

**Zeitschrift:** Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse  
**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein  
**Band:** 159 (2008)  
**Heft:** 10

**Artikel:** Klimawandel als waldbauliche Herausforderung  
**Autor:** Brang, Peter / Bugman, Harald / Bürgi, Anton  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1097905>

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 01.05.2026

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

# Klimawandel als waldbauliche Herausforderung

Peter Brang	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*
Harald Bugmann	Waldökologie, Institut für Terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich (CH)
Anton Bürgi	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Urs Mühlethaler	Waldökologie, Schweizerische Hochschule für Landwirtschaft (CH)
Andreas Rigling	Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)
Raphael Schwitter	Fachstelle für Gebirgswaldpflege (CH)

## Climate change as a challenge for silviculture

Climate change is about to change many site factors relevant for forest dynamics, and is therefore posing a great challenge for silviculture. We review the options for addressing this challenge and provide recommendations. In general, forest management should aim at increasing the adaptive capacity of the forests, enhancing their resistance to disturbance, and at reducing negative impacts of increased disturbances on forest products and services. The key to coping with climate change lies in enhancing the proportion of tree species adapted to future climate, and, in response to the uncertainties associated, in promoting the diversity of tree species and provenances. Additionally, fostering diversity in forest structure is likely to reduce risks and secure forest products and services. Strategic silvicultural options include mapping the sensitivity of sites and stands to climate change, adapting the target species compositions and choosing an appropriate silvicultural system. At an operational level, silvicultural options to increase tree species diversity include artificial regeneration, tending young stands, regeneration cuts and the reduction of ungulate impact. Other options are the premature final felling of stands and wildfire prevention. As the site conditions are undergoing change, the two cornerstones of close-to-nature silviculture "species selection based on (current) site conditions" and "preference for natural regeneration", need revision. A flexible approach to forest management is advocated since the reactions of the forest to climate change cannot be accurately predicted.

**Keywords:** silviculture, global climate change, forest management, adaptive capacity, resistance, tree species  
**doi:** 10.3188/szf.2008.0362

\* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail [brang@wsl.ch](mailto:brang@wsl.ch)

Als Folge des Klimawandels ändern sich wichtige ökologische Rahmenbedingungen für den Wald. Es ist anzunehmen – und erste Hinweise dafür bestehen bereits (Rigling et al 2004) –, dass die erwarteten ausgeprägteren und häufigeren Trockenperioden (Frei et al 2007) die Bäume schwächen, auch wenn sich dies auf mittleren Standorten im Zuwachs kaum zeigt (Zingg & Bürgi 2008, in diesem Heft), und sie anfälliger für Schadinsekten wie den Borkenkäfer machen (Engesser et al 2008, in diesem Heft). Zudem dürften sie die Waldbrandgefahr erhöhen, und zwar zunehmend auch auf der Alpennordseite (Schumacher et al 2006). Auch pathogene Organismen dürften häufiger auftreten oder virulenter werden (Engesser et al 2008). Insgesamt besteht ein Trend zu häufigeren und intensiveren Störungsereignissen. Umgekehrt dürfte die Temperaturerhöhung in den höheren Lagen die Wuchsbedingungen verbessern (Jolly et al 2005).

Wie soll nun der Bewirtschafter waldbaulich mit dem Klimawandel umgehen? In diesem Aufsatz beschreiben wir Handlungsoptionen, bewerten de-

ren Wirksamkeit und leiten daraus vorläufige, allgemeine Empfehlungen ab, die für alle Standorte und Waldbauziele gültig sind. Vor spezifischen Waldbau Rezepten für bestimmte Standorte möchten wir hingegen angesichts der grossen Unsicherheiten warnen.

Bezüglich Klimawandel gehen wir von den Trends aus, die in den heute wahrscheinlichsten Szenarien A1 und B2 des Uno-Klimarates (IPCC) bis ins Jahr 2080 erwartet werden, mit einer mittleren Erwärmung um 3.4–6.1 °C (IPCC 2007). In der Schweiz dürfte die Niederschlagsmenge im Winter um zirka 20% zunehmen, im Sommer um 5% abnehmen (Frei et al 2007). Eine genauere Festlegung des zugrunde gelegten Szenarios ist für waldbauliche Empfehlungen nicht zweckmässig; vielmehr muss der Waldbau berücksichtigen, dass es unsicher ist, welches Szenario eintreffen wird.



*Abb 1 Aronstab-Buchen-Mischwald (Aro-Fagetum) im Frühjahr. Der Klimawandel dürfte auch diesen Standort wärmer und trockener machen.*

### **Das Ziel: anpassungsfähige und störungsresistente Wälder**

Der Standort (Klima, Boden, weitere Standortfaktoren) bestimmt die natürliche Waldgesellschaft und das Störungsregime (Pickett & White 1985). Daraus ergibt sich die standortseigene Walddynamik mit den Teilprozessen Verjüngung, Wachstum und Mortalität. Falls ein Wald aufgrund der natürlichen Abläufe die vom Menschen gewünschten Güter und Leistungen nicht in genügendem Ausmass produzieren beziehungsweise erbringen kann, wird waldbaulich eingegriffen (Burschel 1994).

Bei der Lenkung der Waldentwicklung ist immer mit erheblichen Unsicherheiten zu rechnen. Der Anteil der Schadholzmengen an der gesamten Holznutzung im Schweizer Wald, als Indikator für die Steuerbarkeit der Waldentwicklung, lag von 1982 bis 2006 bei durchschnittlich 27% (Schweizerische Forststatistik und schriftliche Mitteilung von Franz Meier, WSL). Dieser Anteil der Holzmenge wurde also nicht aufgrund der Planung, sondern als Reaktion auf Störungen genutzt oder im Wald stehen oder liegen gelassen. Erhöhte Störungsniveaus treten oft bei starken Abweichungen von der natürlichen Waldentwicklung auf. Beispiele dafür sind die höhere Sturm- und Borkenkäferanfälligkeit von reinen Fichtenbeständen in der Buchenwaldstufe und manche Misserfolge mit exotischen Baumarten in der Schweiz (Bürgi & Diez 1986, Schwager 1979). Aber auch in Urwäldern der gemässigten Zone ist mit durchschnittlichen jährlichen Störungsraten von 0.5 bis 2.0% der Waldfläche zu rechnen (Runkle 1985). Unplanbare Einflüsse durchkreuzen die Absichten des Bewirtschafters also immer erheblich, und die Entwicklungen im Ökosystem Wald sind somit nur begrenzt steuerbar.

In vielen Wäldern dürfte die Klimaänderung im jetzt prognostizierten Ausmass wesentliche Standortfaktoren (Bolte & Ibisch 2007) und über sie die Prozesse der Verjüngung, des Wachstums und der Mortalität der Waldbäume verändern. Diese Standortveränderung (Abbildung 1) ist neu und nicht nur für den Wald, sondern auch für die Bewirtschaftenden einschneidend. Denn sowohl im Nichtschutzwald (z.B. Schmider et al 1994) als auch in Schutzwäldern (Frehner et al 2005) sind heute die waldbaulichen Empfehlungen nach als konstant betrachteten Standorteinheiten gegliedert. Mit dem Klimawandel wird sich zudem auch das standortspezifische Vorbild der Waldstruktur verändern, das sich im naturnahen Waldbau teilweise an die verbliebenen Urwaldreste anlehnt (Brang 2005). Auch diese werden sich wandeln und damit als quasistatische Referenzen verloren gehen.

Der Wald und seine Bewirtschaftung müssen sich also an den Klimawandel anpassen. Langfristig wird auf vielen Standorten ein Baumartenwechsel nötig. Daher ist die Anpassungsfähigkeit (Gunder-son 2000) der Waldökosysteme wichtig. Diese Anpassung kann einerseits durch natürliche Prozesse erfolgen, zum Beispiel durch die Verschiebung der Konkurrenz, aber auch durch abiotische oder biotische Störungen (Wohlgemuth et al 2008, Engesser et al 2008, beide in diesem Heft), welche eine Anpassung erzwingen. Andererseits kann im Zuge geplanter waldbaulicher Eingriffe, vor allem bei der Verjüngung, die Anpassung unterstützt oder gar vorweggenommen werden. Dies ist besonders dann vorzuziehen, wenn die natürlichen Prozesse die von den Menschen erwarteten Leistungen des Waldes gefährden (z.B. den Schutz vor Naturgefahren). Es ist aber auch möglich, die Anpassung hinauszuzögern, indem man mit waldbaulichen Eingriffen Wälder resistenter zu machen versucht, sodass sie Störungsereignisse ohne wesentliche Veränderung überstehen (Grimm & Wissel 1997) und so später als geplant verjüngt werden können. Das Konzept der «Resilienz» hingegen, d.h. der Fähigkeit, nach einer Störung wieder in den Ausgangszustand zurückzukehren (Grimm & Wissel 1997), kann auf diesen Fall nicht sinnvoll angewendet werden, denn die Rückkehr in den Ausgangszustand vor der Störung ist mindestens bezüglich einiger Waldeigenschaften (z.B. Artengarnitur) kaum möglich und daher als Ziel unrealistisch. Vielmehr sollte sich ein Wald entwickeln, der an das Klima der folgenden 50 bis 200 Jahre angepasst ist.

Die waldbaulichen Handlungsoptionen als Reaktion auf die Klimaänderung lassen sich in fünf Kategorien einteilen (vgl. Millar et al 2007):

- 1) den jetzigen Waldbau unverändert weiterführen,
- 2) mit waldbaulichen Massnahmen die Klimaänderung selbst vermindern,
- 3) die Anpassungsfähigkeit des Waldes gegenüber Standortveränderungen erhöhen,

- 4) die Resistenz des Waldes gegenüber Störungen erhöhen,  
 5) die negativen Auswirkungen von Störungen auf Produkte und Leistungen des Waldes für den Menschen vermindern.

Die ersten zwei Handlungskategorien verwenden wir von vornherein, die erste, weil sie angesichts des Ausmasses des Klimawandels unvernünftig scheint, die zweite, weil sie, zumindest in einem kleinen Land wie der Schweiz, unwirksam sein dürfte.

### Auslegeordnung waldbaulicher Handlungsoptionen

Der waldbauliche Werkzeugkasten enthält eine Reihe waldbaulicher Handlungsoptionen (Tabelle 1). Wir unterteilen sie in strategische Optionen (z.B. die Anpassung der Bestockungsziele) und in operative Optionen (z.B. Massnahmen der Jungwaldpflege).

#### Sensitivitätsklassierung von Beständen und Waldstandorten

Eine Sensitivitätsklassierung von Beständen und Standorten (Waldgesellschaften) ist eine wichtige Grundlage für die waldbauliche Planung. Sie bezweckt, mögliche Störungen früh zu erkennen, indem das Monitoring bei grosser Störungsanfälligkeit besonders intensiv durchgeführt wird, die weiter unten beschriebenen Vorsorgemassnahmen richtig zu priorisieren und im Störfall rasch handeln zu können (Riou-Nivert 2007). Die Klassierung könnte grob sein, zum Beispiel mit den drei Katego-

rien sehr anfällig, anfällig, robust. Ob die Störungen primär mit dem Klimawandel zu tun haben, spielt dabei keine Rolle. Ein Bestand einer nur wenig trockenheitsresistenten Baumart auf einem bereits heute trockenen Standort würde zum Beispiel als sehr anfällig klassiert. Das Resultat einer Sensitivitätsklassierung könnten Karten mit Waldflächen sein, die besonders beobachtet werden sollten, auf denen ein Baumartenwechsel nötig ist oder die rasch umgewandelt werden sollten (Riou-Nivert 2007). Die Sensitivitätsklassierung könnte auch die Bedeutung der Waldwirkung einbeziehen. Eine Sensitivitätsklassierung wäre rasch flächendeckend umgesetzt und wirksam, denn wichtige Grundlageninformationen – Standorts- und Bestandeskarten – sind vielerorts vorhanden.

#### Anpassung des Bestockungsziels

Das Bestockungsziel ist zusammen mit der Betriebsart (Niederwald, schlagweiser und ungleichförmiger Hochwald etc.) und der Verjüngungsform (z.B. Femelschlag) die wichtigste strategische Festlegung der Waldbewirtschaftung. Die heutigen Bestockungsziele müssen angesichts des Klimawandels überdacht werden. Zentral ist dabei eine bessere Risikoverteilung (Knoke & Hahn 2007) mit einer höheren Anzahl Baumarten.

Die klimatischen Ansprüche von Baumarten lassen sich mit sogenannten Klimahüllen darstellen (Guisan et al 2007, Kölling et al 2007), also realisierten oder potenziellen Klimabereichen und weiteren Standorteigenschaften, beispielsweise der Wasserspeicherkapazität des Bodens. Daraus kann man abschätzen, ob Baumarten wegen des Klimawandels Areale verlieren oder gewinnen dürften. Ein anderer Ansatz ist die Simulation mit dynamischen Modellen: Mit ihnen können langfristige Gleichgewichtszustände der Baumartenzusammensetzung bei wärmerem Klima abgeleitet werden (Zimmermann & Bugmann 2008, in diesem Heft). Zudem kann die Entwicklung der Waldstruktur und -zusammensetzung während des Klimawandels abgeschätzt werden (Bugmann 1997, Lindner et al 2000). Beide Ansätze zeigen für den erwarteten Klimawandel erhebliche Verschiebungen in der Verbreitung einzelner Arten und in den Mischungen an. Sie weisen damit auf die Notwendigkeit hin, die Bestockungsziele anzupassen. Man könnte dabei von eigentlichen neuen Baumartenportfolios sprechen. Für die Schweiz haben Zimmermann et al (2006) die Auswirkungen des Klimawandels auf eine Reihe von Baumarten untersucht. Demnach sind für die meisten Baumarten starke Arealverschiebungen zu erwarten, wobei sich vor allem die Eichenarten stark ausbreiten dürften. Die Areale vieler anderer Baumarten dürften hingegen stark zurückgehen und sich oft nur noch wenig mit den heutigen Arealen überlappen (Zimmermann & Bugmann 2008, in diesem Heft).

Handlungsoption	Ziele		
	Förderung der Anpassungsfähigkeit	Erhöhung der Resistenz	Verminderung negativer Auswirkungen
<b>Strategische Optionen</b>			
Sensitivitätsklassierung von Beständen/Standorten	m	k	k
Anpassung der Bestockungsziele	m	l	l
Wahl von Betriebsart und Verjüngungsform	m	l	
<b>Operative Optionen</b>			
Pflanzung/Saat	m	l	
Jungwaldpflege	m	l	
Durchforstung	m	k	
Verjüngungshiebe	m		
Vorzeitige Nutzung		k	k
Feuerschneisen, Reduktion Brandgut		k	k
Reduktion Wildeinfluss	k	l	

Tab 1 Waldbauliche Handlungsoptionen, zugeteilt zu Zielen. Zeitdauer, bis Wirkung eintritt: k: kurzfristig (< 20 Jahre), m: mittelfristig (20–50 Jahre), l: langfristig (> 50 Jahre).



**Abb 2** Traubeneichen-Buchen-Bestand bei Osterfingen, Kanton Schaffhausen (Naturwaldreservat Steibruchhau). Bei Analogieschlüssen von solchen Trockenstandorten auf heute noch feuchtere Waldgesellschaften ist Vorsicht geboten.



**Abb 3** Standortheimische Fichtenjungpflanze im trocken-warmen Sommer 2003 in einer Bestandeslücke bei Ruschein, Kanton Graubünden.

Dass Artengemeinschaften als Ganze geografisch wandern werden, ist unwahrscheinlich. Gewisse Analogieschlüsse von Beständen in heute trocken-warmen Waldgesellschaften oder Regionen (Abbildung 2) auf solche in feucht-kühlen können zwar gezogen werden (Mühlethaler 2008), womit sich die zu erwartenden Artengemeinschaften und Standortverhältnisse schon jetzt näherungsweise untersuchen lassen. Bei solchen Übertragungen ist aber Vorsicht geboten, gerade für die Übergangsphase. Zumindest vorübergehend dürften sich, aufgrund der unterschiedlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit der Arten, neue Gemeinschaften bilden.

Überraschungen können sich auch ergeben, wenn Pathogene auftreten. Weiterhin ist zu beachten, dass das zukünftige Klima unter Umständen heute kein Pendant besitzt (z.B. bezüglich Klimavariabilität); in solchen Fällen lässt sich die Reaktion der Baumarten aufgrund von Analogieschlüssen nicht gut abschätzen.

Ein Bestockungsziel ist rasch umgeschrieben, doch seine Umsetzung im Wald dauert viele Jahrzehnte, ausser sie werde durch Störungen in nicht zielkonformen Beständen beschleunigt. Zur Umsetzung eines neuen Bestockungsziels sind Verjüngungshiebe, Kunstverjüngung und Jungwaldpflege am wirksamsten.

Beim Bestockungsziel ist das Kriterium «standortheimisch» noch stärker als bisher zu hinterfragen (Abbildung 3). Schon bis anhin stellte sich die Frage, welcher historische Zustand herangezogen wird, um eine Baumart als standortheimisch zu deklarieren, denn in den letzten 10000 Jahren waren auf den meisten Standorten schon mehrere Baumarten standortheimisch (Burga & Perret 1998). Zudem ist infolge der weit verbreiteten Pflanzungen der letzten rund 150 Jahre oft unklar, ob eine Provenienz tatsächlich standortheimisch war. Standortheimische Baumarten haben in dem Sinn weiterhin ihre Bedeutung, dass autochthone Provenienzen erhalten werden sollen – wobei diese zum Teil an andere Orte, zum Beispiel um einige Hundert Meter nach oben, verschoben werden müssen.

Ein striktes Festhalten an standortheimischen Baumarten schränkt den Spielraum bei der Baumartenwahl ein. Wenn sich ein Standort verändert, eignen sich auf ihm auch zunehmend andere Baumarten – einerlei, ob sie vorher heimisch waren oder nicht. Die Baumarten müssen aber standortgerecht sein, d.h., sie müssen sich unter den Standortbedingungen gut entwickeln und natürlich verjüngen können und sie dürfen den Standort nicht schädigen. Wo eine Baumart an ihre ökologische Grenze kommt, wie die Föhre im Zentralwallis (Rigling et al 2004), ist nach Alternativen zu suchen, d.h. nach anderen Provenienzen oder Baumarten.

In diesem Zusammenhang sind auch exotische Baumarten ohne Tabus zu bewerten. Für jede Baumart, sei sie in der Region heimisch oder nicht, sind die Chancen und Risiken unvoreingenommen zu beurteilen. Bei Exoten ist vor allem wegen pathogenen Pilzen und Insekten besonderer Respekt nötig, und Reinbestände oder erhebliche Anteile am Bestockungsziel sind riskant. Diesbezüglich können aber auch heimische Baumarten für negative Überraschungen sorgen, wie das Ulmensterben gezeigt hat. Schliesslich sollte nicht vergessen gehen, dass wir in Mitteleuropa mehr waldbauliche Erfahrungen mit gewissen Exoten wie der Douglasie haben als mit wenig häufigen Mischbaumarten wie der Elsbeere. In einer Abwägung kann aber auch ins Ge-



**Abb 4** Baumartenvielfalt: Stieleiche, Esche und Salweide auf einer Sturmfläche bei Bonfol, Kanton Jura.

wicht fallen, dass exotische Baumarten oft aus Sicht des Naturschutzes negativ zu bewerten sind (Gossner & Utschick 2003).

Genetische Eigenschaften der Baumarten, besonders die genetische Vielfalt und die phänotypische Plastizität als Mass, in dem der Phänotyp eines Organismus durch seinen Genotyp vorherbestimmt ist, gewinnen an Bedeutung. Da die Unsicherheit bezüglich der Klimaentwicklung gross ist, muss in Zukunft stärker auf genetische Vielfalt geachtet werden, zum Beispiel durch Beimischung von Provenienzen von Standorten mit heute schon wärmerem oder trockenerem Klima (Ledig & Kitzmiller 1992). Dabei ist allerdings mit Zuwachsverlusten und klimatischen Risiken (Fröste) zu rechnen. Zu beachten ist zudem, dass ein grosser Teil der genetischen Vielfalt bei Bäumen bereits auf Bestandesniveau auftritt (Stahl & Koski 2000). Es ist also gut möglich, dass Mischungen aus verschiedenen Provenienzen genetisch gar nicht wesentlich vielfältiger sind als Bestände aus einer einzelnen Provenienz.

Bei der Wahl der Baumarten sind solche mit kurzer Umtriebszeit (Produktionszeitraum) bei unsicherer Klimaentwicklung tendenziell zu bevorzugen. Denn falls sich herausstellen sollte, dass eine Baumart die eintretenden Belastungen nicht gut verträgt, ist bei kurzer Umtriebszeit eine Umstellung auf andere Baumarten rascher und mit kleineren ökonomischen Verlusten möglich.

Das Bestockungsziel ist auch mit der Frage der Mischungsart verknüpft: Sollen Baumarten in einem Bestand einzeln, truppweise (5–20 Aren) oder horstweise (20–50 Aren) gemischt werden? Oder reicht die Mischung in ganzen Landschaftskammern? Bis jetzt wurde diese Frage vor allem aufgrund des Kon-



kurrenzverhaltens der Baumarten beantwortet. Einzelmischungen im Hauptbestand wurden dann empfohlen, wenn keine Baumart dominiert (Schütz 1990, Von Lüpke 2004; z.B. Buche–Fichte–Tanne oder Ahorn–Esche–Kirschbaum), sonst wurden Baumarten räumlich getrennt. Wo eine dauernde Bestockung wichtig ist, legt der Grundsatz der Risikoverteilung nun nahe, einzel- und truppweise Mischungen und auch vertikale Mischungen (Hauptbestand, Nebenbestand) stärker als bisher zu verwenden. Im Zweifelsfall ist die feinere Mischungsart zu wählen und eine (heute) konkurrenzschwache Baumart zu erhalten. Dabei dürften sich die Konkurrenzverhältnisse längerfristig verändern; jetzt noch oft zurückbleibende Baumarten wie die Eiche könnten zum Beispiel bei häufigerem Trockenstress heute dominanten wie der Buche ebenbürtig werden.

Bis eine Baumart durch eine andere vollständig ersetzt ist, dauert es grundsätzlich eine Umtriebszeit, d.h. bei den heute verwendeten Baumarten in der Regel über 100 Jahre. Dieser Prozess kann aber durch Störungen, die Nutzung einer unerwünschten Baumart vor Erreichen ihrer Umtriebszeit und durch die Mischungsregulierung bei Jungwald-



**Abb 5** Tannenverjüngung unter Schirm. Unterägeri, Kanton Zug.

pflge und Durchforstungen beschleunigt werden. Konkrete Hinweise für die mögliche Geschwindigkeit von Baumartenwechseln geben die Veränderungen zwischen dem ersten und dem zweiten Landesforstinventar: In der Region Mittelland nahm zum Beispiel in dieser Zeit der Volumenanteil der Föhre um 11% ab und derjenige des Bergahorns und der Esche um 22% zu, bei Anteilen unter 5% (Brassel & Brändli 1999).

#### **Wahl von Betriebsart und Verjüngungsform**

Von strategischer Bedeutung ist der Entscheid, ob der Wald im Femelschlagsystem oder im Dauerwaldbetrieb (mit den Unterformen Plenterwald, Gruppenplenter- und Gebirgsplenterwald) bewirtschaftet wird. Der Dauerwald begünstigt Schatten- und Halbschattenbaumarten wie Buche, Tanne und Fichte, da diese sich auch mit wenig Licht verjüngen können, sei es in kleinen Bestandeslücken oder unter Schirm (Schütz 1992, 1999a, Von Lüpke 2004). Sollen lichtbedürftige Baumarten erhalten oder gefördert werden, sind meist wiederholte Pflegeeingriffe nötig, zum Beispiel zugunsten von Eichen. Die grössere Amplitude der Licht- und Wasserverhält-

nisse im Femelschlagsystem erleichtert es, für Baumarten mit unterschiedlichen Ansprüchen Nischen zu schaffen und so die Baumartenvielfalt zu fördern (Abbildung 4). Im Dauerwald ist es zudem auch schwieriger, schon jetzt ökologische Nischen für trockenstressresistente Baumarten und Provenienzen zu schaffen und zu deren Erhaltung die natürliche Selektion zu nutzen.

Der Unterschied zwischen den Betriebsarten alleine ist aber nicht ausschlaggebend. Er muss zusammen mit anderen, zum Beispiel ökonomischen Unterschieden bewertet werden. Dabei ist zu beachten, dass bei jedem System infolge von Störungen zunehmend grössere Freiflächen entstehen dürften. Die Erfahrung zeigt, dass solche im Dauerwald seltener vorkommen, auch wenn dies bisher in wissenschaftlichen Studien nicht überzeugend quantifiziert werden konnte (Dobbertin et al 2002, Dvorák et al 2001). So könnte die kleinflächige Strukturdiversität im Dauerwald die Ausbreitung von Pathogenen behindern. Zudem wird im Dauerwald räumlich gut verteilt die Verjüngung in Wartestellung unter Schirm oder in kleinen Lücken gefördert (Abbildung 5), was die Geschwindigkeit der Wiederbewaldung nach einer Störung erhöht. Solche Vorverjüngungen sind auch im Femelschlag möglich.

Die Wiederbewaldung grosser Kahlflächen nach Störungen bietet die Gelegenheit, innere Wald-ränder anzulegen und so die Sturmgefährdung zu vermindern. Möglich ist das auch bei geplanter Verjüngung durch sogenannte Freihiebe.

#### **Kunstverjüngung**

Aus den Vorteilen der Naturverjüngung – geringe Begründungskosten, weniger Wildverbiss, keine Wurzeldeformationen – wurde in den letzten zwei Jahrzehnten beinahe ein Zwang zur Naturverjüngung. In der Schweiz bestehen zwar aufgrund des naturnahen Waldbaus und der ausgeprägten Höhengradienten gute Voraussetzungen, durch Naturverjüngung eine grosse Baumartenvielfalt zu erreichen. Wir können aber nicht davon ausgehen, dass die Baumarten über die natürliche Verbreitung mit dem Klimawandel Schritt halten können. Die Beimischung von Baumarten und Provenienzen von wärmeren Standorten zur Naturverjüngung ist deshalb eine wichtige waldbauliche Handlungsoption, mit der sich die Anpassung beschleunigen und die Diversität erhöhen lässt.

#### **Jungwaldpflege**

Die Jungwaldpflege ist die letzte Gelegenheit, die Baumartenzusammensetzung eines Bestandes noch stark zu verändern. Wegen der starken Rationalisierung der Jungwaldpflege (Ammann 2005) spielt im Jungwald zunehmend die natürliche Selektion: Die konkurrenzstarken Baumarten setzen sich durch, die anderen fallen aus (Abbildung 6; Von



**Abb 6** Buchendickung auf einer Lothar-Sturmfläche bei Diessenhofen, Kanton Thurgau. Die Entwicklung eines Buchenreinbestandes ist auch mit Pflegeeingriffen kaum mehr zu verhindern.

Lüpke 2004). Ohne Jungwaldpflege sind trockenheitsresistentere Baumarten unter einem heute noch kühl-feuchten Klima benachteiligt, so zum Beispiel die Eiche gegenüber der Buche (Mühlethaler et al 2008, Otto 2008). Die Jungwaldpflege wird daher zur Erhaltung solcher Baumarten und der Baumartenvielfalt insgesamt wieder wichtiger. Allfällige Zusatzaufwendungen in der Jungwaldpflege zugunsten einer grösseren Baumartenvielfalt sind die Versicherung für den Fall, dass eine Baumart ausfällt.

#### **Durchforstung**

Mit Durchforstungen lassen sich, allerdings in geringerem Ausmass als mit der Jungwaldpflege, konkurrenzschwächere Baumarten erhalten. Auch lässt sich der Produktionszeitraum erheblich verkürzen (Hein 2007), was beispielsweise die Störungsanfälligkeit der Bestände gegenüber Sturm reduziert. Ihr Haupteffekt im Zusammenhang mit dem Klimawandel ist aber eine gewisse Erhöhung der individuellen Störungsresistenz gegenüber Sturm und Schneelast und die Verbesserung der Vitalität der Bäume.

Durchforstungen sind vor allem in jüngeren Beständen wirksam, bei Laubbäumen wie der Buche aber auch noch später. Bei wenig Niederschlag lässt sich mit Durchforstungen oder einer Reduktion der Kraut- und Strauchschicht allenfalls auch Trockenstress vermindern (Allen & Breshears 1998).

#### **Verjüngungshiebe**

Über die Gestaltung der ökologischen Bedingungen kann die Baumartenzusammensetzung in der Verjüngung – vor allem im Femelschlagssystem – stark beeinflusst werden. Bisher geschah dies vorwiegend über eine Steuerung der Lichtverhältnisse. In Zukunft sollte auch vermehrt die Wasserversorgung durch Grösse und Exposition von Hieben gesteuert werden: Die Konkurrenzkraft trockenheitsresistenter Baumarten könnte so erhöht werden. Eichen dürften zum Beispiel gegenüber Buchen konkurrenzfähiger sein auf einer Schlagfläche, die an einem nach Südost statt nach Ost oder Nordost gerichteten Schlagrand liegt. Dabei sind Vitalitätsprobleme an Schlagrändern zu beach-

ten. Zudem könnte die Baumartendiversität durch vielfältige Hiebsarten und Expositionen der Schlagflächen erhöht werden. Im Gebirgswald sind hier allerdings die Einschränkungen grösser, da auf grossen Schlagflächen starke Vegetationskonkurrenz und teilweise auch oberflächliche Austrocknung die Verjüngung erschweren können.

Mit den Verjüngungshieben geht es also heute viel mehr als in der Vergangenheit darum, nicht nur eine Verjüngung zu erhalten, sondern die Baumartenzusammensetzung gezielt zu lenken, um den Jungwald an das Klima anzupassen und langfristig auch die Störungsresistenz der Wälder zu verbessern. Ungeschickte Verjüngungshiebe können aber auch die heutige Baumartenzusammensetzung für die nächste Baumgeneration zementieren.

#### **Vorzeitige Nutzung**

Bei stark gefährdeten Beständen, beispielsweise Fichtenreinbeständen auf trockenen Schotterböden im Mittelland, sind eine vorzeitige Nutzung derselben und ein anschliessender Baumartenwechsel zu prüfen. Eine solches Vorgehen verhindert die Holzentwertung durch Störungen.

#### **Feuerschneisen und Reduktion des Brandguts**

Auf der Alpennordseite besteht erst wenig Erfahrung mit waldbaulichen Massnahmen zur Reduktion der Brandgefahr wie Feuerschneisen, Baumartenwahl und dergleichen. Wie wirksam solche Massnahmen im Vergleich zu organisatorischen und legislativen Massnahmen (Conedera et al 2004) sind, ist vorerst in den bereits heute gefährdeten Regionen der Schweiz (Alpensüdseite, Wallis) weiter zu erproben. Dabei könnte ein Nutzungskonflikt zwischen Naturschutz und anderen Waldleistungen entstehen, denn das Belassen von Totholz, insbesondere nach Flächenwürfen, erhöht die Brandgefährdung (Buwal 2000).

#### **Reduktion des Wildeinflusses**

Für die Änderung der Baumartenzusammensetzung ist die Verjüngungsphase sehr wichtig. Die gewünschte Selektion zugunsten trockenheitstoleranter Baumarten und höherer Vielfalt widerspricht oft der Selektion durch das Schalenwild, zum Beispiel bei der Weissstanne und bei den Eichen- und Edellaubholzarten. Künftig dürften mehr Anstrengungen zum Schutz der Verjüngungen oder zur Regelung der Wildtierdichte nötig werden, weil mehr gepflanzt werden wird und weil gepflanzte Bäume oft häufiger verbissen werden als natürlich verjüngte (Reimoser & Gossow 1996). Häufigere, flächige Störungsereignisse könnten das Äsungsangebot und damit auch die Wildlebensräume verbessern, sie können aber auch zu Populationszunahmen führen.

## **Massnahmenbewertung**

Von den oben beschriebenen Massnahmen wirken viele erst langfristig. Es dauert viele Jahrzehnte, die Störungsresistenz des Waldes zu erhöhen; etwas kürzer, seine Anpassungsfähigkeit an ein verändertes Klima zu erhöhen. Am raschesten ist es möglich, negative Auswirkungen der Klimaänderung zu begrenzen (Tabelle 1). Der Wald ist also wie ein träger Ozeandampfer, der seinen Kurs erst lange nach der ersten Drehung am Steuerrad merklich ändert. Daher sind die meisten Massnahmen angesichts der grossen Unsicherheiten nicht dringlich; einige Jahre früher oder später sind nicht entscheidend. Wir raten daher von sofortigen Änderungen der waldbaulichen Praxis ab, wenn diese nur wegen des Klimas erfolgen würden. Angesichts des Ausmasses der erwarteten Klimaänderung und von deren Folgen für den Wald und seine Produkte und Leistungen ist es aber wichtig, jetzt Strategien für einen an den Klimawandel angepassten Waldbau zu erarbeiten und diese danach auch umzusetzen.

Kurzfristig wirksam sind eine Sensitivitätsklassierung der Bestände und Standorte sowie die vorzeitige Nutzung stark gefährdeter Bestände. Der Schwerpunkt der übrigen Massnahmen liegt bei solchen, welche die Baumartenzusammensetzung ändern: Die Anpassung des Bestockungsziels, Kunstverjüngung, Jungwaldpflege, Verjüngungshiebe und die Reduktion des Wildeinflusses sind alle darauf ausgerichtet. Die Baumart ist der Schlüssel zur Störungsresistenz von Wäldern und zu ihrer Anpassungsfähigkeit. Auch die Wahl der Betriebsart und Verjüngungsform ist diesbezüglich wichtig.

Solange nicht klar ist, wie neue standortspezifische Bestockungsziele aussehen, sind die waldbaulichen Massnahmen flächendeckend auf die generelle Förderung der Baumarten- und Provenienzvielfalt auszurichten (Abbildung 3; Knoke & Hahn 2007, Knoke et al 2008, Von Lüpke 2004). Dies erhöht die Fähigkeit des Waldes, sich selbst an die Klimaerwärmung anzupassen. Konkret sollten nur in geringen Anteilen vorhandene Baumarten bei Eingriffen der Jungwaldpflege gefördert werden, besonders wenn sie sich schwer natürlich verjüngen, eher trockenheitsresistent sind und ohne Eingriff durch konkurrenzstarke Baumarten ausgeschaltet würden. Förderungswürdig sind zum Beispiel auf Standorten mit schlechter bis mittlerer Wasserversorgung Waldföhre, Douglasie, Trauben-, Stiel- und Flaumeiche, Spitzahorn und Feldahorn, Mehlbeere, Elsbeere, Feldulme, Kirschbaum, Birke, Esche, Winterlinde, Aspe, Edelkastanie und Nussbaum. Es scheint uns aber zurzeit gefährlich, diese und weitere Baumarten generell zu empfehlen. Solche Empfehlungen müssten standortspezifisch sein, wozu es noch vertiefter Studien und experimenteller Forschungsarbeiten bedarf. Im Gebirgswald muss das Ziel sein,

Abb 7 Trupppflanzung mit Douglasie auf einer Windwurffläche bei Bülach, Kanton Zürich. Naturverjüngung wird für eine vielfältige Baumartenmischung sorgen.



die Vorherrschaft der Fichte zu reduzieren. Dazu sind alle anderen standortgerechten Baumarten zu fördern, insbesondere an den oberen Grenzen ihrer Höhenverbreitung.

Auch Ergänzungspflanzungen (Abbildung 7) sind zur Erhöhung der Baumartenvielfalt geeignet. Die Naturverjüngung heute konkurrenzschwächerer Baumarten wie auch ihr Einbringen über Kunstverjüngung dürften am besten gelingen, wenn für die jungen Bäume Verhältnisse geschaffen werden, unter denen sie heute schon konkurrenzfähig sind. Darunter fallen beispielsweise grössere Jungwaldflächen mit trocken-warmen Bedingungen, wie sie vor allem nach Störungen entstehen.

Diese Bewertung der Handlungsoptionen ist überwiegend identisch mit Bewertungen aus der Forstpraxis (Stocker et al 2007, Schmider 2007, Kantonsforstamt St. Gallen 2008). Gegenüber den Empfehlungen von Stocker et al (2007) besteht eine erste Differenz bei Kahlflächen, die wir zur Erhöhung der Baumartenvielfalt nutzen würden. Eine weitere Differenz betrifft die Bedeutung der Naturverjüngung. Diese schränkt die Vielfalt der Provenienzen und Baumarten ein – genau wie die ausschliessliche Kunstverjüngung. Daher befürworten wir Ergänzungspflanzungen mit entsprechenden Massnahmen zum Schutz der Pflanzen vor Wildverbiss respektive mit gezielter Wildregulierung. Eine dritte Differenz betrifft die Bedeutung von Eingriffen, welche die Kronenlänge der Bäume erhalten oder vergrössern und damit deren Vitalität und Störungsresistenz verbessern sollen. Wir sind eher skeptisch, was die Wirksamkeit solcher Eingriffe betrifft, denn dazu gibt es wenige wissenschaftliche Hin-

weise (Dobbertin 2002), zumindest für Tieflagenwälder. Die Schneebruchgefahr (Rottmann 1985) ist in den relativ stark durchforsteten Wäldern der Schweiz eher gering. Die Bestandesstruktur spielt zwar bezüglich Störungsresistenz eine Rolle, dürfte aber gegenüber der Baumartenzusammensetzung sekundär sein. Allerdings sind im Gebirgswald (und hier besonders im Schutzwald) stark strukturierte Bestände aus drei Gründen wichtig: Erstens ist der Spielraum bei der Baumartenwahl oft von Natur aus klein, zweitens sind Schneelasten ein bedeutender Störungsfaktor, und drittens ist nach einer Störung die Schutzwirkung rasch wieder zu sichern. Dabei hilft räumlich gut verteilte Vorverjüngung, welche weiterhin mit strukturierenden Eingriffen gefördert werden sollte (Frehner et al 2005).

Andere Massnahmen haben unserer Meinung nach eher Versuchscharakter und sollten daher vorerst punktuell in Experimenten mit wissenschaftlicher Begleitung geprüft werden. Dazu gehört zum Beispiel, in Verjüngungen aus heute standortheimischen Baumarten Provenienzen von trockeneren Standorten einzubringen oder exotische Baumarten wie Zedernarten zu verwenden, bei denen noch wenig Erfahrung besteht.

Die erwarteten Standortveränderungen dürfen keinesfalls dazu verleiten, den Wert der Standortkenntnisse und der Standortkartierungen gering zu schätzen. Im Gegenteil, diese werden noch wichtiger! Es dürfte noch viele Jahre dauern, bis die Kartierungen klimabedingt überarbeitet werden können.

Sowohl Femelschlag- als auch Dauerwälder haben Vor- und Nachteile. Bezüglich Klimawandel spricht die etwas höhere Störungsresistenz für

ungleichförmige Wälder, die leichter mögliche Erhöhung der Baumartenvielfalt für den Femelschlag. Mit dem Klimawandel lässt sich eine Umstellung vom Femelschlag zum Dauerwald oder umgekehrt zurzeit nicht überzeugend begründen. In beiden Fällen gilt es, in den nächsten Jahrzehnten die Reaktion des Waldes auf Eingriffe sehr aufmerksam zu verfolgen. Das starre Festhalten an waldbaulichen Traditionen dürfte hingegen riskoreich sein. Es ist eher angezeigt, die Eingriffe zu diversifizieren.

## Schlussfolgerungen

Reicht nun der klassische naturnahe Waldbau als Reaktion auf den Klimawandel? Im naturnahen Waldbau ist die Nutzung natürlicher Entwicklungen stark verankert (Schütz 1999b). Die Naturnähe bezieht sich dabei auf die standortgerechte Baumartenzusammensetzung, die Verjüngungsart (Bevorzugung der Naturverjüngung) und teilweise auch auf die Bestandesstruktur. Die Umsetzung dieser Prinzipien hat dazu geführt, dass heute viele Schweizer Wälder relativ naturnah sind und damit vergleichsweise gute Voraussetzungen haben, Klimaschwankungen zu überstehen. Allerdings reicht das beim jetzt erwarteten Klimawandel nicht aus, denn die Prinzipien «standortgerechte Baumarten» und «Naturverjüngung» müssen modifiziert angewendet werden, weil keine Konstanz der Standortbedingungen mehr angenommen werden kann. Diese Veränderung stellt die Bewirtschafter vor eine grosse Herausforderung, weil sie am standörtlichen Fundament des Waldbaus rüttelt. Das Ausmass und die Geschwindigkeit des Klimawandels sind aber unsicher. In dieser Situation tritt neben die traditionellen Waldbauziele mit festgelegten Bestandesstrukturen ein neues Ziel: Der Wald soll in diesem Veränderungsprozess möglichst anpassungsfähig sein, ohne dass Einbrüche bei seinen Produkten und Leistungen entstehen. Dazu ist in erster Linie die Risikoverteilung durch Baumartenvielfalt, in zweiter Linie die Strukturvielfalt der Schlüssel.

Angesichts der Unsicherheiten müssen die Bewirtschafter bereit sein, Neues zu lernen. Sie müssen gut beobachten, wie die Wälder auf eintretende Belastungen reagieren, und die bisherige Praxis revidieren, falls neues Wissen oder neue Erfahrungen dies nahelegen. Sie sollten auch Neues ausprobieren, ihr Handeln gut dokumentieren und aus den Resultaten lernen. Das ist mit adaptivem Management gemeint (Spittlehouse & Stewart 2003). Hilfreich ist dabei das Prinzip des Opportunismus, auch eines der Kennzeichen des naturnahen Waldbaus (Schütz 1999b): Entwickelt sich ein Wald anders als geplant, wird das Ziel angepasst.

Waldbau wird heute von manchen Bewirtschaftern dezidiert als Kunst angesehen. Dies ist dem Erkenntnisgewinn abträglich, denn damit wird Waldbau letztlich zur Geschmacksfrage. Unseres Erachtens sollte Waldbau vermehrt zu einer rational begründeten, effizient umgesetzten und so gut dokumentierten Technik werden, dass auch die Generationen nach uns aus der heutigen Waldbehandlung lernen können. ■

*Eingereicht: 18. April 2008, akzeptiert (mit Review): 8. August 2008*

## Literatur

- ALLEN CR, BRESHEARS DD (1998) Drought-induced shift of a forest-woodland ecotone: Rapid landscape response to climate variation. *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* 95: 14839–14842.
- AMMANN PL (2005) Untersuchung der natürlichen Entwicklungsdynamik in Jungwaldbeständen. Biologische Rationalisierung der waldbaulichen Produktion bei Fichte, Esche, Bergahorn und Buche. Zürich: Eidg Techn Hochschule, PhD-thesis. 331 p.
- BOLTEA, IBISCH PL (2007) Neun Thesen zu Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. *Allg Forst Z Waldwirtschaft Umweltvorsorge* 62: 572–576.
- BRANG P (2005) Virgin forests as a knowledge source for central European silviculture: reality or myth? *For Snow Landsc Res* 79 (1/2): 19–32.
- BRASSEL P, BRÄNDLI UB, EDITORS (1999) Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Bern: Haupt. 442 p.
- BUGMANN H (1997) Gap models, forest dynamics and the response of vegetation to climate change. In: Huntley B, Cramer W, Morgan AV, Prentice HC, Allen JRM, editors. *Past and future rapid environmental changes: The spatial and evolutionary responses of terrestrial biota*. Berlin: Springer. pp. 441–453.
- BURGA CA, PERRET R (1998) Vegetation und Klima der Schweiz seit dem jüngeren Eiszeitalter. Thun: Ott. 805 p.
- BÜRGI A, DIEZ C (1986) Übersicht über den Exotenanbau in der Schweiz aufgrund einer Umfrage vom Herbst/Winter 1984/85. *Schweiz Z Forstwes* 137: 833–851.
- BURSCHEL P (1994) Holzproduktion als ökologische Rechtfertigung des Forstberufes: Eine kritische Betrachtung der Waldfunktionen. *Allg Forst Z Waldwirtschaft Umweltvorsorge* 49: 622–631.
- BUWAL (2000) Entscheidungshilfe bei Sturmschäden im Wald. Bern: Bundesamt Umwelt, Wald Landschaft, Vollzug Umwelt. 100 p.
- CONEDERA M ET AL (2004) La gestione degli incendi boschivi in Canton Ticino: tentativo di una sintesi storica. *Schweiz Z Forstwes* 155: 263–277. doi: 10.3188/szf.2004.0263
- DOBBERTIN M (2002) Influence of stand structure and site factors on wind damage comparing the storms Vivian and Lothar. *For Snow Landsc Res* 77: 187–205.
- DOBBERTIN M, SEIFERT H, SCHWYZER A (2002) Ausmass der Sturmschäden. *Wald Holz* 83 (1): 39–42.
- DVORÁK L, BACHMANN P, MANDALLAZ D (2001) Sturmschäden in ungleichförmigen Beständen. *Schweiz Z Forstwes* 152: 445–452. doi: 10.3188/szf.2001.0445

- ENGESESSER R, FORSTER B, MEIER F, WERMELINGER B (2008) Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. Schweiz Z Forstwes 158: 344–351. doi: 10.3188/szf.2008.0344
- FREHNER M, WASSER BC, SCHWITTER R (2005) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 564 p.
- FREI C ET AL (2007) Grundlagen. In: OcCC. Klimaänderungen und die Schweiz 2050. Bern: Pro Clim. pp. 11–23.
- GOSSNER M, UTSCHICK H (2003) Douglasienbestände entziehen überwinternden Vogelarten die Nahrungsgrundlage. Freising: Bayer Landesanstalt Wald Forstwirtschaft, Ber 33. pp. 41–44.
- GRIMM V, WISSEL C (1997) Babel, or the ecological stability discussions: an inventory and analysis of terminology and a guide for avoiding confusion. Oecologia 109: 323–334.
- GUISSAN A ET AL (2007) What matters for predicting the occurrences of trees: techniques, data, or species' characteristics? Ecol Monogr 77: 615–630.
- GUNDERSON LH (2000) Ecological resilience – in theory and application. Ann Rev Ecol Syst 31: 425–439.
- IPCC (2007) Summary for policymakers. In: Solomon S et al, editors. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge Univ Press. pp. 1–18.
- HEIN S (2007) Wertholzproduktion mit Buche, Eiche, Esche und Ahorn. Freiburg: Forstl Versuchs Forschungsanstalt Baden-Württemberg, Einblick 11/2. pp. 6–8.
- JOLLY WM, DOBBERTIN M, ZIMMERMANN NE, REICHSTEIN M (2005) Divergent vegetation growth responses to the 2003 heat wave in the Swiss Alps. Geophys Res Lett 32: L18409.
- KANTONSFORSTAMT ST.GALLEN (2007) Waldpflege und Waldverjüngung unter dem Aspekt der Klimaveränderung. St. Gallen: Kantonsforstamt. 11 p.
- KNOKE T, HAHN A (2007) Baumartenvielfalt und Produktionsrisiken: Ein Forschungseinblick und -ausblick. Schweiz Z Forstwes 158: 312–322. doi: 10.3188/szf.2007.0312
- KNOKE T, AMMER C, STIMM B, MOSANDL R (2008) Admixing broadleaved to coniferous tree species: a review on yield, ecological stability and economics. Eur J For Res 127: 89–101.
- KÖLLING C, ZIMMERMANN L, WALENTOWSKI H (2007) Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? Allg Forst Z Waldwirtschaft Umweltvorsorge 62: 584–588.
- LEDIG FT, KITZMILLER JH (1992) Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change. For Ecol Manage 50: 153–169.
- LINDNER M, LASCH P, ERHARD M (2000) Alternative forest management strategies under climatic change – prospects for gap model applications in risk analysis. Silva Fenn 34: 101–111.
- MILLAR CI, STEPHENSON NL, STEPHENS SL (2007) Climate change and forests of the future: managing in the face of uncertainty. Ecol Appl 17: 2145–2151.
- MÜHLETHALER U (2008) Ein Plädoyer für die Eichenförderung (Essay). Schweiz Z Forstwes 159: 98–102. doi: 10.3188/szf.2008.0098
- MÜHLETHALER U, REISNER Y, ROGIERS N (2008) Potenzielle Eichenwuchsgebiete und aktuelle Eichenmischwälder der Schweiz. Schweiz Z Forstwes 159: 103–111. doi: 10.3188/szf.2008.0103
- OTTO D (2008) Qualitätsmerkmale gepflanzter Stieleichen unter Buchenkonkurrenz in Lothar-Sturmflächen in der Schweiz. Tharandt: Tech Univ Dresden, Diplomarbeiten. 71 p.
- PICKETT STA, WHITE PS (1985) The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Orlando: Academic Press. 472 p.
- REIMOSER F, GOSSOW H (1996) Impact of ungulates on forest vegetation and its dependence on the silvicultural system. For Ecol Manage 88: 107–119.
- RIGLING A, WEBER P, CHERUBINI P, DOBBERTIN M (2004) Bestandesdynamik zentralalpiner Waldföhrenwälder aufgezeigt anhand dendroökologischer Fallstudien aus dem Wallis, Schweiz. Schweiz Z Forstwes 155: 178–190. doi: 10.3188/szf.2004.0178
- RIOU-NIVERT P (2007) Le changement climatique. Mythe ou réalité? Quelles conséquences pour la forêt comtoise? Bull Société Forestière Franche-Comté 52: 321–359.
- ROTTMANN M (1985) Waldbauliche Konsequenzen aus Schneeburckatastrophen. Schweiz Z Forstwes 136: 167–184.
- RUNKLE JR (1985) Disturbance regimes in temperate forests. In: Pickett STA, White PS, editors. The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Orlando: Academic Press. pp. 37–50.
- SCHMIDER P (2007) Waldbau und Klimaveränderung. Strategiepapier. Empfehlungen des Forstdienstes Kanton Thurgau. Frauenfeld: Forstamt Thurgau. 11 p.
- SCHMIDER P, KÜPER M, TSCHANDER B, KÄSER B (1994) Die Waldstandorte im Kanton Zürich: Waldgesellschaften, Waldbau, Naturkunde. Zürich: Verlag Fachvereine an den schweizerischen Hochschulen und Techniken, 2 ed. 287 p.
- SCHUMACHER S, REINEKING B, SIBOLD J, BUGMANN H (2006) Modeling the impact of climate and vegetation on fire regimes in mountain landscapes. Landsc Ecol 21: 539–554.
- SCHÜTZ JP (1990) Sylviculture 1: Principes d'éducation des forêts. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 243 p.
- SCHÜTZ JP (1992) Die waldbaulichen Formen und die Grenzen der Plenterung mit Laubbaumarten. Schweiz Z Forstwes 143: 442–460.
- SCHÜTZ JP (1999A) Close-to-nature silviculture: is this concept compatible with species diversity? Forestry 72: 359–366.
- SCHÜTZ JP (1999B) Naturnaher Waldbau: gestern, heute, morgen. Schweiz Z Forstwes 150: 478–483. doi: 10.3188/szf.1999.0478
- SCHWAGER G (1979) Beitrag zur Geschichte der fremdländischen Baumarten in der Schweiz – unter besonderer Berücksichtigung der Weymouthsföhre. Zürich: Eidg Techn Hochschule, Diplomarbeiten. 111 p.
- SPITTLEHOUSE DL, STEWART RB (2003) Adaptation to climate change in forest management. BC J Ecosyst Manage 4 (1): 1–11.
- STÄHL PH, KOSKI V (2000) Impacts of silviculture and forest management on genetic diversity of trees. In: Krishnapillay B et al, editors. Forests and society: The role of research. XXI IUFRO World Congress 7–12 Aug 2000, Kuala Lumpur, Malaysia. pp. 110–119.
- STOCKER R, KÜMIN P, SPAHR E (2007) Arbeitspapier zur Waldpflege und Waldverjüngung unter dem Aspekt der Klimaveränderung. Liestal: Forstamt beider Basel. 6 p.
- VON LÜPKE B (2004) Risikominderung durch Mischwälder und naturnaher Waldbau: ein Spannungsfeld. Forstarchiv 57: 43–50.

**WOHLGEMUTH T ET AL (2008)** Effekte des Klimawandels auf Windwurf, Waldbrand und Walddynamik im Schweizer Wald. *Schweiz Z Forstwes* 159: 336–343. doi: 10.3188/szf.2008.0336

**ZIMMERMANN N ET AL (2006)** Wo wachsen die Bäume in 100 Jahren? Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen. pp. 63–71.

**ZIMMERMANN N, BUGMANN H (2008)** Die Kastanie im Engadin – oder was halten Baumarten von modellierten Potenzialgebieten? *Schweiz Z Forstwes* 159: 326–335. doi: 10.3188/szf.2008.0326

**ZINGG A, BÜRGI A (2008)** Trockenperioden seit 1900 und Waldwachstum: eine Analyse langfristiger Datenreihen. *Schweiz Z Forstwes* 159: 352–361. doi: 10.3188/szf.2008.0352

## Klimawandel als waldbauliche Herausforderung

Der Klimawandel verändert mehrere Standortfaktoren, welche für die Walddynamik bestimmend sind, und stellt daher den Waldbau vor grosse Herausforderungen. Dieser Aufsatz gibt eine Übersicht über die Optionen, um mit diesen Herausforderungen umzugehen, und macht auch Empfehlungen. Die Waldbewirtschaftung sollte generell bestrebt sein, die Anpassungsfähigkeit der Wälder zu erhöhen, ihre Widerstandsfähigkeit gegenüber Störungen zu erhöhen und unerwünschte Auswirkungen verstärkter Störungen auf die Produkte und Leistungen des Waldes zu vermindern. Der Schlüssel zum Umgang mit dem Klimawandel liegt in einem höheren Anteil von Baumarten, welche an das zukünftige Klima angepasst sind, sowie in einer grösseren Vielfalt der Baumarten und Provenienzen als Antwort auf die erheblichen Unsicherheiten. Zusätzlich dürfte eine Erhöhung der Strukturvielfalt dazu beitragen, Risiken zu vermindern und Produkte und Leistungen des Waldes zu sichern. Strategische Handlungsoptionen sind eine Kartierung der Sensitivität der Standorte und Bestände gegenüber der Klimaänderung, eine Anpassung der Bestockungsziele und die Wahl der am besten geeigneten Betriebsart. Eine Reihe von Handlungsoptionen auf der operativen Ebene trägt zu einer höheren Baumartenvielfalt bei: Kunstverjüngung, Jungwaldpflege, Verjüngungshiebe und die Reduktion von Schalenwildeinflüssen. Andere Optionen sind vorzeitige Endnutzungen und Massnahmen zur Waldbrandprävention. Da sich die Standorte ändern, müssen zwei Eckpfeiler des naturnahen Waldbaus, nämlich die Baumartenwahl aufgrund der (heutigen) Standortbedingungen und die Bevorzugung der Naturverjüngung, überdacht werden. Die Reaktion des Waldes auf die Klimaänderung ist schwierig vorherzusagen; daher wird ein flexibler Waldbau empfohlen.

## Le changement climatique: un défi pour la sylviculture

En modifiant de nombreux facteurs de la station qui déterminent la dynamique forestière, le changement climatique confronte la sylviculture à des défis majeurs. Cet article donne un aperçu des options à disposition pour relever ces défis; il émet également des recommandations. En général, la gestion forestière devrait viser à augmenter les capacités d'adaptation des forêts et leur résistance aux perturbations, et à réduire les effets indésirables des fortes perturbations sur les produits et prestations de la forêt. Au changement climatique et aux incertitudes majeures qu'il occasionne, la réponse à apporter consiste à accroître la proportion d'essences adaptées au climat futur, la diversité de ces essences et celle de leur provenance. Une plus grande diversification des structures devrait de surcroît diminuer les risques et garantir les produits et prestations de la forêt. Parmi les options d'action stratégiques figurent une cartographie de la sensibilité des stations et des peuplements au changement climatique, une adaptation des buts de composition des peuplements et le choix du régime sylvicole le plus approprié. Au niveau opérationnel, une palette d'options contribue à une plus grande diversité des essences: régénération artificielle, soins aux jeunes peuplements, coupes de régénération et réduction de l'impact des ongulés. Des coupes de réalisation précoces et des mesures préventives contre les incendies de forêt constituent d'autres options. Comme les stations évoluent, il importe de réfléchir à deux composantes majeures d'une sylviculture proche de la nature: le choix d'essences adaptées aux conditions (actuelles) de la station, et la préférence donnée à la régénération naturelle. Il est difficile de prédire la réaction de la forêt face au changement climatique, c'est pourquoi nous recommandons une sylviculture flexible.