

Klimawandel als Prüfstein für die Waldbewirtschaftung

Andreas Rigling

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)*

Peter Brang

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Harald Bugmann

Waldökologie, Institut für Terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich (CH)

Norbert Kräuchi

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Thomas Wohlgemuth

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Niklaus Zimmermann

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Climate change as a touchstone for forest management

Climate scenarios predict for Switzerland until 2050 a general warming of 2°C. This warming is likely to feature moister winters, dryer summers and an increase of extreme weather events – hot spells like in summer 2003 could occur every few years. If these projections become true, Swiss forests will be fundamentally altered by the direct effects of climate such as droughts, heat waves or storms. In addition, they will be affected by indirect effects such as diseases, pests or forest fires that may be even more significant than the direct effects. Large uncertainties still exist with respect to the degree and rate of the expected climatic changes. Nevertheless, forestry should not wait until absolute certainty arises, which will likely never be the case anyway. Forestry must act proactively, but in a cautious and scientifically sound manner. Based on the paradigm of adaptive forest management, we propose a concept for a stepwise alignment of forest management practices with the overall aim to increase the resistance and resilience of Swiss forests and to support ongoing early response processes. The measures proposed can be divided into 1) the analysis of the current state of the forests, 2) short-termed adaptation measures of forest management, and finally 3) the development of adapted management concepts that explicitly take into account climatic change.

Keywords: adaptation, global climate change, forest management, resilience, resistance

doi: 10.3188/szf.2008.0316

* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail andreas.rigling@wsl.ch

Wie dem vierten Zustandsbericht des internationalen, zwischenstaatlichen Ausschusses über Klimaänderungen (Solomon et al 2007) zu entnehmen ist, wird für das 21. Jahrhundert von einer Zunahme der globalen Mitteltemperatur von 2.0 bis 4.5 °C ausgegangen. Das Schweizerische beratende Organ für Fragen der Klimaänderung (OcCC 2007) geht für die Schweiz bis ins Jahr 2050 von einer Erwärmung von 2 °C aus. Zudem wird erwartet, dass die Winter feuchter, die Sommer trockener, Extremereignisse wie Starkniederschläge, Dürreperioden und Hitzewellen häufiger, hingegen winterliche Kältewellen seltener werden. Extreme Hitzesommer wie 2003 könnten alle paar Jahre eintreten (Schär et al 2004).

Sollten diese Klimaprognosen eintreffen, dann werden die Schweizer Wälder stark betroffen sein. Veränderungen der Häufigkeit und des Ausmasses von Extremereignissen würden die Vegetationsentwicklung wesentlich stärker beeinflussen als der Anstieg der Mitteltemperaturen. Neben den direkten Wirkungen des Klimawandels wie Dürren, Hitzewel-

len und Stürmen dürften indirekte Folgen wie Krankheiten, Schadinsekten und Waldbrände die Walddynamik grundlegend verändern.

Obwohl auf globaler Ebene die Zuverlässigkeit der Klimaszenarien stark erhöht werden konnte (IPCC 2007) und verschiedene Analysen für die Schweiz weitgehend übereinstimmend von einem wärmeren und trockeneren Klima ausgehen (OcCC 2007), sind das Ausmass und die Geschwindigkeit der zu erwartenden Veränderungen auf regionaler und lokaler Ebene immer noch unsicher (Millar et al 2007). Wie soll mit dieser Unsicherheit umgegangen werden? Müssen wir abwarten, bis die bestehenden Unsicherheiten geklärt sind, um die Waldbewirtschaftung anzupassen, und nehmen wir somit das Risiko in Kauf, dass wertvolle Zeit ungenutzt verstreicht? Oder leben wir mit den unsicheren Prognosen und beginnen so schnell wie möglich mit einem eigentlichen Waldumbau?

Wir können nicht einfach abwarten, bis Klarheit herrscht, da die sehr langen Produktionszeiträume unserer Wälder und die damit verbundene

Zustands- und Systemanalyse des Schweizer Waldes

geringe Entwicklungsgeschwindigkeit des Systems Wald stark kontrastieren mit dem starken Ausmass und der hohen Geschwindigkeit der Klimaänderung: Die Forstwirtschaft muss frühzeitig, aber wohlüberlegt und wissenschaftlich abgestützt handeln (vgl. Bürgi & Brang 2001, Brang et al 2008, Kölling et al 2007, Lindner 2000, Millar et al 2007, Noss 2001, Spittlehouse & Stewart 2003). Nach Duinker (1990) sind überstürzte und radikale Massnahmen zu vermeiden, solange die Auswirkungen des Klimawandels auf das Funktionieren spezifischer Waldökosysteme nicht im Detail verstanden sind. Vorbeugende Anpassungen der Waldbewirtschaftung sind aber angezeigt mit dem generellen Ziel, die Widerstandskraft (Resistenz) gegenüber Veränderungen zu erhöhen, das Reaktionsvermögen (Resilienz) nach Veränderungen zu fördern und bereits ablaufende Veränderungen (Response) zu unterstützen (z.B. Millar et al 2007). Es gibt aber keine Patentrezepte, und daher ist im Sinne des adaptiven Waldmanagements (Walters 1986, Haney & Power 1996, von Gadow 2006)¹ ein schrittweises Verändern, kontinuierliches Überprüfen und Anpassen der Waldbewirtschaftung anzustreben (Abbildung 1). Um dieses iterative Herantasten an eine verbesserte Waldbewirtschaftung zu strukturieren, schlagen wir in Anlehnung an das Konzept von Spittlehouse & Stewart (2003) ein dreistufiges Vorgehen vor:

- 1) Zustands- und Systemanalyse des Schweizer Waldes,
- 2) kurzfristige Anpassung der Waldbewirtschaftungskonzepte,
- 3) Entwicklung von neuen, an den Klimawandel angepassten Waldbewirtschaftungskonzepten.

Die Wissenschaft hat den Auftrag, die nach wie vor grossen Unsicherheiten der zukünftigen regionalen Klimaentwicklung, insbesondere was die Niederschlagsmenge und -verteilung betrifft, zu reduzieren. Ebenso muss die Wissenschaft zuverlässiger abschätzen, welche Auswirkungen die Klimaänderung auf die Walddynamik haben wird. Der Praktiker muss sich dieser Unsicherheiten bewusst sein, wenn es um weitreichende Anpassungen in der Waldbewirtschaftung geht.

Wichtige Instrumente, um sich einen Überblick über die aktuelle Situation respektive die Veränderungen im Schweizer Wald zu verschaffen, sind langfristige Umweltmonitoring-Netzwerke wie das Landesforstinventar LFI, die Sanasilva-Waldzustandsinventur, die nationale Bodenschutzinventur NABO, die langfristigen Waldökosystemforschungsflächen LWF, die Ertragskunde- und Waldreservatsflächen, das Beobachtungsnetzwerk von Waldschutz Schweiz und die Interkantonalen Walddauerbeobachtungsflächen sowie verschiedene kantonale Inventare, Versuchsflächen und Standortkartierungen. Spezielles Augenmerk bei diesen Netzwerken ist auf Früherkennungsregionen wie Trockengebiete und Hochlagen zu richten. Hier können wir bereits jetzt sehen, was die Zukunft für die heute noch weniger extremen Standorte bringen könnte. Möglichst früh sollten sensitive Waldtypen, -bestände, -entwicklungsphasen und -ökosystemprozesse identifiziert und untersucht werden. Lücken im Systemverständnis müssen aufgedeckt und erforscht werden. Mo-

¹ vgl. auch www.resalliance.org (12.8.2008)

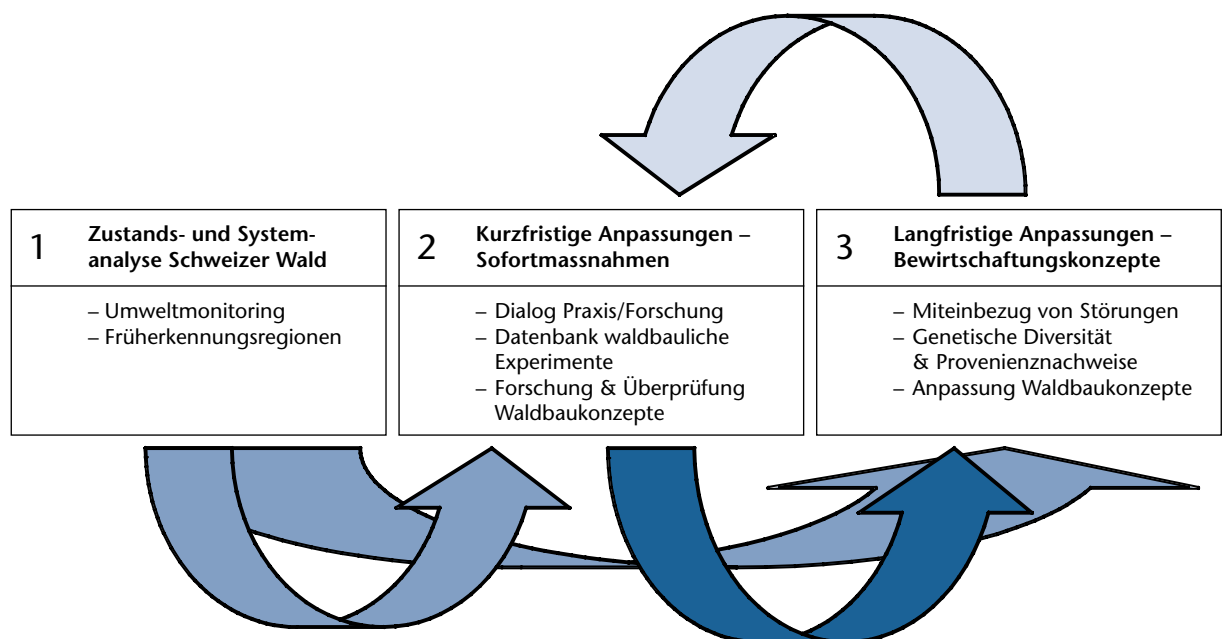


Abb 1 Dreistufiges Vorgehen bei der Anpassung der Waldbewirtschaftung an den Klimawandel. Die Pfeile markieren das iterative Vorgehen im Sinne des adaptiven Managements.

delle helfen dabei, die komplexen Wechselbeziehungen im Ökosystem Wald zu analysieren (Bugmann 1997, 1999, Logan et al 2003, 2007, Lindner et al 2000, Brang & Hallenbarter 2007) und Effekte auf die Betriebs- und Regionalökonomie abzuschätzen (z.B. Grêt-Regamey et al 2008, Walz et al 2007, Olschewski et al 2008, dieses Heft).

Die Waldökosysteme reagieren auf Klimawandel

Das Klima hat sich seit der letzten Eiszeit wiederholt gewandelt, und die Vegetation hat jeweils darauf reagiert. Wohlgemuth et al (2006) diskutieren die Anpassungsfähigkeit der Waldvegetation an den Klimawandel anhand paläoökologischer und modellbasierter Untersuchungen und kommen zum Schluss, dass die vom IPCC (2007) prognostizierten Veränderungen mit dem abrupten Klimawechsel am Übergang von der Spät- zur Nacheiszeit zu vergleichen sind, welcher die Waldvegetation grundlegend umkrempelte.

Weltweit sind heute erste Anzeichen der Reaktion von Waldökosystemen auf den aktuellen Klimawandel zu beobachten (Eastaugh 2008). Beispiele sind das Vordringen der wärmelimitierten Waldgrenze in nördlichere und höhere Lagen (z.B. Devi et al 2008, Kullman 2002, Moiseev et al 2004, Shiyatov 2003), das grossflächige Absterben der Stein- und Ponderosakiefer (*Pinus edulis*, *P. ponderosa*) im Südwesten der USA nach extremer Dürre (Mueller et al 2005, Breshears et al 2005), das Vordringen der submediterranen Steineiche (*Quercus ilex*) in höher gelegene Buchenwälder (*Fagus sylvatica*) im Nordosten Spaniens (Penuelas & Boada 2003), die massiven Arealverschiebungen und Massenvermehrungen von zwei Borkenkäferarten (*Dendroctonus frontalis* und *D. ponderosae*) in Nordamerika (z.B. Logan et al 2003, Williams & Liebhold 2002) und die Ausbreitung des Pinienprozessionsspinners (*Thaumetopoea pityocampa*) in höhere Lagen in der Sierra Nevada in Südspanien, welche die Reliktvorkommen der Waldföhre (*Pinus silvestris*) bedroht (Hodar et al 2003).

Auch in den Schweizer Wäldern sind erste Anzeichen von klimabedingten Veränderungen feststellbar: Unabhängig von der Extensivierung der Alpwirtschaft steigt die Waldgrenze vielerorts an (Gehrig-Fasel et al 2007, 2008), die obere Verbreitungsgrenze der temperaturempfindlichen Föhrenmistel (*Viscum album ssp. Austriacum*; Abbildung 2) ist im Wallis im Verlaufe der letzten hundert Jahre um rund 200 m angestiegen (Dobbertin et al 2005a), im Tessin breiten sich zunehmend immergrüne Pflanzen aus und dringen in die umliegenden Wälder vor (Walther et al 2005, Walther 2006, Walther et al 2007), im Wallis ist ein Waldföhrensterben zu beobachten, wobei Trockenheit und Schadinsekten als wichtigste Auslöser gelten (Dobbertin et al 2005b, Bigler et al 2006, Rigling & Cherubini 1999, Rigling

et al 2006). Schliesslich führte die Buchdruckerepidemie (*Ips typographus*), welche als Folge der Stürme Vivian und Lothar sowie des Jahrhundertsommers 2003 seit nunmehr 18 Jahren die Schweiz heimsucht, zu Zwangsnutzungen in der Grössenordnung von 10 Mio. m³ Fichtenholz (*Picea abies*), wobei schätzungsweise 2.5 Mio. m³ dem Hitzesommer 2003 zuzuschreiben sind (Meier et al 2006, Forster & Meier 2008).



Abb 2 Starker Befall durch die Föhrenmistel bei Stalden (Wallis). Die Föhrenmistel hat sich im Wallis in den vergangenen Jahrzehnten massiv ausgebreitet. Foto: A. Rigling, WSL

Diese Beispiele zeigen, dass die erwarteten direkten (Hitze, Trockenheit, Stürme) und indirekten Wirkungen (Insekten, Krankheiten, Feuer) des Klimawandels je nach Baumart, Waldstruktur, Standort und Prozess sehr unterschiedlich sein werden: Baumarten mit oberflächlichen Wurzelsystemen (z.B. Fichte auf verdichteten Standorten) oder mit einer Vielzahl potenzieller Schadinsekten (z.B. Waldföhre) dürften besonders empfindlich sein. Ebenso sind zusammenhängende, grossflächige, wenig gemischte und wenig strukturierte Waldgebiete in der Regel anfälliger gegenüber Sturm, Krankheiten und Insekten. Trockenstandorte sowie Böden mit geringem Wasserspeicher dürften besonders auf Hitze und Trockenheit reagieren. Aber auch Standorte mit Zufuhr von Bodenwasser (Grund- und Hangwasser) könnten gefährdet sein, wenn die Wasserzufuhr allmählich versiegen sollte. Da die Nährstoffaufnahme eng mit der Wasserverfügbarkeit gekoppelt ist, dürften Pflanzen auf nährstoffarmen Böden (z.B. Rendzinen) verstärkt unter zunehmender Trockenheit leiden. Insbesondere die Verjüngung ist eine heikle Phase in der Waldentwicklung, da die Jungpflanzen sehr empfindlich gegenüber Hitze, Trockenheit, Konkurrenz und Krankheiten sind. Aber auch die Alterungsphase ist kritisch, da die Bäume mit zunehmendem Alter empfindlicher gegenüber direkten und indirekten Klimaeinwirkungen werden.

Aufgrund einer umfassenden Situations- und Systemanalyse müssen Praxis und Forschung im Dialog die entscheidenden Fragen für die Waldbewirtschaftung und den daraus resultierenden Forschungsbedarf erarbeiten. Zu den wichtigsten Fragenkomplexen gehören:

- Können die heute einheimischen Baumarten die zukünftigen Anforderungen an den Wald erfüllen (Stichwort Baumartenportfolio)? Muss die Diskussion über nicht einheimische Baumarten neu angegangen werden? Wenn ja, welche Risiken gilt es zu berücksichtigen? Braucht es neue Verfahren für die Bestandesbegründung bei zunehmender Trockenheit?
- Braucht es Anpassungen in der Bekämpfung von Schadorganismen? Muss das bestehende Frühwarnsystem, das Beobachtungsnetzwerk von Waldschutz Schweiz und der Forstpraxis, ausgebaut werden? Braucht es Anpassungen im Waldbau, um die Entwicklung und Ausbreitung von Schadorganismen zu erschweren? Lässt sich mit waldbaulichen Eingriffen die Widerstandskraft der Wälder gegenüber Trockenheit, Sturm, Waldbrand und Schadorganismen erhöhen? Wenn chemische Bekämpfungsmassnahmen notwendig werden, welche gesetzlichen Anpassungen wären notwendig?
- Braucht es Anpassungen im Umgang mit Waldbränden? Muss eine Feuerbekämpfung, wie sie heute schon im Tessin, in den südlichen Nachbarländern und in Nordamerika praktiziert wird, auch nördlich der Alpen vorbereitet werden?
- Welche Holzsortimente können in Zukunft, nach Anpassung der Waldbaukonzepte, erwartet werden? Braucht es neue Technologien, um diese Sortimente effizient zu verarbeiten? Braucht es strukturelle und technologische Anpassungen aufseiten der Forstbetriebe?

Kurzfristige Anpassung der Waldbewirtschaftungskonzepte

Wir sind der Ansicht, dass schon heute, im Sinne eines adaptiven Managements, auf die Klimaänderung reagiert werden sollte, aber ohne überstürzte Massnahmen. Denn auch wenn in den Schweizer Wäldern erste Anzeichen des Klimawandels zu beobachten sind, so hat die seit Jahrzehnten gelehrte und praktizierte naturnahe Waldbewirtschaftung (z.B. Schädelin 1928, Leibundgut 1946, 1990, Bischoff 1984, Schütz 1999, 2002, Ott et al 1997, Frehner et al 2005) vielerorts zu strukturierten Wäldern geführt, welche im Vergleich zu einförmigen Reinbeständen verhältnismässig robust und resistent gegenüber Umweltveränderungen sind. Das darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass im Falle einer starken Erwärmung und von extremen Störungen auch unsere Wälder grossflächig be-

troffen sein werden, wie dies der Sturm Lothar und die darauf folgenden Borkenkäferepidemien (Meier et al 2001, 2006), der Waldbrand bei Leuk 2003 (Wohlgemuth et al 2005) oder das Waldföhrensterben nach Trockenjahren im Wallis (Rigling et al 2006) zeigen. Wir schlagen daher folgendes Vorgehen zur Festlegung von kurzfristigen Massnahmen vor:

- 1) Intensivieren des Dialoges zwischen Praxis, Forschung und Verwaltung und Sensibilisieren der Öffentlichkeit,
- 2) Aufbau einer Datenbank für waldbauliche Experimente,
- 3) Forschungsprojekte zur Überprüfung der Waldbaukonzepte.

Intensivieren des Dialoges und Sensibilisieren der Öffentlichkeit

Der Dialog zwischen Waldeigentümern, Betriebsleitern, Holzverarbeitern, Forschenden, Lehrenden und den Forstdiensten sollte forciert werden, denn der bestmögliche Informationsaustausch ist eine wichtige Voraussetzung für den angemessenen Umgang mit den Herausforderungen der Klimaänderung. Das gemeinsame Ziel sollte sein, angepasste Waldbaukonzepte zu entwickeln, welche die Leistungen und Güter der Waldökosysteme nachhaltig sichern und gleichzeitig ökonomisch effizient, sozial verträglich und institutionell machbar sind.

Wichtig dafür sind gemeinsam getragene Veranstaltungen wie beispielsweise die Montagskolloquien der ETHZ, das Forum für Wissen und die Journée thématique der WSL, die Veranstaltungen des Schweizerischen Forstvereins und seiner Arbeitsgruppen sowie die Kurse der Fortbildung Wald und Landschaft. All diese Veranstaltungen unterstützen den Forstdienst als Koordinator der Waldbewirtschaftung und Wissensvermittler in der Praxis. Ebenso wichtig wie die nationale Fachdiskussion sind der offene Blick über die Landesgrenzen und die Pflege internationaler Kontakte, beispielsweise im Rahmen der Internationalen Vereinigung der forstlichen Forschungsanstalten (Iufro), welche Wissenschaft, Praxis und Verwaltung gleichermaßen befruchten können.

Die Thematik Klimawandel und Waldbewirtschaftung muss gut vorbereitet der Öffentlichkeit kommuniziert werden. Dabei geht es um Information und Sensibilisierung zum Thema, um Rückhalt in der Bevölkerung und um die Akzeptanz von ungewohnten waldbaulichen Massnahmen (vgl. Brang et al 2008, dieses Heft).

Aufbau einer Datenbank für waldbauliche Experimente

In den vergangenen Jahrzehnten sind in den Schweizer Wäldern viele waldbauliche Versuche (Verjüngungstechnik, Pflanzungen, Durchforstungen) durchgeführt worden, um die Reaktion der



Abb 3 Grossflächiges Experiment zur Wiederbewaldung auf der Vivian-Sturmfläche in Dörsentis (Graubünden): links die geräumte, in der Mitte die belassene und rechts die geräumte und bepflanzte Teilfläche. Foto: U. Wasem, WSL



Abb 4 Verjüngungsexperiment bei Leuk (Wallis). Mittels Regendächern und Bodenheizung wird ein zukünftiges, trocken-heisses Klima simuliert und der Effekt auf die Baumverjüngung getestet. Foto: T. Wohlgemuth, WSL

Bäume und Bestände auf unterschiedliche Eingriffe zu prüfen. Einige dieser Versuche waren Experimente der Forschung, andere wurden durch die Praxis durchgeführt, sei dies auf Ebene Forstkreis oder Forstrevier. Viele dieser Experimente und Versuche sind nicht so dokumentiert, dass eine Weiterführung oder nachträgliche Auswertung einfach möglich wären. Wir schlagen deshalb vor, eine internetbasierte Datenbank für waldbauliche Versuche aufzubauen, welche es erlauben würde, früher angesetzte Versuche aus der heutigen Forschungsperspektive im Kontext Klimawandel auszuwerten und so für die Praxis nutzbar zu machen. Ebenso müssten neue Versuche in die Datenbank aufgenommen werden. Die Kriterien, welche an eine Versuchsanordnung zu stellen sind, damit sie in diese Datenbank aufgenommen werden kann, müssten noch definiert werden.

Forschungsprojekte zur Überprüfung der Waldbaukonzepte

Da nach wie vor grosse Unsicherheiten bestehen, wie die Widerstandskraft und die Anpassungsfähigkeit unserer Wälder gefördert werden können, müssen entsprechende Forschungsprojekte ins Auge gefasst werden. Einerseits sollte dafür nach Möglichkeit auf alte Versuchsanordnungen zurückgegriffen werden, andererseits müssen neue Experimente mit unterschiedlichen waldbaulichen Eingriffen angelegt werden (Bürgi & Brang 2001). Die Versuchsanlagen sollten in enger Zusammenarbeit von Forstdienst und Forschung festgelegt werden, um eine aussagekräftige Auswertung im Sinne einer Erfolgskontrolle zu gewährleisten (Abbildung 3). Die Versuchflächen sollten mindestens mit dem Standard der NaiS-Weiserflächen (Frehner et al 2005) dokumentiert und langfristig gesichert werden.

Anhand von Saat- und Verjüngungsexperimenten könnte die Resistenz der einheimischen Baumarten unter verschiedenen Klimaszenarien abgeschätzt werden. Dazu könnten einerseits die klimatischen Bedingungen experimentell manipuliert werden (Abbildung 4) und andererseits einheimisches Saatgut in Gebieten ausgesät werden, wo bereits heute die für die Schweiz erwartete Trockenheit herrscht, beispielsweise im Mittelmeerraum oder in den ukrainischen Steppen.

Provenienzversuche eignen sich, um das Wachstum einheimischer und ausländischer Gehölze zu vergleichen. Dazu sollten Feldexperimente mit Provenienzen aus wärmeren Gegenden und exotischen, trockenheitstoleranten Baumarten benachbarter Klimaräume, wie des submediterranen und mediterranen Raums, in verschiedenen Regionen der Schweiz angelegt werden. Das Ziel wäre vor allem die Walderhaltung, aber auch die Ertragssteigerung in einem wärmeren und trockeneren Klima. Die Diskussion um Chancen und Gefahren von nicht einheimischen Baumarten muss neu lanciert werden. Aufgrund der grossen Gefahren, die von Pflanzen ausgehen, welche nicht an die einheimischen Ökosysteme angepasst sind, müssen die Versuche aber bezüglich Schadorganismen und Krankheiten gut überwacht werden.

Der Pflege des jungen Waldes (Jungwuchs- und Dickungspflege) kommt im Zuge des Klimawandels eine neue Bedeutung zu: Neben der Mischungsregulierung, der Ertrags- und Qualitätssteigerung, welche über die Dosierung des Lichts erfolgen, dürfte dabei in Zukunft die Zuteilung und Steuerung des knappen Wassers (Niederschläge, Bodenwasser) für die Gerüstbäume im Zentrum stehen. In Analogie zur Jungwaldpflege sollen Durchforstungsversuche im Stangen- und Baumholz zeigen, ob durch Entnahme der Unterschicht (Niederdurchforstung) oder der direkten Konkurrenten in der Oberschicht (Hochdurchforstung) die Vitalität der Gerüstbäume

verbessert und damit die Resistenz gegenüber Schadinsekten und Krankheiten erhöht werden kann.

Waldbrandprävention beinhaltet unter anderem vorbeugendes, kontrolliertes Verbrennen des brennbaren organischen Materials («prescribed burning», z.B. Glasgow & Matlack 2007), was das Risiko von katastrophalen Grossbränden reduziert. Diese präventive Massnahme dürfte in der Schweiz aufgrund der hohen Besiedlungsdichte und des enormen Schadenpotenzials kaum je grossflächig zur Anwendung kommen. In Regionen mit erhöhtem Brandrisiko könnte stattdessen kontrollierte Beweidung durch Schmal- oder Grossvieh das Brennmaterial (Kraut- und Strauchschicht) reduzieren. Wichtiger scheint es aber, grossflächige Waldbestände mit waldbrandanfälligen Nadelhölzern zu vermeiden und stattdessen auf resistenteren Laubbaumarten oder Mischbestände auszuweichen.



Abb 5 Nicht geräumter Teil der Windwurffläche Schwanden (Glarus). Der Grossteil der Fichtenoberschicht wurde geworfen, die beigemischten Buchen hingegen überstanden den Sturm. Foto: Documenta Natura



Abb 6 Starker Befall der Aleppo-Kiefer (*Pinus halepensis*) durch den Föhrenprozessions Spinner in Andalusien (Spanien). Foto: A. Rigling, WSL

Entwicklung von neuen Bewirtschaftungskonzepten

Da der Klimawandel die Unsicherheit in der forstlichen Planung erhöht, müssen die Waldbaukonzepte im Sinne des adaptiven Managements (z.B. Haney & Power 1996, Raison 2002, von Gadow 2006) kontinuierlich kritisch bewertet und laufend an die sich verändernden Rahmenbedingungen angepasst werden (Abbildung 1). Folgende drei Punkte scheinen uns dabei von zentraler Bedeutung:

- 1) stärkere Berücksichtigung von Störungen in der waldbaulichen Planung,
- 2) Förderung der genetischen Diversität und Provenienznachweise,
- 3) Entwickeln von angepassten Waldbaukonzepten.

Stärkere Berücksichtigung von Störungen in der waldbaulichen Planung

Waldbaukonzepte sollten Auftreten und Wirkungsweise von Störungen wie Sturm, Waldbrand, Schädlingen und Krankheiten (Wohlgemuth et al 2008, Engesser et al 2008, beide dieses Heft) in die Planung integrieren (Abbildungen 5 und 6). Wenn solche Störungen heute rund 30 bis 50% der Gesamtnutzung ausmachen und vielleicht in Zukunft noch mehr, so sind sie nicht mehr Störfall, sondern normal. Sie müssen demzufolge als gestaltendes Element akzeptiert und bei der Waldbewirtschaftung, insbesondere der Holzproduktion, berücksichtigt werden. Sie können aber beispielsweise auch zur Erhöhung der Biodiversität genutzt werden (Bergeron et al 1998, Engelmark et al 2000, Wohlgemuth et al 2002). Es geht aber auch darum, ihre negativen Folgen zu bewältigen und die waldbaulichen Massnahmen entsprechend den ökologischen Kenntnissen über Auftreten und Auswirkungen der Störungen anzupassen (z.B. Seymour et al 2002, Spittlehouse & Stewart 2003), um Verluste und Folgeschäden zu vermindern. Störungsereignisse sollten dazu genutzt werden, neue Bestände zu begründen, welche bestmöglich an das zu erwartende Klima angepasst sind. Paläoökologische und historisch-ökologische Untersuchungen sind dabei von zentraler Bedeutung, um die historische Variabilität von Klima und Störungen sowie die Reaktion der Wälder auf sich verändernde Umweltbedingungen (inklusive Bewirtschaftung) abzuschätzen (Bürgi & Gimmi 2007, Millar & Woolfenden 1999, Tinner & Lotter 2006).

Vor dem Hintergrund der erwarteten Zunahme von Störungen gewinnt das Prinzip der Risikoverteilung (Schütz 1989, 1990) eine zentrale Bedeutung. Es sollte von der Bestandesebene bis auf die Landschaftsebene angewendet werden: also vom Mischbestand hin zu strukturierten, mosaikartig aufgebauten Waldgebieten und Landschaften. In vielen Gebieten des Mittellandes, der Voralpen und des Ju-

Abb 7 Montaner, fichtenreicher Buchen-Tannen-Wald. Eigenthal (Luzern), 1050–1300 m ü. M. Mischwälder sind robuster gegenüber biotischen und abiotischen Störungen als Reinbestände.

Foto: P. Brang, WSL



ras hat die bisherige naturnahe Waldbewirtschaftung schon zu stark strukturierten Wäldern geführt. Anders verhält es sich aber in vielen Wäldern der montanen und unteren subalpinen Stufe, die aufgrund der Bewirtschaftungsgeschichte und des eingeschränkten natürlichen Baumartenspektrums sowohl auf Bestandes- als auch auf Landschaftsebene gleichförmiger sind (Ott et al 1997). Hier muss auf alle in Frage kommenden Baumarten zurückgegriffen werden. Kurzfristige, lokale Ertragseinbussen müssen allenfalls zugunsten einer langfristigen Erhaltung der Waldleistungen in Kauf genommen werden. In erster Linie geht es darum, grossflächige Nadelholzbestände durch Einbringen von Laub- und anderen Nadelbaumarten und durch strukturierende Eingriffe heterogener zu machen (Abbildung 7). Auch wenn Nadelholzbestände generell anfälliger gegenüber biotischen und abiotischen Störungen sind, so zeigen Erfahrungen mit verschiedenen Pathogenen und Schadorganismen (Engesser et al 2008, dieses Heft), dass auch grossflächige Laubholzreinbestände wenn möglich zu vermeiden sind.

Förderung der genetischen Diversität und Provenienznachweise

Als wichtige forstliche Massnahme in einer sich schnell verändernden Umwelt mit nach wie vor grossen Unsicherheiten sollte neben der Baumarten- und Strukturvielfalt auch die genetische Vielfalt erhalten und gefördert werden (Ledig & Kitzmiller 1992). Dazu braucht es national koordinierte Programme zur Erhaltung des einheimischen Genpools in Samenbanken und Pflanzungen. Neben ganz praktischen Massnahmen wie beispielsweise der Erhöhung der Anzahl Mutterbäume bei der Samen-

ernte ist zudem die Nachzucht und Ausbringung regionaler Herkünfte zu fördern. Nicht einheimische Provenienzen aus wärmeren Regionen sollten nur kontrolliert, nicht grossflächig und gut dokumentiert eingebracht werden. Ein vorsichtiges Vorgehen ist angezeigt, denn obwohl diese Trockenheit und Hitze besser ertragen dürften, ist ihre Reaktion zum Beispiel auf Winter- und Spätfröste oder auf einheimische Schadorganismen wie Pilze, Krankheiten und Insekten nur schwer abschätzbar.

Wenn zur Zeit der grossflächigen Wiederaufforstungen in den Alpen (z.B. Kasthofer 1850, Landolt 1857) systematisch über die Provenienz der verwendeten Gehölze Buch geführt worden wäre, könnten wir heute abschätzen, welche Baumarten welcher Herkunft wie gut mit veränderten klimatischen Bedingungen umgehen können. Auch könnte die Baumartenpalette, respektive die Auswahl der verfügbaren Provenienzen, auf die aktuellen Anforderungen hin optimiert werden. Daher erachten wir die Einführung von flächendeckenden Provenienznachweisen für alle gepflanzten und gesäten Jungbäume in der Schweiz als eine wichtige Massnahme, um kommenden Generationen eine bessere Grundlage für die Baumarten- und Provenienzwahl zu verschaffen.

Entwickeln von angepassten Waldbaukonzepten

Der Waldbau muss hinsichtlich des Klimawandels überdacht und bei Bedarf angepasst werden (Brang et al 2008, dieses Heft, Lindner 2007). Der zwingende Einbezug von natürlichen Störungen (Wohlgemuth et al 2008, dieses Heft) in waldbauliche Bewirtschaftungskonzepte als Teil eines um-

fassenden Risikomanagements bedingt eine Vergrößerung der Planungseinheiten vom Forstbetrieb auf die Ebene Geländekammer respektive Landschaft (Bürgi & Brang 2001, Spittlehouse & Stewart 2003). Auch die Kontrolle und Bekämpfung von Schadorganismen und Krankheiten setzt eine grossflächigere Betrachtungsweise voraus (Waring & O'Hara 2005, Holdenrieder et al 2004). Die zukünftigen Waldbaukonzepte müssen deshalb auf der Landschaftsebene ansetzen. Folglich dürften die Entscheidungseinheiten in Zukunft die Betriebsebene öfter überschreiten, was eine verstärkte Koordination durch die kantonalen Forstdienste mit sich bringen wird. Der Fokus muss einerseits auf der Erhöhung der Resistenz der Wälder im Landschaftskontext gegenüber Sturm, Trockenheit, Feuer, Schadorganismen und Krankheiten liegen, und andererseits sollte die Ausbreitung und Entwicklung von Schadorganismen und Krankheiten erschwert werden. Die Konzepte müssen im Sinne der multifunktionalen Waldwirtschaft optimiert werden, und sie müssen finanzierbar sein. Es ist wichtig, zu bedenken, dass Multifunktionalität auf Landschaftsebene auch Monofunktionalität auf Bestandesebene beinhalten kann. Solche Konzepte bedingen einen ganzheitlichen Ansatz unter Berücksichtigung der ökologischen, technischen, sozioökonomischen und politischen Rahmenbedingungen. Die Durchführung von Experimenten (vgl. vorne) und der Einsatz von Modellen zur Analyse der Ökosystemprozesse, zur Abschätzung der Wirkung von waldbaulichen Eingriffen (Zimmermann & Bugmann 2008, dieses Heft) und zur Optimierung von Waldbewirtschaftungskonzepten sind unabdingbar (Olschewski et al 2008, dieses Heft).

Schlussfolgerungen

Die Waldwirtschaft steht vor einer unsicheren Zukunft mit grossen Herausforderungen. Die hier zu Papier gebrachten Einschätzungen und Ideen sind als Anstoss für die weitere, notwendige Diskussion zu verstehen. Wir sind überzeugt, dass aufgrund der langen Produktionszeiträume der Wälder die Diskussion über Anpassungen der bisherigen Bewirtschaftungskonzepte jetzt beginnen muss, auch wenn die Klimaentwicklung nach wie vor nicht im Detail bekannt ist. Die Massnahmen müssen aber wohlüberlegt, wissenschaftlich abgestützt und im internationalen Kontext vertretbar sein. Auf einen radikalen, von Panik getriebenen Waldumbau ist zu verzichten, da wir die damit verbundenen Risiken als gross einschätzen. Auch wenn wir mit Bedacht vorgehen, lässt es sich nicht vermeiden, dass einzelne der veranlassten Bewirtschaftungsmassnahmen im Laufe der Zeit überholt werden. In Anbetracht der bereits ablaufenden Prozesse und der erwarteten Klimaän-

derung kann es sich die Waldwirtschaft als Branche aber nicht leisten, die Steuerung der Waldbewirtschaftung aus der Hand zu geben und dem Zufall zu überlassen.

Eingereicht: 26. April 2008, akzeptiert (mit Review): 11. Juli 2008

Dank

Wir danken Felix Gugerli, Matthias Dobbertin und Werner Landolt für die wichtigen inhaltlichen Diskussionen im Zusammenhang mit dieser Arbeit.

Literatur

- BERGERON Y, ENGELMARK O, HARVEY B, MORIN H, SIROIS L (1998)** Key issues in disturbance dynamics in boreal forests: Introduction. *J Veg Sci* 9: 464–468.
- BIGLER C, BRÄKER OU, BUGMANN H, DOBBERTIN M, RIGLING A (2006)** Drought as inciting mortality factor in Scots pine stands of the Valais, Switzerland. *Ecosystems* 9: 330–343.
- BISCHOFF N (1984)** Begründung und pflegliche Nutzung von Gebirgswäldern. Ein Lesebuch als Leitfaden. Bern: Eidg Drucksachen Materialzentrale. 380 p.
- BRANG P ET AL (2008)** Klimawandel als waldbauliche Herausforderung. *Schweiz Z Forstwes* 159: 362–373. doi: 10.3188/szf.2008.0362
- BRANG P, HALLENBARTER D (2007)** Bewertung von Handlungsstrategien in Schutzwäldern: Ein integraler Modellansatz. *Schweiz Z Forstwes* 158: 176–193. doi: 10.3188/szf.2007.0176
- 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.
- BUGMANN H (1999)** Anthropogene Klimaveränderung. Sukzessionsprozesse und forstwirtschaftliche Optionen. *Schweiz Z Forstwes* 150: 275–287. doi: 10.3188/szf.1999.0275
- BÜRGI A, BRANG P (2001)** Das Klima ändert sich – Wie kann sich der Waldbau anpassen? *Wald Holz* 82 (3): 43–46.
- BÜRGI M, GIMMI U (2007)** Using oral history and forest management plans to reconstruct traditional non-timber forest uses in the Swiss Rhone Valley (Valais) since the late nineteenth century. *Environ Hist* 13: 211–246.
- DEVI N ET AL (2008)** Expanding forests and changing growth forms of Siberian larch at the treeline of the Polar Urals during the 20th century. *Glob Chang Biol* 14: 1581–1591.
- DOBBERTIN M ET AL (2005A)** The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) in Switzerland – the result of climate warming? *J Biometeorol* 50: 40–47.
- DOBBERTIN M ET AL (2005B)** The decline of *Pinus sylvestris* L. forests in the Swiss Rhone Valley – a result of drought stress? *Phyton* 45: 153–156.
- DUINKER PN (1990)** Climate change and forest management, policy and land use. *Land Use Policy* 7: 124–137.
- EASTAUGH C (2008)** Adaptations of Forests to Climate Change: A Multidisciplinary Review. Vienna: International Union of Forest Research Organizations, IUFRO Occasional Paper 21. 89 pp. www.iufro.org/download/file/2392/3753/op21.pdf (26.7.2008).

- ENGELMARK O, GAUTHIER S, VAN DER MAAREL E (2000) Disturbance dynamics in boreal and temperate forests: Introduction. *J Veg Sci* 11: 779–780.
- ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, WERMELINGER B (2008) Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels. *Schweiz Z Forstwes* 159: 344–351. doi: 10.3188/szf.2008.0344
- FORSTER B, MEIER F (2008) Klima, Sturm und Borkenkäfer. Merkblatt für die Praxis. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch. anst Wald Schnee Landsch, Merkbl Prax 44. 8 p.
- FREHNER M, WASSER B, SCHWITTER R (2005) Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft. 564 p.
- GEHRIG-FASEL J, GUISAN A, ZIMMERMANN NE (2007) Treeline shifts in the Swiss Alps: Climate Change or Land Abandonment? *J Veg Sci* 18: 571–582.
- GEHRIG-FASEL J, GUISAN A, ZIMMERMANN NE (2008) Evaluating thermal treeline indicators based on air and soil temperature using an air-to-soil transfer model. *Ecol Model*, in press.
- GLASGOW LS, MATLACK GR (2007) The effects of prescribed burning and canopy openness on establishment of two non-native plant species in a deciduous forest, southeast Ohio, USA. *For Ecol Manage* 238: 319–329.
- GRÊT-REGAMEY A, BEBI P, BISHOP ID, SCHMID W (2008) Linking GIS-based models to value ecosystem services in an Alpine region. *J Environ Manage*, in press.
- HANEY A, POWER RL (1996) Adaptive management for a sound ecosystem management. *Environ Manage* 20: 879–886.
- HODAR JA, CASTRO J, ZAMORA R (2003) Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. *Biol Conserv* 110: 123–129.
- HOLDENRIEDER O, PAUTASSO M, WEISBERG PJ, LONSDALE D (2004) Tree diseases and landscape processes: the challenge of landscape pathology. *Trends Ecol Evol* 19: 446–452.
- KASTHOFER K (1850) Die Entwaldung der Gebirge, zur Denkschrift des Kantonsforstmeisters Marchand. *Schweiz Z Forstwes* 1: 45–68.
- KÖLLING C, ZIMMERMANN L, WALENTOWSKI H (2007) Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte? *Allg Forst Jagdztg* 178: 584–588.
- LANDOLT E (1857) Vorlesung der an den Bundesrat abzugebenden Denkschrift des 1. Themas: «Folgen der Verwüstung im Hochgebirge» betreffend & daran sich knüpfende Diskussion. *Schweiz Z Forstwes* 8: 24.
- LEDIG FT, KITZMILLER JH (1992) Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change. *For Ecol Manage* 50: 153–169.
- LEIBUNDGUT H (1946) Femelschlag und Plenterung. Beitrag zur Festlegung waldbaulicher Begriffe. *Schweiz Z Forstwes* 97: 306–317.
- LEIBUNDGUT H (1990) Waldbau als Naturschutz. Stuttgart: Haupt. 123 p.
- LINDNER M (2000) Developing adaptive forest management strategies to cope with climate change. *Tree Physiol* 20: 299–307.
- LINDNER M (2007) How to adapt forest management in response to the challenges of climate change? In: Koskela J, Buck A, Teissier du Cros E, editors. *Climate change and forest genetic diversity: Implications for sustainable forest management in Europe*. Rome: Bioversity International. pp. 31–42.
- 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.
- LOGAN JA, RÉGNIÈRE J, GRAY DR, MUNSON AS (2007) Risk assessment in the face of a changing environment: Gypsy moth and climate change in Utah. *Ecol Appl* 17: 101–117.
- LOGAN JA, RÉGNIÈRE J, POWELL JA (2003) Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. *Front Ecol Environ* 1: 130–137.
- MEIER F, ENGESSER R, FORSTER B, ODERMATT O (2001) Forstschutzüberblick 2000. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch. anst Wald Schnee Landsch. 18 p.
- MEIER F, ENGESSER R, FORSTER B, ODERMATT O (2006) Forstschutzüberblick 2005. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch. anst Wald Schnee Landsch. 24 p.
- 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.
- MILLAR CI, WOLFENDEN WB (1999) The role of climate change in interpreting historical variability. *Ecol Appl* 9: 1207–1216.
- MOISEEV PA, VAN DER MEER M, RIGLING A, SHEVCHENKO IG (2004) Effect of climatic changes on the formation of Siberian spruce generations in subgoltsy tree stands of the Southern Urals. *Russ J Ecol* 35 (3): 135–143.
- MUELLER RC ET AL (2005) Differential tree mortality in response to severe drought: evidence for long-term vegetation shifts. *J Ecol* 93: 1085–1093.
- NOSS RF (2001) Beyond Kyoto: Forest management in a time of rapid climate change. *Conserv Biol* 15: 578–590.
- OCCC (2007) Klimaänderung und die Schweiz 2050. Bern: ProClim. 172 p.
- OLSCHESKI R, BEBI P, GRÊT-REGAMEY A, KRÄUCHI N (2008) Wald und Klimawandel – Ansätze für eine ökonomische Bewertung. *Schweiz Z Forstwes* 159: 374–380. doi: 10.3188/szf.2008.0374
- OTT E, FREHNER M, FREY HU, LÜSCHER P (1997) Gebirgsnadelwälder. Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern: Haupt. 287 p.
- PENUELAS J, BOADA M (2003) A global change-induced biome shift in the Montseny mountains (NE Spain). *Glob Chang Biol* 9: 131–140.
- RIGLING A ET AL (2006) Baumartenwechsel in den Walliser Waldföhrenwäldern. In: Wohlgenuth T, editor. *Wald und Klimawandel*. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch. anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen 2006. pp. 23–33.
- RIGLING A, CHERUBINI P (1999) Wieso sterben die Waldföhren im «Telwald» bei Visp? Eine Zusammenfassung bisheriger Studien und eine dendroökologische Untersuchung. *Schweiz Z Forstwes* 150: 113–131. doi: 10.3188/szf.1999.0113
- SCHÄDELIN W (1928) Stand und Ziele des Waldbaues in der Schweiz. *Schweiz Z Forstwes* 79: 119–139.
- SCHÄR C ET AL (2004) The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature* 427: 332–336.
- SCHÜTZ JP (1989) Waldbauliches Verhalten und Veränderung der bisherigen Waldbaukonzepte in durch komplexe Schäden gestörten Wäldern. In: Bucher JB, Bucher-Wallin I, editors. *Air pollution and forest decline (volume 1)*. Teufen: Flück-Wirth. pp. 343–347.
- SCHÜTZ JP (1990) *Sylviculture 1. Principes d'éducation des forêts*. Lausanne: Presses polytechniques et universitaires romandes. 254 p.

- SCHÜTZ JP (1999) Naturnaher Waldbau: gestern, heute, morgen. *Schweiz Z Forstwes* 150: 478–483. doi: 10.3188/szf.1999.0478
- SCHÜTZ JP (2002) Silvicultural tools to develop irregular and diverse forest structures. *Forestry* 75: 329–337.
- SEYMOUR RS, WHITE AS, DE MAYNADIER PG (2002) Natural disturbance regimes in northeastern North America – evaluating silviculture systems using natural scales and frequencies. *For Ecol Manage* 155: 357–367.
- SHIYATOV SG (2003) Rates of change in the upper tree-line ecotone in the Polar Ural mountains. www.pages-igbp.org/products/newsletters/nl2003_1.pdf
- SOLOMON S ET AL, EDITORS (2007) *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. 996 p.
- SPITTLEHOUSE DL, STEWART RB (2003) Adaptation to climate change in forest management. *BC J of Ecosyst Manage* 4 (1): 1–11.
- TINNER W, LOTTER AF (2006) Holocene expansion of *Fagus sylvatica* and *Abies alba* in Central Europe: where are we after eight decades of debate? *Quat Sci Rev* 25: 526–549.
- VON GADOW K (2006) *Forsteinrichtung, adaptive Steuerung und Mehrpfadprinzip*. Göttingen: Universitätsverlag. 163 p.
- WALTERS CJ (1986) *Adaptive management of renewable resources*. New York: McGraw Hill. 374 p.
- WALTHER GR (2006) Palmen im Wald? Exotische Arten nehmen in Schweizer Wäldern bei wärmeren Temperaturen zu. In: Wohlgemuth T, editor. *Wald und Klimawandel*. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen 2006. pp. 55–61.
- WALTHER GR ET AL (2007) Palms tracking climate change. *Global Ecol Biogeogr* 16: 801–809.
- WALTHER GR, BERGER S, SYKES MT (2005) An ecological «footprint» of climate change. *Proc R Soc B* 272: 1427–1432.
- WALZ A ET AL (2007) Merging local system knowledge and numeric regional modelling through scenario development. *Landsc Urban Plan* 81: 114–131.
- WARING KM, O'HARA KL (2005) Silvicultural strategies in forest ecosystems affected by introduced pests. *For Ecol Manage* 209: 27–41.
- WILLIAMS DW, LIEBHOLD AM (2002) Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles. *Agric For Entomol* 4: 87–99.
- WOHLGEMUTH T ET AL (2005) Ökologische Resilienz nach Feuer: Die Waldbrandfläche Leuk als Modellfall. *Schweiz Z Forstwes* 156: 345–352. doi: 10.3188/szf.2005.0345
- 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
- WOHLGEMUTH T, BUGMANN H, LISCHKE H, TINNER W (2006) Wie rasch ändert sich die Waldvegetation als Folge von raschen Klimaänderungen? In: Wohlgemuth T, editor. *Wald und Klimawandel*. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen 2006. pp. 7–16.
- WOHLGEMUTH T, BÜRGI M, SCHEIDEGGER C, SCHÜTZ M (2002) Dominance reduction of species through disturbance – a proposed management principle for central European forests. *For Ecol Manage* 166: 1–15.
- 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

Klimawandel als Prüfstein für die Waldbewirtschaftung

Klimaszenarien sagen für die Schweiz bis ins Jahr 2050 eine Erwärmung um 2 °C voraus. Zudem wird erwartet, dass die Winter feuchter, die Sommer trockener und extreme Wetterereignisse häufiger werden. Extreme Hitzesommer wie 2003 könnten alle paar Jahre eintreten. Sollten diese Prognosen eintreffen, dann werden die Schweizer Wälder stark betroffen sein. Neben den direkten Wirkungen des Klimawandels wie Dürren, Hitzewellen und Stürmen dürften vor allem die indirekten Folgen wie Krankheiten, Schadinsekten und Waldbrände die Walddynamik grundlegend verändern. Nach wie vor bestehen grosse Unsicherheiten, was das Ausmass und die Geschwindigkeit der zu erwartenden Veränderungen anbetrifft. Trotzdem sollten wir nicht einfach abwarten, bis Klarheit herrscht. Vielmehr sollte die Forstwirtschaft frühzeitig, aber wohlüberlegt und wissenschaftlich abgestützt handeln. Im Sinne des adaptiven Waldmanagements sollte eine schrittweise Anpassung der Waldbewirtschaftung angestrebt werden, mit dem Ziel, die Widerstandskraft der Wälder gegenüber Veränderungen zu erhöhen, ihr Reaktionsvermögen nach Störungen zu fördern und bereits ablaufende Anpassungsprozesse zu unterstützen. Um dieses iterative Herantasten an eine verbesserte Waldbewirtschaftung zu strukturieren, wird ein dreistufiges Vorgehen vorgeschlagen: 1) Zustands- und Systemanalyse des Schweizer Waldes, 2) kurzfristige Anpassungen der Waldbewirtschaftungskonzepte, 3) Entwicklung von neuen, an den Klimawandel angepassten Waldbewirtschaftungskonzepten.

Le changement climatique, nouveau défi pour la gestion forestière

Les scénarios climatiques prévoient pour la Suisse un réchauffement de 2° C d'ici à 2050. On s'attend également à des hivers plus humides, des étés plus secs et des extrêmes météorologiques plus fréquents – des étés caniculaires à l'image de celui de 2003 pourraient se succéder à quelques années d'intervalle. Si ces prévisions se réalisent, les forêts suisses seront fortement concernées. Or, si le changement climatique a pour effets directs des périodes de sécheresse, des vagues de chaleur et des tempêtes, ce sont surtout ses conséquences indirectes – maladies, insectes ravageurs, incendies de forêt – qui modifieront sans doute fondamentalement la dynamique forestière. De grandes incertitudes demeurent quant à l'ampleur et la rapidité des modifications à venir. Attendre que la situation se clarifie serait toutefois une erreur. La foresterie devrait au contraire agir de façon précoce mais réfléchie, sur la base de données scientifiques. Dans le sens d'une gestion forestière adaptative, une démarche progressive devrait être recherchée. Ses objectifs: augmenter la résistance des forêts face à ces modifications, favoriser leur capacité de réaction à la suite des perturbations et soutenir les processus d'adaptation en cours. Pour structurer cette approche itérative en vue d'une meilleure gestion forestière, une procédure en trois étapes est proposée: 1) analyse de l'état et analyse systémique de la forêt suisse, 2) adaptation à court terme des concepts de gestion forestière, 3) développement de nouveaux concepts de gestion forestière adaptés au changement climatique.