der Landschaft können negative Effekte der Fragmentierung kompensiert und der Genaustausch zwischen funktionell isolierten Populationen wiederhergestellt werden. Dabei werden gleiche oder ähnliche Lebens-



ger et al 2003). Kurzfristig können deshalb auch kleine Habitate viel zur Artenvielfalt auf Landschaftsebene beitragen. **Wenn es darum geht, nicht nur das lokale Vorkommen einer Art, sondern überlebensfähige Populationen zu fördern, sind jedoch grosse Schutzgebiete zu bevorzugen. Dabei ist aber zu beachten, dass ein für Moose, Flechten oder Insekten grosses Habitat nur ein Bruchteil des Streifgebiets eines Braunbären ausmacht. Für die Beurteilung der Habitatgrösse ist demnach immer der Flächenanspruch der betrachteten Organismen zu berücksichtigen.**

#### Fragmentierung – Vernetzung

Die Fragmentierung von Lebensräumen ist ein zentrales Problem im Naturschutz (Noss et al 2006). Zerstückelte Lebensräume sind einerseits räumlich getrennt, andererseits ist ihre Gesamtfläche kleiner als der ursprüngliche, unfragmentierte Lebensraum. Fragmentierung von Lebensräumen hat oft zur Folge, dass die Wanderung von Individuen und der Austausch zwischen Teilpopulationen – zum Beispiel durch Samen, Pollen oder Sporen – nicht mehr gewährleistet sind. Diese funktionelle Isolation kann einerseits die genetische Vielfalt einzelner Teilpopulationen reduzieren und andererseits die genetischen Unterschiede zwischen Teilpopulationen durch genetische Drift erhöhen (Young et al 1996). Infolge von Inzucht können Individuen von funktionell isolierten Populationen eine reduzierte Fitness haben

raumtypen miteinander vernetzt (strukturelle Vernetzung), um den genetischen Austausch zwischen Populationen zu ermöglichen (funktionelle Vernetzung). Von entscheidender Bedeutung dabei ist neben der Distanz auch die Matrix, also die Landschaft zwischen zwei Lebensräumen. Je kleiner diese Distanz und je durchlässiger die Matrix ist, desto besser sind die Lebensräume vernetzt. Beispielsweise zeigte eine Untersuchung von Sork et al (2005), dass eine strukturelle Fragmentierung durch Kahlschläge nicht zu einer funktionellen Isolation für die betroffenen Baumarten führen muss, sofern genügend Samen- und Pollenbäume in der Umgebung vorkommen. Beispiele für erfolgreiche Vernetzungsmassnahmen sind Grünbrücken und Durchlässe, die es wild lebenden Säugetieren, Amphibien und zahlreichen anderen Arten ermöglichen, viel befahrene Strassen und Bahnlinien zu queren (Holderegger & Di Giulio 2007). Allerdings gilt dies nicht nur für jene Arten, die man fördern will, sondern auch für unerwünschte pathogene Organismen und gebietsfremde Arten.

**Funktionelle Vernetzung von Populationen muss aber nicht nur auf der Landschaftsebene gegeben sein, sondern auch auf der viel kleineren Ebene des einzelnen Waldbestands. Für Totholzbewohner beispielsweise besteht ein Waldbestand aus zahlreichen diskreten Habitatsinseln. Gleiches gilt auch für epiphytisch lebende Moose und Flechten auf der**

Borke von Bäumen. Für solche Organismen ist es wichtig, dass im gleichen Waldbestand gleichartige Habitatelemente ständig vorhanden sind (Snäll et al 2004). Für die auf Borke lebende und gefährdete Lungenflechte (*Lobaria pulmonaria*) wurden beispielsweise maximale Ausbreitungsdistanzen von wenigen hundert Metern gefunden (Werth et al 2006), die durchschnittlichen Distanzen waren aber deutlich kleiner.

### Habitatvielfalt

Je zahlreicher und unterschiedlicher die Habitate einer Landschaft sind, desto höher ist auch deren Artenvielfalt (MacArthur & Wilson 1967). Inner-

natur-schutzbiologisches Konzept (Mosaik-Zyklus-Konzept; Remmert 1991), bei dem Strukturvielfalt und dynamische Prozesse in einem Wald gleichberechtigt kombiniert werden. Auf der Landschaftsebene hingegen ist das Vorkommen verschiedener Waldgesellschaften und Bewirtschaftungsformen entscheidend für eine hohe Biodiversität.

### Habitatqualität

Neben der Grösse und der Vernetzung der Habitate spielt deren Qualität eine entscheidende Rolle für das Vorkommen und die langfristige Erhaltung der Waldarten. In den letzten Jahrzehnten ist der Schweizer Wald dunkler und dichter geworden

**Abb 2** Artenreichtum des Waldes (II, von links nach rechts): Eibe (*Taxus baccata*); Foto: Michael Nobis. Iltis (*Mustela putorius*); Foto: Otto Holzgang. Buchenfarn (*Phegopteris connectilis*); Foto: Michael Nobis. Türkenbund (*Lilium martagon*); Foto: Markus Bolliger. Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*); Foto: Thomas Sattler. Engelshaarflechte (*Usnea longissima*); Foto: Christoph Scheidegger.



halb eines Habitats wiederum wirkt sich die Zahl der Kleinstandorte positiv auf die Artenvielfalt aus. Habitatvielfalt kann also auf verschiedenen räumlichen Skalen gefördert werden. Innerhalb eines Waldbestandes bilden liegendes und stehendes Totholz, die Borke verschiedener Baumarten, Wurzelteller, und Bäume verschiedener Altersklassen unterschiedliche Kleinhabitate mit einer speziellen Artengemeinschaft. **Die Baumartenvielfalt trägt entscheidend zur Artenvielfalt bei den Pilzen bei (Küffer & Senn-Irlet 2005). Ebenso ist die epiphytische Flechtenflora je nach Baumart und Alter der Bäume verschieden (Scheidegger et al 2002), und Wurzelteller umgeworfener Bäume sind bekannt für ihre artenreiche Moosflora (von Oheimb et al 2007).** Durch Strukturvielfalt und Lücken in der Baumschicht entstehen auf dem Waldboden Kleinstandorte mit unterschiedlichem Lichteinfall, was sich positiv auf die Artenvielfalt auswirkt (Brändli et al 2007). Die Förderung einer mosaikartigen Struktur von Beständen verschiedener Altersklassen, Stammzahlen, Artenzusammensetzung und Schichtungen ist dementsprechend ein

(Bürgi 1998, Brassel & Brändli 1999). Zunehmende Lichtarmut bedeutet für licht- und wärmebedürftige Arten eine Abwertung der Habitatqualität (z.B. Egloff 1991). Auch menschliche Störungen können die Qualität der Lebensräume beeinträchtigen. So haben Freizeitaktivitäten wie Gleitschirmfliegen, Mountainbike, Schneeschuhlaufen oder Variantenskifahren an gewissen Orten negative Auswirkungen auf Wildtiere (Ingold 2005). Zudem sind 90% der Waldstandorte übermässigen Stickstoffeinträgen aus der Luft ausgesetzt (Bafu & BFS 2007). Dies führt zu einer Gefährdung der Organismen, welche auf nährstoffarme Habitate angewiesen sind. Strukturarmut, geringe Totholz mengen, das Fehlen von Beständen mit biologisch alten Bäumen und Bodenverdichtungen sind weitere Faktoren, welche die Habitatqualität für viele Arten entscheidend verschlechtern.

### Schlüsselarten und Schlüsselstrukturen

Ein weithin akzeptiertes Konzept aus der Naturschutzbiologie ist das der Schlüsselarten (Keystone species; Simberloff 1998). Schlüsselarten üben

einen direkten Einfluss auf andere Arten aus, indem sie beispielsweise wie der Schwarzspecht ein Angebot an Brut- und Schlafhöhlen für Käuze, Fledermäuse, Kleinsäuger und Insekten schaffen. Schlüsselarten sind nicht immer leicht zu identifizieren, da sie keineswegs die dominanten Arten eines Ökosystems sein müssen und ihr Einfluss auf das System oft viel grösser ist, als ihre Biomasse vermuten lässt (Ebenman & Jonsson 2005).

Das Konzept der Schlüsselstrukturen (Tews et al 2004) besagt, dass das Vorkommen von gewissen Strukturen für die Ökosystemfunktionen und die Artenvielfalt entscheidend ist. Es handelt sich also um Lebensraumelemente, die überlebenswichtige

scheidung manchmal vom räumlichen Betrachtungsmaßstab abhängig ist.

### Segregation: hier Schutz, dort Nutzung

Die räumliche Trennung von Schutz und Nutzung ist ein wichtiges Instrument bei der Umsetzung von Biodiversitätszielen und sollte insbesondere beim Schutz von bedeutenden Naturvorrangflächen zur Anwendung kommen. Schutzgebiete wie Nationalpärke und Reservate gehören zum ältesten und effektivsten Instrumentarium des Naturschutzes (Possingham et al 2006). Nur in Schutzgebieten mit strengen Nutzungsbeschränkungen kann der menschliche Einfluss für eine längere Zeitperiode ef-



Nischen für zahlreiche Artengruppen bilden. Beispiele von Schlüsselstrukturen im Wald sind gestufte Waldränder (Wermelinger et al 2007), Totholz (Schiegg 1998, Bütler et al 2006) oder Astlöcher in Biotopbäumen. Schlüsselstrukturen können also von verschiedenen Arten, Artengemeinschaften oder abiotischen Elementen gebildet werden und sind nicht vom Vorkommen einer bestimmten Art abhängig.

### Instrumente und Massnahmen

Bedingt durch die unterschiedlichen Flächen- und Habitatansprüche und die Vielzahl der Organismen sind bei der Förderung der biologischen Vielfalt im Wald zahlreiche und verschiedene Instrumente einzusetzen (Abbildung 3). Welches Instrument und welche Massnahmen ergriffen werden sollen, hängt vom jeweiligen Biodiversitätsziel ab. Grundsätzlich werden segregative und integrative Massnahmen unterschieden, wobei diese Unter-

ektiv vermindert oder kontrolliert werden. Entsprechend hat sich die Forstdirektorenkonferenz (FDK 2001<sup>2</sup>) dafür ausgesprochen, 10% der Waldfläche der Schweiz bis ins Jahr 2030 als Reservate auszuweisen. Für die Förderung der Biodiversität ist es wichtig, dass bei der Ausscheidung von Schutzgebieten neben den bereits genannten Zusammenhängen auch das Komplementaritätsprinzip berücksichtigt wird (Margules & Pressey 2000). Es besagt, dass sich Schutzgebiete in ihrer Arten- oder Habitatzusammensetzung gegenseitig ergänzen sollten. Dabei ist es entscheidend, dass verschiedene taxonomische Gruppen berücksichtigt werden. Seltene Moose oder Flechten müssen beispielsweise nicht in den gleichen Wäldern vorkommen wie gefährdete Orchideen. Die Schutzgebiete sollten bezüglich räumlicher Verteilung, Grösse und Anzahl so ausgewählt werden, dass ein langfristiges

<sup>2</sup> Leitsätze einer «Waldreservatspolitik Schweiz». Bern: Bundesamt Umwelt. 2 p. [www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=8290](http://www.bafu.admin.ch/dokumentation/medieninformation/00962/index.html?lang=de&msg-id=8290) (3.2.2009)

Vorkommen aller Arten gewährleistet ist (Cabeza & Moilanen 2001). Dementsprechend sollten neue Reservate so angelegt werden, dass sie die bereits bestehenden hinsichtlich des naturschutzbiologischen Potenzials möglichst gut ergänzen. Nur so kann sichergestellt werden, dass das zukünftige Netz der Waldreservate ein möglichst breites Spektrum der Waldbiodiversität abdeckt.

#### Natur- und Sonderwaldreservate

Im Jahr 2007 waren 3.14% der Schweizer Waldfläche mittels 825 Waldreservaten geschützt (Bafu 2007). Der grösste Teil dieser Reservate ist kleiner als 100 ha (Buwal & WSL 2005). Konkret sind fast 70% der Naturwaldreservate kleiner als 20 ha, nur 4% sind grösser als 100 ha (Markus Bolliger, mündl. Mitteilung). Aus der Sicht eines umfassenden Biodiversitätsschutzes ist es wichtig, dass grosse Reservate einen bedeutenden Anteil der totalen Reservatsfläche ausmachen. Broggi & Willi (1993) schätzten, dass ungefähr 16% der Waldfläche in den Gunstlagen des Mittellandes, des Juras und der Voralpen als Waldreservate ausgeschieden werden müssten, um die Waldbiodiversität zu erhalten. Diese Schätzung liegt im Bereich der 15–30%, die für Deutschland und Österreich gefordert werden (Scherzinger 1996). Falls das Ziel der Biodiversitätserhaltung nur über ein segregatives Vorgehen erreicht werden soll, dürften diese Anteile in Mitteleuropa kaum ausreichen. Berücksichtigt die Waldbewirtschaftung hingegen minimale naturschutzbiologische Standards, könnte der benötigte Anteil an Reservatsflächen im unteren Bereich dieser Schätzungen liegen, weil der so bewirtschaftete Wald eine bessere Lebensraumqualität aufweist und zur grossflächigen Vernetzung der Lebensräume von Habitatspezialisten beiträgt.

In Naturwaldreservaten ist der Prozessschutz das primäre Ziel. Die Waldsukzession wird vollständig durch die natürliche Dynamik bestimmt, auf eine forstliche Lenkung wird verzichtet. Dadurch können die Bäume ein biologisch hohes Alter erreichen, und es werden längerfristig die Zerfalls- und Pionierwaldphasen mit ihren typischen Artengemeinschaften sowie die mosaikartige Verzahnung aller Waldentwicklungsphasen gefördert. Davon profitieren zahlreiche Habitatspezialisten. Alleine bei den epiphytischen Stecknadelflechten sind es rund 50 Arten, die auf biologisch alte Waldbestände in der Zerfallsphase angewiesen sind.

Während in Naturwaldreservaten auf forstliche Eingriffe verzichtet wird, werden in Sonderwaldreservaten durch gezielte Massnahmen bestimmte Arten und Habitate gefördert. Entsprechend wird die Nutzung auf ein zwischen Bund, Kanton und dem Waldeigentümer vereinbartes Naturschutzziel ausgerichtet. Lebensraumaufwertungen für die gezielte Förderung von seltenen Arten (z.B. Raufusshühner, Spechte, Orchideen) stehen dabei oft im Vordergrund. Die Wahl von Natur- oder Sonderwaldreservat oder einer Kombination davon (Komplexwaldreservat) wird also durch das eigentliche Projektziel bestimmt.

#### Seltene Biotope und Waldgesellschaften

Naturschutz kümmerte sich über lange Zeit vor allem um Spezialstandorte im Wald, die nach den Kriterien Seltenheit, Besonderheit, Artenzusammensetzung und auch Ästhetik ausgewählt wurden. Dabei handelt es sich oft um Waldbestände auf sehr trockenen, flachgründigen oder nassen Standorten wie Auen-, Moor-, Bruch-, Schlucht- oder Orchideenwälder (vgl. Verordnung vom 16. Januar 1991 über

Abb 3 Konzepte, Prinzipien, Instrumente und Massnahmen zur Biodiversitätsförderung im Wald.



**Abb 4** Auenwälder gehören zu den artenreichsten Ökosystemen. In den Kulturlandschaften Mitteleuropas wurden sie stark zurückgedrängt. Sie sind u.a. wichtige Lebensräume für die Mückenfledermaus (*Pipistrellus pygmaeus*; Abbildung 2).

Foto: Markus Bolliger



den Natur- und Heimatschutz [NHV], SR 451.1). Diese seltenen Waldbestände (Abbildung 4) sollten uneingeschränkt erhalten werden, zumal sich die Standorte nur schlecht für die Holzproduktion eignen. Sie lassen sich auch gut in Waldreservate integrieren.

#### *Traditionelle Nutzungsformen*

Mittelwald, Kastanienselven und Wytweiden sind Relikte ehemaliger Nutzungsformen und Lebensräume für Habitatspezialisten. Solche Arten stehen heute oftmals auf den Roten Listen, weil es ihnen in den vorratsreichen, einschichtigen Hochwäldern an geeignetem Lebensraum fehlt. Die alten Kulturwaldformen sind für den Naturschutz insofern bedeutend, als sie meistens locker oder lückig aufgebaut sind und zahlreiche alte Baumindividuen aufweisen. Sie prägen die Struktur des Lebensraums, sind mit nicht bestockten Flächen und Waldbeständen verzahnt und bilden so ein kleinflächiges Mosaik von unterschiedlichen Keim-, Brut- und Nahrungsnischen. Die Beweidung erhöht die Strukturvielfalt und verändert die Konkurrenzverhältnisse im Wald durch eine selektive Nutzung der Gras- und Strauchschicht sowie junger Bäume. Dadurch werden weidetolerante Kräuter, Büsche (z.B. *Rosa* spp.) und Baumarten gefördert (Putman 1996, Mayer & Huovinen 2007). Die Streuenutzung entfernt Nährstoffe aus dem Ökosystem (Dzwonko & Gawronski 2002), wodurch der Waldboden vermehrt als Keimsubstrat für konkurrenzschwache Habitatspezialisten wie Moose nutzbar wird.

#### **Integration: Schützen durch Nutzen**

Eine forstliche Nutzung muss der Biodiversität im Wald nicht abträglich sein (Mollet et al 2005), zumal in der Schweiz in der Regel ein naturnaher Waldbau betrieben wird. Beispielsweise ist der naturnah bewirtschaftete Krienser Hochwald ein eigentlicher Hotspot für epiphytische Flechten (Dietrich et al 2008). Das Bundesgesetz vom 4. Oktober 1991 über den Wald (Waldgesetz, WaG, SR 921.0) verbietet im Grundsatz Kahlschläge, umweltgefährdende Stoffe, gentechnisch veränderte Pflanzen und den nicht forstlichen Motorfahrzeugverkehr im Schweizer Wald. Diese Regulierungen sind wichtige Voraussetzungen für die Förderung der biologischen Vielfalt auf der ganzen Waldfläche.

In den zehn Jahren zwischen dem ersten und dem zweiten Landesforstinventar hat der Anteil an Naturverjüngung im Schweizer Wald zugenommen (Brassel & Brändli 1999). Dazu trugen die verbesserte Akzeptanz der Naturverjüngung in Forstkreisen (Schönenberger 1998) und die Auswirkungen des Sturms Vivian bei. Die Naturverjüngung fördert die Verbreitung von Arten der Pionierwaldphase. Auch erstreckt sich die Ansammlungs- und Aufwuchsphase der Jungbäume über einen längeren Zeitraum. Die natürliche Verjüngung fördert dementsprechend auch die strukturelle Vielfalt und mosaikartige Bestandesstruktur in Wirtschafts- und Schutzwäldern und sollte eine positive Wirkung für die Biodiversität entfalten, besonders wenn Pionierwaldbestände noch besser vernetzt werden (Mollet et al 2005). Bei Pflanzungen ist noch mehr darauf zu achten, dass standorttypische Arten und



**Abb 5** Für die Biodiversitätsförderung braucht es mehr Pensio-näre im Wald. Habitatspezialisten wie beispielsweise die Steck-nadelflechten sind auf Altholzbestände im Zerfallstadium ange-wiesen. Foto: Peter Brang



**Abb 6** Biotopbäume sind häufig alte Baumindividuen, die zahl-reichen spezialisierten und gefährdeten Arten einen Lebens-raum bieten. Dazu gehört auch *Tayloria rudolphiana* (Abbil-dung 1), ein Moos, das nur auf ausladenden Ästen des Bergahorns wächst. Foto: Ariel Bergamini



**Abb 7** Liegendes und stehendes Totholz sind wichtige Schlüs-selstrukturen und Lebensraum für Tausende von Arten im Wald. Foto: Markus Bolliger

autochthone Provenienzen verwendet werden, weil solche Organismen besser an die regionalen Be-dingungen angepasst sind und ein grösseres Anpas-sungspotenzial für zukünftige Umweltverände-rungen aufweisen (Bonfils & Bolliger 2003). Aus forstpolitischen Überlegungen wird in der Schweiz mit grosser Wahrscheinlichkeit am Prinzip der multifunktionalen Waldwirtschaft festgehalten. Es ist aber in Zukunft mit einer Intensivierung der Holznutzung zu rechnen. Diese kann für den Schutz der Biodiversität sowohl ein Risiko als auch eine Chance darstellen. Eine Chance eröffnet sich dann, wenn die gesteigerte Holznutzung mit zusätzli-chen, integrativen Massnahmen für die Biodiversi-tätsförderung kombiniert wird. Diese Massnahmen und Instrumente sind im Folgenden genauer be-schrieben.

#### *Altholzinseln, Totholz und Biotopbäume*

Waldbestände in der Zerfallsphase (Abbil-dung 5), biologisch alte Bäume (Abbildung 6) und Totholz (Abbildungen 5 und 7) sind typische Ele-mente im Naturwald. Sie bieten Lebensraum für Tau-sende von Waldarten. So steigt mit dem durch-schnittlichen Alter der Bestände die Arten- und Individuenzahl von Waldvögeln (Naef-Daenzer & Blattner 1989, Bontadina & Naef-Daenzer 1999) und mit dem Angebot an Totholz die Vielfalt der xylo-bionten Käfer (Martikainen et al 2000). **Zahlreiche andere Insekten sowie viele Moose, Flechten und Holz abbauende Pilze (Senn-Irlet 2008) sind eben-falls auf Totholz angewiesen.** Es wird geschätzt, dass rund ein Fünftel der gesamten Waldfauna vom Tot-holz abhängt (Schiegg 1998). Biologisch alte Baum-individuen werden auch Biotopbäume genannt, wenn sie eine Vielzahl von ökologischen Nischen und Schlüsselstrukturen wie Baum- und Mulmhö-len oder grobe, rissige Borke aufweisen oder von Spechten für den Höhlenbau bevorzugt werden.

Die durchschnittliche Menge an stehendem und liegendem Totholz nimmt in der Schweiz von den Tief- zu den Hochlagen zu und liegt bei zirka 12 m<sup>3</sup>/ha (Brassel & Brändli 1999). **Hierbei ist zu be-achten, dass stehendes und liegendes Totholz von den Organismen sehr verschieden genutzt wird. Während beispielsweise liegendes Totholz für Moose ein wichtiges Substrat darstellt, wird stehendes Tot-holz von Spechten bevorzugt.** Bütler et al (2006) ha-ben für verschiedene Waldgesellschaften Schwellen-werte von 20 bis 40 m<sup>3</sup>/ha ermittelt, um typische Organismengruppen des Totholzes zu erhalten. Das Bundesamt für Umwelt (Bafu) hat die Totholzför-derung in die Leistungsvereinbarungen mit den Kantonen aufgenommen und beabsichtigt, den durchschnittlichen Totholzvorrat ausserhalb der Reservate bis 2015 auf mindestens 2.5% (9 m<sup>3</sup>/ha) des Holzvorrats zu erhöhen. Da dieser Anteil aber deutlich kleiner als der von Bütler et al (2006) ermit-



**Abb 8** Der artenreiche, reich strukturierte Waldrand mit Krautsaum, Büschen und Pionierbäumen ist der bevorzugte Lebensraum für licht- und wärmebedürftige Arten. Foto: Beat Wermelinger



telte minimale Totholzvorrat ist, sollten in Wäldern mit wenig Totholz einzelne Inseln im Sinne des ökologischen Ausgleichs ausgeschieden werden. Diese sollten mindestens die Lebensraumansprüche von typischen Schirmarten des totholzreichen Waldes (z.B. Dreizehenspecht, Weissrückenspecht) erfüllen. Um dies zu erreichen, empfehlen Bütler & Schlaepfer (2004), in der Waldlandschaft Schweiz rund 1 km<sup>2</sup> grosse Totholzinseln zu verteilen. Diese sollen über 9% Totholz verfügen, was durchschnittlich 33 m<sup>3</sup>/ha stehendem und liegendem Totholz entspricht. Für ausgesprochene Habitatspezialisten wie den Weissrückenspecht (*Dendrocopos leucotos*), welcher urwaldähnliche Laubwaldbestände bewohnt, können sogar solche Zielwerte zu tief sein. Frank (2002) ermittelte für diesen in Österreich einen Totholzanteil von 58 m<sup>3</sup>/ha. Im Verbreitungsgebiet des Weissrückenspechts in Nordbünden sind die Totholz mengen aber deutlich kleiner (14–16 m<sup>3</sup>/ha; Bühler 2001).

#### *Gestufte Waldränder*

Waldränder haben ein grosses Potenzial für die strukturelle Vernetzung von Wald- und Wald-Offenland-Habitaten (Abbildung 8). Je nach Standort (z.B. Höhenlage), Typ der offenen Fläche (Weide, Sturmflücke, Moorfläche) und der Bewirtschaftungsart sind die Waldränder unterschiedlich aufgebaut. Sie sind ein Übergangsstadium in der natürlichen Waldsukzession und verändern sich rasch. Waldränder erhöhen die Vielfalt an ökologischen Nischen und erzeugen wechselnde Standortverhältnisse auf kleinem Raum. Der naturschützerisch wertvolle, gestufte Waldrand mit Buchten kann nur über Pflegemassnahmen erhalten werden (Coch 1995). Er ist für

licht- und wärmebedürftige Waldarten wie Tagfalter besonders attraktiv. Interessanterweise sind unter den Insekten die meisten sogenannten Waldarten eigentlich Waldrandarten (Wermelinger et al 2007). Nur etwa 6% der waldbewohnenden Insektenarten sind im Waldesinneren häufiger als am Waldrand (Flückiger & Duelli 1997). Ausserdem verbringen viele landwirtschaftliche Nützlinge den Winter in Waldrändern (Limat & Duelli 2000).

#### *Artenförderung*

Einzelne Arten werden in der Naturschutzpraxis regelmässig verwendet, um wertvolle Gebiete oder Vorrangflächen für den Biodiversitätsschutz zu erkennen oder um die Wirkung von Förderungs-massnahmen zu messen (Simberloff 1998). Zu diesem Zweck sind verschiedene Arten-Klassifikationen für die Naturschutzplanung entwickelt worden. Dazu gehören die sogenannten Schirmarten (umbrella species), welche meistens Habitatspezialisten mit grossem Raumbedarf sind und deren Schutz auch die Förderung anderer typischer Vertreter der Artengemeinschaft bewirkt (Lambeck 1997). Das Schirmartenkonzept wurde am Auerhuhn in den Schweizer Alpen für Vogelarten erfolgreich überprüft (Suter et al 2002), darüber hinaus allerdings nur für wenige Arten getestet (Roberge & Angelstam 2004). Weil nur selten eine funktionelle Beziehung zwischen der Schirmart und den übrigen zu schützenden Arten besteht (Lindenmayer et al 2006), können sich die Schutzmassnahmen auf die anderen Organismen der Artengemeinschaft bei sich ändernden Umweltbedingungen anders auswirken als auf die Schirmart selbst.

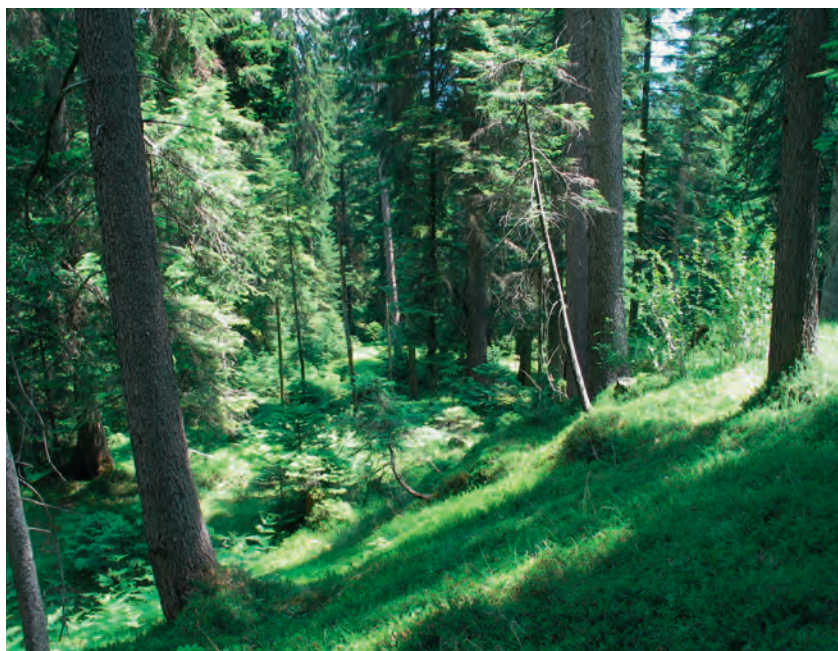
Bollmann et al (2002) haben mit dem Konzept der Prioritätsarten (priority species) ein praxistaugliches Instrument für die Konzentration der Mittel im Artenschutz vorgeschlagen. Dabei werden die Gefährdung und Seltenheit von Arten sowie die internationale Verantwortung für deren Erhaltung gewichtet und die Erfolgsaussichten von Schutzmassnahmen gutachtlich bewertet. Der Liste der Prioritätsarten gehören mehrheitlich Arten der Roten Liste an, die auch Schirm- oder Schlüsselarten sein können. Prioritäre Arten erlauben den konzentrierten Einsatz der beschränkten Naturschutzmittel. Zehn der fünfzig prioritären Vogelarten für Artenschutzprogramme in der Schweiz leben im Wald (Bollmann et al 2002). In der Zwischenzeit wurden auch prioritäre Arten für weitere Organismengruppen bestimmt.<sup>3</sup>

## Zukünftige Herausforderungen

### Holzmarkt

Die Nachfrage nach Holz und nachwachsenden Rohstoffen ist in den letzten Jahren gestiegen (Meier 2007). Dieser Trend dürfte vorderhand anhalten. Dies bietet für die Biodiversitätsförderung sowohl Chancen als auch Risiken. Der Abbau des stehenden Holzvorrats bringt Licht in den Wald und fördert die Walddynamik und die Bestandesstruktur (Abbildung 9). Dabei ist aber entscheidend, wie und in welchem Umfang die Holzernte durchgeführt wird. Dem Kahlschlag wird in der Schweizer Forstwirtschaft ein begrenztes Potenzial attestiert (von

<sup>3</sup> [www.cscf.ch/page19391\\_en.html](http://www.cscf.ch/page19391_en.html) (30.1.2009)



**Abb 9** Licht und Wärme sind wichtige Primärfaktoren für die Biodiversität im Wald.  
Foto: Kurt Bollmann

Wyl et al 2006). Ökologisch betrachtet können Kahlschläge auch nicht mit Windwurfereignissen gleichgesetzt werden (Scherzinger 1996). Solche hinterlassen Samen, Einzelbäume, Sträucher und Totholz, welches mithilfe von Pilzen und Mikroorganismen zu Moderholz umgewandelt wird, das wiederum die Naturverjüngung begünstigt. Kahlschläge hingegen hinterlassen kahle Flächen. Dadurch fehlt der artenreiche Lebensraum Totholz, und bei Aufforstungen wird die wenig verbreitete Pionierwaldphase unterdrückt. Sollte die Substitution von fossilen Energieträgern durch Holz jemals dazu führen, dass das Kahlschlagverbot aufgehoben wird, so ist diese Massnahme aus Sicht der Biodiversitätsförderung zwingend an minimale naturschutzbiologische Standards zu knüpfen. Dabei müssen Zielvorräte, Umtriebszeiten, maximale Eingriffsflächen, Eingriffsarten und ökologische Ausgleichmassnahmen definiert und den übergeordneten Zielen der Wald- und Umweltpolitik der einzelnen Region untergeordnet werden.

### Klimawandel

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts nehmen die globalen Durchschnittstemperaturen zu (IPCC 2007). Untersuchungen an verschiedenen Organismengruppen zeigen, dass diese allgemeine Erwärmung eine Verschiebung der Verbreitungsgrenzen in Richtung der Pole und in grössere Höhen bewirkt (Parmesan & Yohe 2003). In der Schweiz hat sich die Temperatur im letzten Jahrhundert im Durchschnitt um 0.14 °C pro Dekade erhöht, in den letzten drei Jahrzehnten sogar um 0.57 °C (Rebetez & Reinhard 2008). Bekannte Beispiele für Prozesse in Schweizer Wäldern, die mit grösster Wahrscheinlichkeit durch die Klimaänderung angetrieben oder zumindest begünstigt werden, sind die Zunahme immergrüner Laubgehölze in sommergrünen Laubwäldern (Laurophyllisierung) in besonders wärmebegünstigten Wäldern im Tessin (Abbildung 10; Walther 1999), das Absterben der Waldföhre in inneralpinen Trockentälern (Rigling et al 2006) und das Höhersteigen der Mistel im Wallis (Dobbertin et al 2005). Kürzlich wurde gezeigt, dass der vielerorts beobachtete Anstieg der Waldgrenze nicht allein auf die Aufgabe der Nutzung von Weiden zurückgeführt werden kann, sondern auch durch die Klimaänderung begünstigt wird (Gehrig-Fasel et al 2007).

Untersuchungen zu Zusammenhängen zwischen momentanem Klima und Artvorkommen zeigen, dass bei einer Erwärmung um 3.3 °C bis ins Jahr 2080 weite Teile des Jura eichenfähig würden (Zimmermann et al 2006). Die Zunahme von Extremereignissen wie beispielsweise Trockenperioden kann bei einzelnen Baumarten zu einem raschen Absterben führen und damit relativ rasche Vegetationsveränderungen bewirken (Wohlgemuth et al 2006). Ein grosser unbekannter Faktor bei Prognosen zu Effek-



Abb 10 Neophyten haben im Tessin in siedlungsnahen Wäldern stark zugenommen.  
Foto: Ariel Bergamini

ten von Klimaänderungen sind Waldschäden, die durch Insekten und Pathogene verursacht werden. In Kanada und Alaska wird vermutet, dass eine Folge warmer Sommer die Borkenkäferpopulationen derart begünstigten, dass grosse Wälder flächig abgestorben sind (Logan et al 2003). Wenig bekannt sind auch Effekte veränderter Konkurrenzverhältnisse auf das Vorkommen der Arten. Insgesamt ist es schwierig, die Auswirkungen zukünftiger Klimata auf die Verbreitung von Waldarten vorauszusagen.

Trotz Klimaänderung sollte beim Schutz der Biodiversität im Schweizer Wald grundsätzlich an den vorhandenen Strategien festgehalten werden. Schutzgebiete und Reservate sind weiterhin wichtig, Vernetzung wird als ein bedeutendes ökologisches Prinzip Bestand haben, vielfältige Arten- und Genpools bewahren die Funktionsgefüge von Ökosystemen und das evolutionäre Anpassungspotenzial, und der naturnahe Waldbau wird weiterhin ein wichtiges Prinzip bleiben. Hingegen ist denkbar, dass sich die Prioritäten bei den Schutzzieleen wegen ver-

änderter Artengemeinschaften, Verbreitungsgebiete und Konkurrenzverhältnisse verschieben und die entsprechenden Instrumente und Massnahmen zum Erreichen der Ziele angepasst werden müssen. Zudem kann ein Zielkonflikt zwischen Klimaschutz und Erhaltung der Biodiversität erwartet werden, falls die nationalen CO<sub>2</sub>-Reduktionsziele über die Senkenleistung des Waldes und die vermehrte Nutzung von Holz als Energieträger angestrebt werden, ohne gleichzeitig die Rahmenbedingungen für die Biodiversität im Wald zu schaffen (SCNAT 2008).

#### Invasive Arten

Die Ausbreitung gebietsfremder Arten ist ein weltweites Phänomen, das auch in der Schweiz an Bedeutung gewinnt. Eine Übersicht der hierzulande bekannten Neobiota – dies sind Organismen, die nach der Entdeckung Amerikas (1492) in der Schweiz erstmals auftraten – gibt Wittenberg (2005). Seither kamen ständig neue Arten hinzu. So wurden allein im Jahr 2007 vier neue Insektenarten auf Gehölzpflanzen bekannt (Engesser et al 2008a). Invasive Neobiota können im Wald als Schadorganismen auftreten (Heiniger 2003, Engesser et al 2008b) und einheimische Arten direkt gefährden. Ein Beispiel ist die Ulmenwelke, die durch den aus Ostasien eingeschleppten Schlauchpilz *Ophiostoma ulmi* ausgelöst wurde. Gebietsfremde Arten können im Wald auch indirekt die Vielfalt einheimischer Arten verringern. Beispiele hierfür sind die zunehmende Beschattung durch die Laurophyllisierung sowie die Stickstoffanreicherung durch Robinie (SKEW 2006). Obwohl bei einer weltweiten Betrachtung invasive Neobiota bereits grossräumig zu deutlichen Veränderungen in Wäldern geführt haben, ist ihre Bedeutung in der Schweiz noch gering. Ein besonderes Augenmerk muss jedoch auf Arten gerichtet werden,



Abb 11 Viele invasive Neobiota wie das Drüsiges Springkraut (*Impatiens glandulifera*) breiten sich in aufgelichteten Wäldern rasch aus. Foto: Ariel Bergamini

die ausserhalb der Schweiz an ähnlichen Waldstandorten als Schadorganismen auftreten oder gar als Quarantäneorganismen gelten (Engesser et al 2008b).

Neobiota kommen in der Schweiz besonders in warmen Tieflagen vor und werden durch Siedlungsnähe begünstigt, da viele Arten als oder mit Zierpflanzen in die Schweiz gelangen (Engesser et al 2008b, Nobis 2008; Abbildung 10). Ein weiterer Faktor sind Störungen, zum Beispiel durch Holznutzung und Erschliessungen, aber auch Naturschutzmassnahmen, da Neobiota besonders in lichte Wälder eindringen (Abbildung 11). Mit der Verordnung über den Umgang mit Organismen in der Umwelt vom 10. September 2008 (Freisetzungsverordnung, FrSV, SR 814.911) wurde der Umgang mit invasiven gebietsfremden Organismen neu geregelt. Der Zweck der Verordnung liegt ausdrücklich auch im Schutz der Biodiversität vor negativen Folgen invasiver Neobiota.

## Schlussfolgerungen

Unsere Ausführungen zeigen, dass Pauschalrezepte zur Förderung der Biodiversität der Komplexität des Ökosystems Wald und seiner Lebensgemeinschaften nicht gerecht werden. Vielmehr müssen je nach Ziel andere Lösungen und Massnahmen gesucht werden. Eine geeignete Kombination von segregativen und integrativen Naturschutzmassnahmen im Wald ermöglicht es auch, auf zukünftige Veränderungen adäquat zu reagieren.

Aus heutiger Sicht besteht ein zusätzlicher Bedarf an grossen Waldreservaten. Insbesondere sollte auch der Anteil an Waldreservaten im Mittelland erhöht werden. Bis heute fehlen aber die Grundlagen, um den Bedarf an Waldreservaten fachlich seriös zu definieren und die weitere Entwicklung so zu steuern, dass sämtliche Waldgesellschaften und ihre biologische Vielfalt repräsentativ im Waldreservatsnetz der Schweiz vertreten sind. Dazu könnte eine Lückenanalyse (gap analysis) wichtige Planungs- und Entscheidungsgrundlagen liefern.

Im Zusammenhang mit den Diskussionen um das Waldprogramm Schweiz waren von Waldwirtschaft Schweiz (2003, 2008) Stimmen zu vernehmen, die aus ökonomischen Gründen mehr unternehmerische Freiheiten und eine angepasste Lockerung des Kahlschlagverbots forderten. Obwohl ein solches Vorgehen auch Vorteile für die Biodiversitätsförderung im Wald haben kann (siehe Winkel et al 2005), muss betont werden, dass das Ziel der Erhaltung der Artenvielfalt bei einem vorwiegend segregativen Vorgehen nur durch einen erheblich grösseren Anteil an Waldreservaten und Schutzgebieten und einen gut entwickelten Lebensraumverbund erreicht werden könnte. Dies dürfte aber in Gebieten

mit einem bedeutenden Privatwaldanteil kaum zu realisieren sein. Bei einer vollständigen Trennung von Schutz und Nutzung ginge auch der Bewirtschaftungsbonus für die Artenvielfalt des Waldes verloren, der durch die Nutzungsvielfalt entsteht.

Integration und Segregation sind gleichwertige und komplementäre Instrumente zur Förderung der Biodiversität im Wald. Der räumlich geschickte und zeitlich langfristige Verbund von Waldreservaten, ökologischen Ausgleichsflächen (z.B. Altholzinseln), Schlüsselstrukturen und vielfältig bewirtschafteten Beständen in Kombination mit ausgewählten Artenförderungsprojekten dürfte eine maximale Wirkung für die biologische Vielfalt des Waldes erzielen. Dabei entsteht ein mosaikartiges Zusammenspiel von Stabilität und Dynamik im Wald. Klimaerwärmung und häufigere Windwurfergebnisse führen dazu, dass die Waldentwicklung in weiten Teilen der Schweiz stärker vom Zufall gesteuert sein wird als in der Vergangenheit. Dadurch ergeben sich Chancen für die Förderung der Biodiversität im Wald, weil Störungen in der Regel die Bestandesvielfalt örtlich erhöhen und die mosaikartige Textur verfeinern.

Konflikte zwischen ökonomischen, sozialen und ökologischen Zielen können nie ausgeschlossen werden. Welches der Ziele höher zu gewichten ist, kann nicht mit Forschungsergebnissen begründet, sondern nur durch die Gesellschaft beantwortet werden. Eine Biodiversitätsstrategie Schweiz bietet die einmalige Gelegenheit, übergeordnete und regional wichtige Ziele festzulegen und damit auch die Naturschutzarbeit im Wald verbindlicher und effizienter zu gestalten. ■

*Eingereicht: 3. Oktober 2008, akzeptiert (mit Review): 30. Januar 2009*

## Dank

Der vorliegende Artikel ist in der Forschungseinheit Biodiversität und Naturschutzbiologie der WSL entstanden. Silvia Stofer, Silke Werth, Barbara Schlup, Thibault Lachat, Martin Obrist (alle WSL) und Markus Bolliger (Bafu) haben wertvolle Anregungen beigesteuert. Ihnen danken wir herzlich.

## Literatur

- ARRHENIUS O (1921) Species and area. *J Ecol* 9: 95–99.
- BAFU, BFS (2007) Umwelt Schweiz 2007. Bern: Bundesamt Umwelt, Bundesamt Statistik. 148 p.
- BOLLMANN K, KELLER V, MÜLLER M, ZBINDEN N (2002) Prioritäre Vogelarten für Artenförderungsprogramme in der Schweiz. *Ornithol Beob* 99: 301–320.
- BONFILS P, BOLLIGER M, EDITORS (2003) Wälder von besonderem genetischem Interesse (BGI-Wälder). Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 60 p.

- BONTADINA F, NAEF-DAENZER B (1999)** Die räumliche Verteilung waldbewohnender Vogelarten in Abhängigkeit von Waldstruktur und immissionsbedingten Waldschäden. II. Nadelwälder in Graubünden. *Ornithol Beob* 96: 95–116.
- BRÄNDLI UB, BÜHLER C, ZANGGER A (2007)** Waldindikatoren zur Artenvielfalt – Erkenntnisse aus LFI und BDM Schweiz. *Schweiz Z Forstwes* 158: 243–254. doi: 10.3188.szf.2007.0243
- BRASSEL P, BRÄNDLI UB, EDITORS (1999)** Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. 442 p.
- BROGGI MF, WILLI G (1993)** Waldreservate und Naturschutz. Basel: Schweiz Bund Naturschutz, Beiträge Naturschutz Schweiz 13. 79 p.
- BÜHLER U (2001)** Brutvorkommen des Weissrückenspechts *Dendrocopos leucotos* in Nordbünden. *Ornithol Beob* 98: 1–11.
- BÜRGI M (1998)** Habitat alterations caused by long-term changes in forest use in northeastern Switzerland. In: Kirby KJ, Watkins C, editors. *The ecological history of European forests*. Oxford: CAB International. pp. 203–211.
- BÜTLER R, LACHAT T, SCHLAEPFER R (2006)** Saproxylische Arten in der Schweiz: ökologisches Potenzial und Hotspots. *Schweiz Z Forstwes* 157: 208–216. doi: 10.3188.szf.2006.0208
- BÜTLER R, SCHLAEPFER R (2004)** Wieviel Totholz braucht der Wald? *Schweiz Z Forstwes* 155: 31–37. doi: 10.3188.szf.2004.0031
- BUWAL, WSL (2005)** Waldbericht 2005 – Zahlen und Fakten zum Zustand des Schweizer Waldes. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 151 p.
- CABEZA M, MOILANEN A (2001)** Design of reserve networks and the persistence of biodiversity. *Trends Ecol Evol* 16: 242–248.
- COCH T (1995)** Waldrandpflege – Grundlagen und Konzepte. Radebeul: Neumann. 240 p.
- COLEMAN BD, MARES MA, WILLIG MR, HSIEH YH (1982)** Randomness, area and species richness. *Ecology* 63: 1121–1133.
- DIAMOND JM (1975)** The island dilemma: lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves. *Biol Conserv* 7: 129–146.
- DIETRICH M, BÜRGI-MEYER K, BERGAMINI A, SCHEIDEGGER C, STOFER S (2008)** Der Krienser Hochwald (Kanton Luzern): Ein wertvoller Lebensraum für zahlreiche, in der Schweiz gefährdete Flechtenarten. *Bot Helv* 118: 149–164.
- DOBBERTIN M ET AL (2005)** The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) in Switzerland – the result of climate warming? *Int J Biometeorol* 50: 40–47.
- DZWONKO Z, GAWRONSKI S (2002)** Effect of litter removal on species richness and acidification of a mixed oak-pine woodland. *Biol Conserv* 106: 389–398.
- EBENMAN B, JONSSON T (2005)** Using community viability analysis to identify fragile systems and keystone species. *Trends Ecol Evol* 20: 568–575.
- EGLOFF FG (1991)** Dauer und Wandel der Lägerflora. *Vierteljahrsschr Nat.forsch Ges Zür* 136: 207–270.
- ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, ODERMATT O (2008A)** Waldschutzsituation 2007 in der Schweiz. *Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge* 63: 370–372.
- ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, WERMELINGER B (2008B)** Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. *Schweiz Z Forstwes* 159: 344–351. doi: 10.3188.szf.2008.0344
- EWALD K (1982)** Naturschutz und Forstwirtschaft. *Schweiz Z Forstwes* 133: 29–36.
- FLÜCKIGER P, DUELLI P (1997)** Waldränder – Zentren der Biodiversität. *Mitt Dtsch Ges allg angew Ent* 11: 119–123.
- FRANK G (2002)** Brutzeitliche Einnischung des Weissrückenspechts *Dendrocopos leucotos* im Vergleich zum Buntspecht *Dendrocopos major* in montanen Mischwäldern der nördlichen Kalkalpen. *Vogelwelt* 123: 225–239.
- GEHRIG-FASEL J, GUIASAN A, ZIMMERMANN NE (2007)** Tree line shifts in the Swiss Alps: Climate change or land abandonment? *J Veg Sci* 18: 571–582.
- HEINIGER U (2003)** Das Risiko eingeschleppter Krankheiten für die Waldbäume. *Schweiz Z Forstwes* 154: 410–414. doi: 10.3188.szf.2003.0410
- HOEBEE SE ET AL (2007)** Mating patterns and contemporary gene flow by pollen in a large continuous and a small isolated population of the scattered forest tree *Sorbus torminalis*. *Heredity* 99: 47–55.
- HOFER P (2008)** Holz-Nutzungspotenziale im Schweizer Wald auf Basis LFI3. Bern: Bundesamt Umwelt. 38 p.
- HOLDEREGGER R, DI GIULIO M (2007)** Grünbrücken funktionieren gut! Aber was heisst das? *Infbl Forsch.bereich Landsch* 66: 4–5.
- HONNAY O, JACQUEMYN H, BOSSUYT B, HERMY M (2005)** Forest fragmentation effects on patch occupancy and population viability of herbaceous plant species. *New Phytol* 166: 723–736.
- INGOLD P (2005)** Freizeitaktivitäten im Lebensraum der Alpentiere. Konfliktbereiche zwischen Mensch und Tier, mit einem Ratgeber für die Praxis. Bern: Haupt. 516 p.
- IPCC (2007)** Climate change 2007: Synthesis report of the IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge: Cambridge Univ Press. 104 p.
- KELLER V, ZBINDEN N, SCHMID H, VOLET B (2001)** Rote Liste der gefährdeten Brutvogelarten der Schweiz. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Vollzug Umwelt. 57 p.
- KÜFFER N, SENN-IRLET B (2005)** Influence of forest management on the species richness and composition of wood-inhabiting basidiomycetes in Swiss forests. *Biodivers Conserv* 14: 2419–2435.
- LAMBECK RJ (1997)** Focal species: a multi-species umbrella for nature conservation. *Conserv Biol* 11: 849–856.
- LEIMU R, MUTIKAINEN P, KORICHEVA J, FISCHER M (2006)** How general are positive relationships between plant population size, fitness and genetic variation? *J Ecol* 94: 942–952.
- LIMAT M, DUELLI P (2000)** Die Bedeutung von Ökoton-Strukturen an Waldrändern für die Überwinterung von Arthropoden. *Mitt Dtsch Ges allg angew Entomol* 12: 323–326.
- LINDENMAYER DB, FRANKLIN JF, FISCHER J (2006)** General management principles and a checklist of strategies to guide forest biodiversity conservation. *Biol Conserv* 131: 433–445.
- LOGAN JA, REGNIERE J, POWELL JA (2003)** Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Front Ecol Environ* 1: 130–37.
- MACARTHUR RH, WILSON EO (1967)** The theory of island biogeography. Princeton: Princeton Univ Press. 203 p.
- MARGULES CR, PRESSEY RL (2000)** Systematic conservation planning. *Nature* 405: 243–253.
- MARTIKAINEN P, SIITONEN J, PUNTTILA P, KAILA L, RAUH J (2000)** Species richness of Coleoptera in mature managed and old-growth boreal forests in southern Finland. *Biol Conserv* 94: 199–209.

- MAYER AC, HUOVINEN C (2007) Silvopastoralism in the Alps: Native plant species selection under different grazing pressure. *Ecol Eng* 29: 372–381.
- MEIER U (2007) Die Rolle des Energieholzes in der Waldpolitik beider Basel. *Schweiz Z Forstwes* 158: 201–205. doi: 10.3188.szf.2007.0201
- MOLLET P, HAHN P, HEYNEN D, BIRRER S (2005) Holznutzung und Naturschutz. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Schriftenreihe Umwelt 378. 52 p.
- MOSER D, GYGAX A, BÄUMLER N, WYLER N, PALESE R (2002) Rote Liste der gefährdeten Farn- und Blütenpflanzen der Schweiz. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 118 p.
- MURRI M (2003) Wald und Natur im Kanton Aargau. *Schweiz Z Forstwes* 154: 263–269. doi: 10.3188/szf.2003.0263
- NAEF-DAENZER B, BLATTNER M (1989) Die räumliche Verteilung waldbewohnender Vogelarten in Abhängigkeit von Waldstruktur und Schädigung. I. Eichenreiche Laubmischwälder der Region Basel. *Ornithol Beob* 86: 307–327.
- NOBIS M (2008) Invasive Neophyten auch im Wald? *Wald Holz* 89 (8): 46–49.
- NOSS RF, CSUTI B, GROOM MJ (2006) Habitat fragmentation. In: Groom MJ, Meffe GK, Carroll CR, editors. *Principles of conservation biology*. Sunderland: Sinauer Associates. pp. 213–251.
- PARMESAN C, YOHE G (2003) A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421: 37–42.
- PEINTINGER M, BERGAMINI A, SCHMID B (2003) Species-area relationships and nestedness of four taxonomic groups in fragmented wetlands. *Basic Appl Ecol* 4: 385–394.
- POSSINGHAM HP, WILSON KA, ANDELMAN SJ, VYNNE CH (2006) Protected areas. In: Groom MJ, Meffe GK, Carroll CR, editors. *Principles of conservation biology*. Sunderland: Sinauer Associates. pp. 509–551.
- PROJEKTLEITUNG WAP-CH, BHP-BRUGGER (2004) Waldprogramm Schweiz (WAP-CH). Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Schriftenreihe Umwelt 363. 117 p.
- PUTMAN RJ (1996) Ungulates in temperate forest ecosystems: Perspectives and recommendations for future research. *For Ecol Manage* 88: 205–214.
- QUINN JF, HARRISON SP (1988) Effects of habitat fragmentation and isolation on species richness: evidence from biogeographic patterns. *Oecologia* 75: 132–140.
- REBETEZ M, REINHARD M (2008) Monthly air temperature trends in Switzerland 1901–2000 and 1975–2004. *Theor Appl Climatol* 91: 27–34.
- REMMERT H, EDITOR (1991) The mosaic cycle concept of ecosystems. Berlin: Springer. 168 p.
- RIGLING A ET AL (2006) Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern. In: Wohlgemuth T, editor. *Wald und Klimawandel*. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen. pp. 23–33.
- ROBERGE J-M, ANGELSTAM P (2004) Usefulness of the umbrella species concept as a conservation tool. *Conserv Biol* 18: 76–85.
- SCHEIDEGGER C ET AL (2002) Rote Liste der gefährdeten baum- und erdbewohnenden Flechten der Schweiz. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 124 p.
- SCHERZINGER W (1996) Naturschutz im Wald. Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung. Stuttgart: Ulmer. 447 p.
- SCHIEGG K (1998) Totholz bringt Leben in den Wirtschaftswald. *Schweiz Z Forstwes* 149: 784–794.
- SCHNYDER N ET AL (2004) Rote Liste der gefährdeten Moose der Schweiz. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft, Vollzug Umwelt. 99 p.
- SCHÖNENBERGER W (1998) Adaptive silviculture in mountain forests in Switzerland. Seoul: Proc IUFRO Inter-Divisional Seoul Conf. pp. 142–147.
- SCHÖNENBERGER W (2001) Trends in mountain forest management in Switzerland. *Schweiz Z Forstwes* 152: 152–156.
- SCNAT (2008) Biodiversität und Klima – Konflikte und Synergien im Massnahmenbereich. Positionspapier. Bern: Akademie der Naturwissenschaften. 32 p.
- SENN-IRLET B (2008) Pilzkartierung Schweiz. Welches sind pilzreiche Holzarten? *Wald Holz* 89 (10): 57–59.
- SENN-IRLET B, BIERI G, EGLI S (2007) Rote Liste der gefährdeten Grosspilze der Schweiz. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Vollzug 0718. 92 p.
- SIMBERLOFF D (1998) Flagships, umbrellas, and keystones: is single-species management passé in the landscape area? *Biol Conserv* 83: 247–257.
- SKEW (2006) Falsche Akazie *Robinia pseudoacacia* L. Schweizerische Kommission für die Erhaltung von Wildpflanzen, Infoblatt. 2 p.
- SNÄLL T, HAGSTRÖM A, RUDOLPHI J, RYDIN H (2004) Distribution pattern of the epiphyte *Neckera pennata* on three spatial scales – importance of past landscape structure, connectivity and local conditions. *Ecography* 27: 757–766.
- SORK VL, SMOUSE PE, APSIT VJ ET AL (2005) A two-generation analysis of pollen pool genetic structure in flowering dogwood, *Cornus florida* (Cornaceae), in the Missouri Ozarks. *Am J Bot* 92: 262–271.
- SOULÉ ME (1987) Viable populations for conservation. Cambridge: Cambridge Univ Press. 189 p.
- STUBER M, BÜRGI M (2001) Agrarische Waldnutzungen in der Schweiz 1800–1950. Waldweide, Waldheu, Nadel- und Laubfutter. *Schweiz Z Forstwes* 52: 490–508. doi: 10.3188.szf.2001.0490
- SUTER W, GRAF RF, HESS R (2002) Capercaillie (*Tetrao urogallus*) and avian biodiversity: testing the umbrella species concept. *Conserv Biol* 16: 778–788.
- TEWS J ET AL (2004) Animal species diversity driven by habitat heterogeneity/diversity: the importance of keystone structures. *J Biogeogr* 31: 79–92.
- VON OHEIMB G, FRIEDEL A, BERTSCH A, HARDTLE W (2007) The effects of windthrow on plant species richness in a Central European beech forest. *Plant Ecol* 191: 47–65.
- VON WYL B ET AL (2006) Zur Revision des Waldgesetzes. Begrenztes Potential für den Kahlschlag im Schweizer Wald. *Wald Holz* 87 (12): 37–39.
- WALDWIRTSCHAFT SCHWEIZ (2003) 8 Thesen für eine zukunftsfähige Waldwirtschaft. Solothurn: Waldwirtschaft Schweiz. 16 p.
- WALDWIRTSCHAFT SCHWEIZ, SCHWEIZERISCHE ARBEITSGEMEINSCHAFT FÜR DIE BERGGEBIETE (2008) Positionspapier zum Gebirgswald. Solothurn: Waldwirtschaft Schweiz. 2 p.
- WALTHER GR (1999) Distribution and limits of evergreen broad-leaved (laurophyllous) species in Switzerland. *Bot Helv* 109: 153–167.
- WERMELINGER B, FLÜCKIGER PF, OBRIST MK, DUELLI P (2007) Horizontal and vertical distribution of saproxylic beetles (Coleoptera: Buprestidae, Cerambycidae, Scolytinae) across sections of forest edges. *J Appl Entomol* 131: 104–114.

- WERTH S ET AL (2006) Quantifying dispersal and establishment limitation in a population of an epiphytic lichen. *Ecology* 87: 2037–2046.
- WINKEL G (2008) Schutz von Wäldern ausserhalb von Schutzgebieten. Zur Rolle von Segregation und Integration im globalen Waldnaturschutz. *Nat Landsch* 83: 162–164.
- WINKEL G, SCHAICH H, KONOLD W, VOLZ KR (2005) Naturschutz und Forstwirtschaft: Bausteine einer Naturschutzstrategie im Wald. *Nat.schutz Biol Vielfalt* 11: 1–398.
- WITTENBERG R, EDITOR (2005) An inventory of alien species and their threat to biodiversity and economy in Switzerland. Bern: CABI Bioscience Switzerland, Centre report to the Swiss Agency for Environment, Forests and Landscape. 155 p.
- WOHLGEMUTH T, BUGMANN H, LISCHKE H, TINNER W (2006) Wie rasch ändert sich die Waldvegetation als Folge von raschen Klimaveränderungen? In: Wohlgemuth T, editor. *Wald und Klimawandel*. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch. anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen. pp. 7–16.
- WRIGHT DH, REEVES JH (1992) On the meaning and measurement of nestedness of species assemblages. *Oecologia* 92: 416–28.
- YOUNG A, BOYLE T, BROWN T (1996) The population genetic consequences of habitat fragmentation. *Trends Ecol Evol* 11: 413–41.
- ZIMMERMANN NE ET AL (2006) Wo wachsen die Bäume in 100 Jahren? In: Wohlgemuth T, editor. *Wald und Klimawandel*. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen. pp. 63–71.

## Konzepte, Instrumente und Herausforderungen bei der Förderung der Biodiversität im Wald

Schutz und Förderung der Biodiversität im Wald sind gesetzlich verankerte Verpflichtungen einer multifunktionalen Waldwirtschaft in der Schweiz. Bis anhin wurde versucht, diese Leistungen so weit wie möglich mit einer nachhaltigen und teilweise naturnahen Bewirtschaftung des Waldes und dem Schutz seltener Biotope und einzelner, gefährdeter Arten zu erbringen. Untersuchungen zeigen, dass dieses vorrangig integrative Vorgehen den umfassenden Schutz der 32 000 bekannten Arten des Schweizer Waldes, ihrer Gene und Lebensräume nicht gewährleisten kann. Die Defizite bei der Erhaltung und Förderung der Biodiversität sind der geringe Anteil an Waldreservaten, Altholzbeständen und Totholz, die vielen dichten und gleichaltrig aufgebauten Waldbestände und der hohe Anteil an linearen und unstrukturierten Waldrändern. Wälder ohne forstliche Nutzung wie Urwälder und Naturwaldreservate sowie Sonderwaldreservate mit Eingriffen zugunsten der Biodiversität machen zusammen weniger als fünf Prozent der Schweizer Waldfläche aus. Zudem fehlen Altholzbestände mit biologisch alten Bäumen in Wirtschaftswäldern praktisch vollständig. In diesem Artikel stellen wir die wichtigsten Konzepte und Instrumente (Segregation, Integration) für den Schutz und die Förderung der Waldbiodiversität vor. Weiter diskutieren wir die Herausforderungen bei der Erhaltung der biologischen Vielfalt unter Berücksichtigung des steigenden Bedarfs an Holz, der Klimaerwärmung und der Einwanderung von gebietsfremden, invasiven Arten. Für den zukünftigen Schutz und die Förderung der Biodiversität im Wald empfehlen wir eine Strategie, die vermehrt integrative und segregative Instrumente und Massnahmen verknüpft und mit Artenförderungsprojekten kombiniert. Zudem müssten die fachlichen Grundlagen erarbeitet werden, damit das sich erweiternde Netz der Waldreservate die Vielfalt der Lebensräume mit ihren zahlreichen Organismengruppen repräsentiert.

## Promouvoir la biodiversité en forêt: concepts, instruments et défis

La protection et la promotion de la biodiversité en forêt sont des obligations, ancrées dans la loi, d'une économie forestière multifonctionnelle en Suisse. Jusqu'à présent, elles furent assurées autant que possible par une gestion durable proche en partie de la nature, ainsi que par la préservation de biotopes rares et de certaines espèces menacées. Des études démontrent que cette approche principalement intégrative ne peut garantir la sauvegarde complète des 32 000 espèces connues de la forêt suisse, de leurs gènes et de leurs habitats. Les déficits dans la conservation et la promotion de la biodiversité sont dus au faible pourcentage de réserves forestières, de vieux peuplements et de bois mort, au grand nombre de peuplements denses et équiens, et à la proportion élevée de lisières linéaires et non structurées. Ainsi les forêts non exploitées comme les forêts vierges, les réserves forestières naturelles et les réserves forestières particulières caractérisées par des interventions en faveur de la biodiversité, totalisent moins de 5% de la surface forestière suisse. De plus, les vieux peuplements avec des arbres biologiquement âgés sont quasiment absents des forêts de production. Dans cet article, nous présentons les concepts et instruments les plus importants (ségrégation, intégration) utilisés pour protéger et promouvoir la diversité forestière. Nous débattons ensuite des défis que pose la conservation de la diversité biologique, sur fond de besoin croissant en bois-énergie, de réchauffement climatique et d'espèces exotiques envahissantes. Pour l'avenir, nous recommandons une stratégie qui associe des instruments et mesures intégratifs et ségrégatifs, et les combine avec des projets de promotion d'espèces. Il importe également de définir des bases spécialisées afin que le réseau grandissant de réserves forestières reflète la diversité des habitats avec la multiplicité de leurs groupes d'organismes.