

# Wald und Klimawandel – Ansätze für eine ökonomische Bewertung

Roland Olschewski

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

Peter Bebi

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

Adrienne Grêt-Regamey

Institut für Raum- und Landschaftsentwicklung, ETH Zürich (CH)

Norbert Kräuchi

Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

## Forests and climate change – approaches to an economic valuation

The impact of climate change on forest ecosystem services will differ depending on the regional situation. Based on findings of natural sciences the impact on society can be assessed by applying economic valuation methods. We distinguish between cost- and benefit-oriented approaches, both of which necessary to provide a comprehensive basis for decision-making. Aspects of uncertainty that are especially related to protection services are considered by extended approaches, such as Bayesian networks combined with geographic information systems. Following an adaptive management approach these new findings can be integrated in the decision process and thus contribute to a sustainable resource use, while taking climate change as well as society's diverse demands for forest ecosystem services into account.

**Keywords:** forest ecosystem services, Bayesian networks, adaptive management, avalanche protection

**doi:** 10.3188/szf.2008.0374

\* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail roland.olschewski@wsl.ch

In den vergangenen Jahren haben sich zahlreiche Studien mit der Bestimmung der globalen Kosten des Klimawandels beschäftigt (u.a. Nordhaus & Yang 1996, Tol 2002, Keller et al 2004). Ein Bericht im Auftrag der britischen Regierung kommt beispielsweise für ein «Business-as-usual-Szenario» und den damit verbundenen Temperaturanstieg um 2–3 °C zu dem Ergebnis, dass ein Verlust von mindestens 5% des globalen jährlichen Pro-Kopf-Konsums «jetzt und für immer» zu erwarten ist. Die Kosten der Vermeidung der schlimmsten Auswirkungen werden hingegen mit nur etwa 1% des globalen Bruttoinlandsprodukts beziffert (Stern 2007). Obwohl dieser Bericht und die daraus resultierende Empfehlung eines sofortigen und umfassenden Handelns verschiedentlich kritisiert wurden (Tol & Yohe 2006, Nordhaus 2007, Hostettler 2008), besteht grundsätzliche Übereinstimmung darin, dass der Klimawandel ökonomische Auswirkungen haben wird (IPCC 2007). Diese zeigen sich beispielsweise in der Veränderung ökosystemarer Leistungen, die wiederum Auswirkungen auf die Wohlfahrt der Gesellschaft haben können (Schröter et al 2005).

Bezogen auf den Forstsektor ist ein starker Einfluss des Klimawandels auf die Struktur und die Leistungen der Wälder zu erwarten (Watson et al 2000, Parry et al 2007), wobei sich dieser regional stark unterscheiden wird und sowohl positiv als auch negativ sein kann. Globale Szenarioberechnungen

von Perez-Garcia et al (2002) ergeben bis zum Jahr 2040 einen allgemein schwach positiven Wohlfahrtseffekt basierend auf den kumulativen Effekten eines höheren Holzzuwachses, grösserer Erntemengen sowie daraus resultierender Preisanpassungen. Sohngen et al (2007) befassen sich mit den Auswirkungen auf die Produktivität und Verteilung der Wälder unter Berücksichtigung unterschiedlicher Störungsregimes und verschiedener Zeiträume. In ihrem Übersichtsartikel kommen sie zu dem Schluss, dass die kurzfristigen ökonomischen Effekte (bis 2020) eher gering sein werden, jedoch auf mittlere und längere Sicht stärker zu berücksichtigen sind.

Für den Schweizer Wald wird durch die Klimaerwärmung allgemein ein Anstieg der Produktivität in höheren Lagen und vermehrter Trockenstress in tieferen und trockenen Lagen erwartet (OcCC 2007, North et al 2007). Theurillat & Guisan (2001) geben jedoch zu bedenken, dass es aufgrund verschiedener Mesoklimate unmöglich ist, allgemeingültige Szenarien zum Beispiel für die gesamte Alpenregion zu entwickeln. Die speziellen, regionalen Auswirkungen des Klimawandels werden in den vorstehenden Beiträgen aus naturwissenschaftlicher Sicht dargestellt. In diesem Aufsatz werden die Leistungen des Waldes und mögliche Veränderungen aus gesellschaftlicher Sicht betrachtet. Dabei werden ökonomische Bewertungsansätze vorgestellt, diskutiert

und anhand eines Beispiels illustriert sowie weiterer Forschungsbedarf abgeleitet.

## Waldleistungen

Wälder erfüllen eine Vielzahl von ökosystemaren Funktionen. Inwieweit diese als Wirkungen oder Leistungen des Waldes bezeichnet werden können, wurde bereits in der Vergangenheit insbesondere im deutschsprachigen Raum diskutiert (Burschel 1994, Blum et al 1996). Mit dem Ökosystemansatz als umfassendem Rahmen für die Analyse und Bewertung von Mensch-Umwelt-Beziehungen hat in jüngerer Zeit der Begriff «Ecosystem Service» an Bedeutung gewonnen (MEA 2005). In Bezug auf das Ökosystem Wald lassen sich folgende Leistungen unterscheiden: a) die Unterstützung natürlicher Prozesse (Primärproduktion, Nährstoffkreisläufe), b) die Bereitstellung von Gütern (wie z.B. Holz) und kulturellen beziehungsweise ästhetischen Informationen, c) die Regulation von Wasserabfluss und Mikroklima sowie d) die Gewährleistung von Schutz (Biodiversitäts- und Habitatsschutz, Schutz vor Naturgefahren; vgl. de Groot 1994, MEA 2005, Bebi et al 2005, Bafu 2007).

Viele Leistungen der Schweizer Wälder könnten sich im Zuge des Klimawandels verändern. Die Forstwirtschaft müsste dann neben der Berücksichtigung einer Produktivitätsänderung vorhandener Baumarten auch einen klimagerechten, adaptiven Waldbau beziehungsweise Waldumbau anstreben, um dem ökonomischen Risiko (Nichols et al 2006, Knoke et al 2008) sowie möglichen Auswirkungen auf den Trinkwasserschutz (Rothe & Mellert 2004) und das Bestandesmikroklima Rechnung zu tragen. Die Leistungen der Wälder in Bezug auf den Schutz vor Naturgefahren könnten ebenfalls beeinflusst werden. Dabei sind zum Teil gegenläufige Entwicklungen zu beachten. So könnte eine Verlagerung der Waldgrenze nach oben die Wirksamkeit der Wälder gegen Lawinen und Steinschlag und die klimarelevante Kohlenstoffspeicherung erhöhen (Theurillat & Guisan 2001). Andererseits zeigen die Beiträge in diesem Heft, dass eine Beeinträchtigung der Schutzleistung ebenfalls möglich ist und negative Effekte durch Wirkungskaskaden nicht ausgeschlossen werden können.

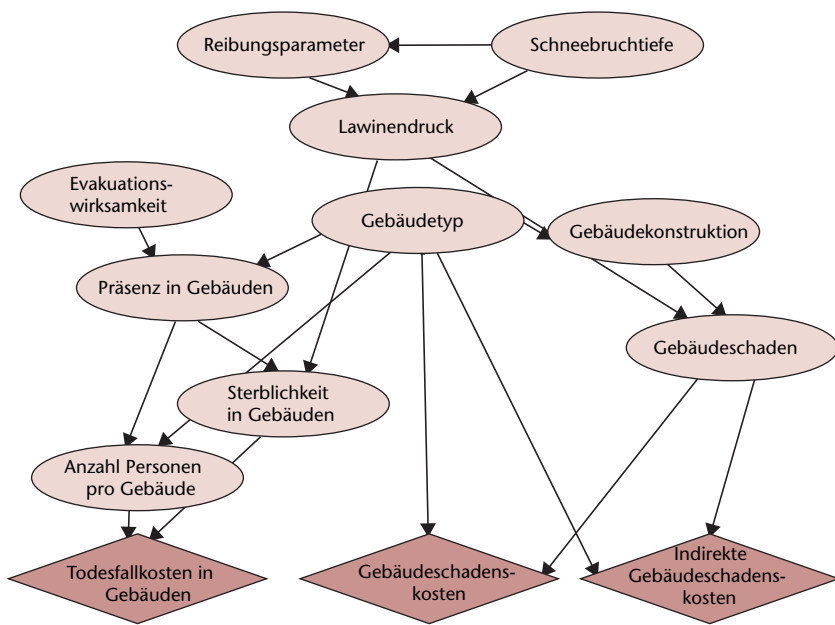
## Methoden zur Bewertung von Waldleistungen

Die OECD (2007) empfiehlt in ihrer «Environmental Performance Review – Switzerland», die Bewertung ökosystemarer Leistungen zu verbessern und auszudehnen, um deren Bedeutung für die Gesellschaft zu verdeutlichen. Sofern diese Leistungen

auf Märkten gehandelt werden, beispielsweise in Form von Holz oder CO<sub>2</sub>-Zertifikaten, kann die Bewertung über Marktpreise erfolgen. Häufig ist dies aufgrund des Öffentlichen-Gut-Charakters der Leistungen nicht gegeben, wodurch eine Bestimmung ihres Wertes erschwert wird. In diesem Fall stehen jedoch verschiedene Bewertungsmethoden zur Verfügung, die im Folgenden beschrieben werden.

Eine wichtige Leistung des Waldes besteht in der Bereitstellung von Erholungsmöglichkeiten. Ist diese nur durch zusätzliche Waldbauaktivitäten oder die Beschränkung der Waldbewirtschaftung etwa entlang von Wanderwegen zu erbringen, kann der damit verbundene Mehraufwand beziehungsweise Minderertrag als Grundlage für die Bewertung aus betrieblicher Sicht eines Anbieters dienen (Bartelheimer 1993, Bergen et al 2002). Stehen zur Gewährleistung des Trinkwasserschutzes mehrere Alternativen zur Verfügung, so kann die Bewertung mithilfe der Alternativkostenmethode erfolgen. Dabei kann der Kostenvorteil einer waldbaulichen Massnahme, die sich positiv auf die Wasserqualität auswirkt, unter bestimmten Bedingungen zur Bewertung einer alternativen Wasseraufbereitungsmassnahme herangezogen werden (Olschewski 1997). Eine weitere Möglichkeit bietet die Berechnung der Wiederherstellungskosten, bei der beispielsweise der Lawinenschutz anhand der Kosten bewertet wird, die nach Schadenseintritt bei der Wiederherstellung des ursprünglichen Zustands entstehen würden. Alle genannten Ansätze beziehen sich auf Kostenaspekte, sagen jedoch nichts über den Nutzen aus, der durch eine Schutzleistung entsteht. Um Empfehlungen für Praxisentscheidungen geben zu können, ist es sinnvoll, die Kosten und Nutzen der Leistungsbereitstellung zu vergleichen. Dies macht eine zusätzliche Bewertung aus Sicht der Nachfrager von Waldleistungen unumgänglich.

Die Bewertung anhand von geäußerten Präferenzen setzt auf der Nachfrageseite dieser Leistungen an und macht sich die Erfahrungen zunutze, die Menschen auf Märkten gesammelt haben. Dabei werden der gegebene Umfang der zu bewertenden Leistung sowie die voraussichtliche Änderung detailliert beschrieben. Zusätzliche Angaben über die Art der Bezahlung und Bereitstellung des Gutes versetzen die Befragten in eine marktähnliche Situation, aus der heraus die Bewertung erfolgt (Löwenstein 1994, Bergen et al 2002). Beispiele für derartige Bewertungsansätze liefern die «Bedingte Bewertungsmethode» und «Choice Experiments» (Schweizer Studien, u.a.: Bernath 2006, Bernath et al 2006, Schmitt et al 2005). Da deren Durchführung jedoch zeitlich und finanziell relativ aufwendig ist, kommt als weiterer Ansatz der «Benefit Transfer» immer häufiger zur Anwendung. Dabei wird versucht, die Ergebnisse von Bewertungsstudien aus einem bestimmten räumlichen, zeitlichen und ökonomischen



**Abb 1** Bayes'sches Netzwerk der Lawinenschutzwirksamkeit. Das Netzwerk der ovalen Knoten repräsentiert relevante Zustandsvariablen und entsprechende Kausalbeziehungen. Die Rhomboide stellen den Output bezüglich verschiedener Risikokategorien dar.

Zusammenhang in einen anderen Kontext zu übertragen (Troy & Wilson 2006). Zu diesem Zweck gibt es in jüngerer Zeit Bestrebungen, standardisierte und validierbare Transfertechniken zu entwickeln (Wilson & Hoehn 2006).

### Bewertung unter Unsicherheit

Die Bereitstellung vor allem der Schutzleistungen ist häufig mit Unsicherheit behaftet, die sich sowohl auf den Eintritt eines Schadereignisses als auch auf das Schadensausmass erstreckt. Der potenzielle Einfluss des Klimawandels auf die Wälder verstärkt diese Unsicherheit zusätzlich, da häufigere und intensivere Störungsereignisse die Bestandesstruktur und damit auch die Schutzleistungen verändern können (Brang & Hallenbarter 2007).

Eine Möglichkeit zum quantitativen und qualitativen Einbezug der Unsicherheit bietet die «Information-Gap-Theorie». Sie beschäftigt sich mit der Frage, welches Ausmass an Unsicherheit (beispielsweise beim Lawinenschutz durch Wald) zugelassen werden kann, bevor eine Entscheidungsänderung (technische Verbauung) erfolgen muss, um inakzeptable Resultate zu vermeiden (Ben-Haim 2006). Dabei werden diejenigen Handlungsoptionen vorgezogen, die am wenigsten anfällig gegenüber Modell- und Datenfehlern sind. Die Stärke dieses Ansatzes beruht in der Möglichkeit, die Sensitivität einer Entscheidung in Bezug auf eine Vielzahl möglicher Fehlerquellen und Unsicherheitsaspekte simultan zu bestimmen (Regan et al 2005, Knoke 2008). Darüber

hinaus können die Ergebnisse eines räumlich expliziten adaptiven forstlichen Managements (Walters & Holling 1990) in einen kontinuierlichen Entscheidungsprozess einfließen. Durch dieses Vorgehen werden die bei Wirkungskontrollen gewonnenen zusätzlichen Erkenntnisse bei der Bewertung berücksichtigt. Dazu ist es nötig, a) Hypothesen über die Funktionsweise des Systems und Vorhersagen über die Auswirkungen der verschiedenen Entscheidungsmöglichkeiten aufzustellen, b) die Folgen der getroffenen Entscheidungen mit den ursprünglich vorhergesagten Folgen zu vergleichen und c) die daraus gewonnenen Erkenntnisse über die Funktionsweise des Systems bei späteren Entscheidungen zu berücksichtigen (Benidickson et al 2005).

Als weitere Methode zur systematischen Erfassung von Unsicherheiten auf verschiedenen Stufen der Risikoanalyse können sogenannte Bayes'sche Netzwerke benutzt werden (Grêt-Regamey & Straub 2006). Dabei handelt es sich um grafische Modelle, mit welchen sich unsicheres Wissen und mögliche Schlussfolgerungen daraus abbilden lassen. Im Gegensatz zu regelbasierten Entscheidungssystemen (z.B. Entscheidungsbäume) sind Bayes'sche Netzwerke normative Expertensysteme, die den Unsicherheitsbereich modellieren. Alle Variablen im Modell werden als Knoten und die Beziehungen zwischen den Variablen als Linien dargestellt (Abbildung 1). Der Zustand jeder Variable wird durch eine Eintrittswahrscheinlichkeit charakterisiert. Die Abhängigkeiten zwischen den Variablen werden grafisch durch Verbindungslinien dargestellt und numerisch als bedingte Wahrscheinlichkeiten tabelliert.

Durch die Kombination eines Bayes'schen Netzwerkes mit Geoinformationen können Risiken und die mit der Risikoberechnung verbundenen Unsicherheiten für jede Flächeneinheit entsprechend den räumlich variierenden Einflussfaktoren berechnet und visualisiert werden. Ein weiterer Vorteil der Bayes'schen Netzwerke ist, dass sie erlauben, neue Daten oder Expertenwissen in das Modell zu integrieren und somit die Unsicherheiten bezüglich der Beziehungen zwischen den Variablen zu verringern. Dies ist gerade im Umgang mit Naturgefahrenrisiken sehr wichtig, weil Ergebnisse von neu erfassten Ereignissen laufend in das Modell integriert werden können.

### Beispiel: ökonomische Bewertung der Lawinenschutzleistung unter veränderten Rahmenbedingungen

Als Beispiel einer ökonomischen Bewertung von klima- und landnutzungsbedingter Waldveränderung wird im Folgenden die Lawinenschutzleistung eines Waldes für verschiedene Szenarien berechnet und diskutiert. Dabei wird die oben ein-

geführte Methode einer Risikoberechnung mittels Bayes'scher Netzwerke für eine Fallstudie in Davos verwendet (Abbildung 1). Dieser Ansatz wurde gewählt, um Beobachtungen von Lawinnenniedergängen, welche im Lawinenkataster der letzten 57 Jahre in Davos erfasst sind, in das Risikoanalysemodell zu integrieren und somit die Unsicherheiten bezüglich der Parameter zu verringern. Straub & Grêt-Regamey (2006) beschreiben diesen Arbeitsschritt im Detail. Das Fallstudiengebiet ist ein rund 5 km<sup>2</sup> grosser Ausschnitt der Landschaft Davos, welcher Wälder der Nordost- bis Nordwestflanke des Jakobshorns enthält und für den eine grosse Anzahl von Schadenlawinendaten vorliegt (Abbildung 2).

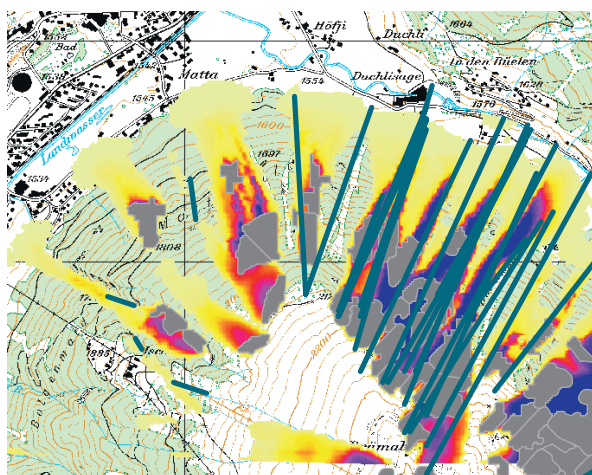
Das Bayes'sche Netzwerk zur Berechnung der Lawinenschutzwirksamkeit basiert auf dem zweidimensionalen Lawindynamikmodell AVAL-2D (Gruber 1998). Das Programm AVAL-2D identifiziert mögliche Lawinanrissflächen, berechnet Auslaufdistanzen, Geschwindigkeiten und Drücke von Lawinen. Der Output der Lawinenmodellierung ist ein Wahrscheinlichkeitsmodell der maximal möglichen Lawinendrucke an jedem Standort des Untersuchungsgebietes. Dieses Modell wurde mithilfe von Daten realer Lawinenereignisse zwischen 1950 und 2003 im Untersuchungsgebiet verbessert und diente dann als Input für die weitere Risikoanalyse. Die Risikoanalyse mit einem Bayes'schen Netzwerk wird in Grêt-Regamey & Straub (2006) und Straub & Grêt-Regamey (2006) ausführlich beschrieben. Die Lawinenmodellierung und die darauf aufbauende Risikoanalyse werden exemplarisch für drei Waldzustände durchgeführt:

1) für den aktuellen Waldzustand, welcher aufgrund von Orthofotos aus dem Jahr 2000 in vier verschiedenen Klassen von Bestandesdichten erfasst wurde (Lardelli 2003);

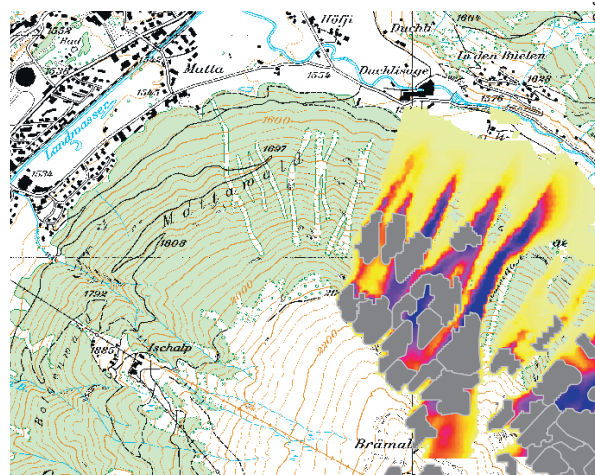
2) für ein Klima- und Landnutzungsszenario, welches auf der Landschaftsmodellierung von Walz (2006) beruht. Dabei wird bis zum Jahr 2050 von einer Erhöhung der Durchschnittstemperatur um 2 °C ausgegangen, was im Untersuchungsgebiet eine leichte Erhöhung der Waldgrenze und tendenziell dichtere subalpine Wälder ausserhalb der grossen Lawinenzüge bewirkt;

3) für eine Situation ohne Wald, welche als Extremzenario beispielsweise im Fall eines grossflächigen Waldbrandes relevant wäre. Ein solch extremes Waldbrandzenario ist unter den jetzigen klimatischen Verhältnissen in Davos eher unwahrscheinlich, könnte aber unter der Annahme von vermehrten trockenen und warmen Sommern in Zukunft an Bedeutung gewinnen (vgl. OcCC 2007, Schumacher & Bugmann 2006).

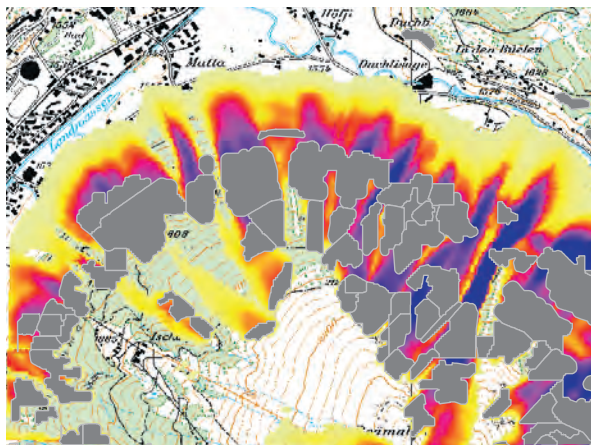
Beim aktuellen Waldzustand (Abbildung 2) liegen potenzielle Lawinanrisse vor allem oberhalb der Waldgrenze auf nordöstlich exponierten Flächen, welche im Jahr 1997 zum Teil technisch verbaut wurden. Für ein 30-jähriges Ereignis wurde daraus ein Schadenerwartungswert (Risiko) von 2.9 Mio. CHF pro Jahr errechnet. Im Fall einer Waldflächenausdehnung und -verdichtung ohne Erhöhung der Störungswahrscheinlichkeit wachsen einzelne waldgrenzennahe Lawinanrissflächen zu, was zu einer drastischen Verringerung des Risikos auf zirka 6500 CHF pro Jahr führt (Abbildung 3). Dieses mit dem Bayes'schen Netzwerk berechnete Resultat beschreibt das wahrscheinlichste Risiko unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Variablen und ihrer Verknüpfungen. Dabei wurden beispielsweise Todesfallkosten mithilfe einer Gauss'schen Wahrscheinlichkeitsverteilung und einem Mittelwert von 5 Mio. CHF berechnet, um die in der Literatur vorkommenden unterschiedlichen



**Abb 2** Jetziger Waldzustand mit Lawinenmodellierung (grau: Lawinanrissgebiete, gelb-blau: Drücke der Lawinenmodellierung) und Lawinenbeobachtungen aus der Schadenlawinendatenbank (dunkelgrüne Linien). Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (BA 081489).



**Abb 3** Klima- und Landnutzungsszenario, charakterisiert durch eine Erhöhung der Waldgrenze und Verdichtung der Waldstrukturen (grau: Lawinanrissgebiete, gelb-blau: Drücke der Lawinenmodellierung analog zu Abbildung 2). Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (BA 081489).



**Abb 4** Szenario ohne Wald (grau: Lawinanrissgebiete, gelb-blau: Drücke der Lawinenmodellierung analog zu Abbildung 2). Rreproduziert mit Bewilligung von Swisstopo (BA 081489).

Bewertungsansätze für menschliches Leben zu berücksichtigen (Merz et al 1995). Das Extremszenario, bei welchem durch einen grossflächigen Waldbrand der Schutzwald zerstört würde, wäre mit einer Zunahme des erwarteten Risikos auf jährlich 82.5 Mio. CHF verbunden, da grosse Teile des Siedlungsgebietes neu im Einflussbereich von Lawinen liegen würden (Abbildung 4).

Die räumlich expliziten Risikoanalysen verdeutlichen, wie unterschiedlich sich Veränderungen von Waldstruktur und Waldfläche auf das Risiko auswirken können, je nachdem, wo eine solche Veränderung stattfindet (Steilheit des Gebietes, benachbarte Anrisszonen, Schadenpotenzial unterhalb des Waldes). Die Bewertung von positiven und negativen Folgen des Klimawandels hängt also entscheidend vom gewählten Untersuchungsgebiet und Szenario ab und kann lokal und regional sehr stark variieren. Wie in Grêt-Regamey & Straub (2006) dargestellt, variieren insbesondere auch die den Berechnungen zugrunde liegenden Unsicherheiten auf kleinem Raum und sind beispielsweise am Rand von Lawinenauslaufzonen deutlich erhöht.

Bayes'sche Netzwerke in Verbindung mit geografischen Informationssystemen (GIS) dienen dazu, Risiken unter verschiedenen Szenarien besser darzustellen und waldbauliche Massnahmen objektiver zu priorisieren. Beispielsweise lässt sich aus den Karten ableiten, wo ein Einwachsen zur Verbesserung des Lawinenschutzes respektive zur Risikoverminderung beitragen kann und wo nicht. Im ausgewählten Untersuchungsgebiet spielen neben dem Lawinenschutz weitere Leistungen wie die Holzproduktion, der Habitatschutz, die Bereitstellung von Erholungsmöglichkeiten sowie die Bindung von Kohlendioxid eine wichtige Rolle, welche mittels verschiedener Ansätze ebenfalls monetär bewertet und mit ihren Unsicherheitsbereichen räumlich dargestellt werden können (Grêt-Regamey et al 2008).

Die gleichzeitige Bewertung und Optimierung verschiedener Umweltdienstleistungen mithilfe von Bayes'schen Netzwerken wird zurzeit weiterentwickelt und kann – ergänzt um eine Bewertung aus Sicht der Nachfrager – eine wesentliche Entscheidungshilfe bieten. Die Entscheidung darüber, welche Risiken beziehungsweise welche Veränderungen von Umwelteleistungen zu akzeptieren sind, ist aber letztendlich eine gesellschaftspolitische Frage, welche nebst der Beachtung ökonomischer Bewertungsergebnisse auch unter Berücksichtigung ethischer Grundsätze zu treffen ist.

## Schlussfolgerungen

Die frühere Auffassung, dass die vielfältigen Leistungen des Waldes quasi im Kielwasser der Holzproduktion automatisch bereitgestellt werden, wird heute nur noch in sehr begrenztem Ausmass vertreten. Vielseitige Ansprüche an den Wald seitens der Gesellschaft bei gleichzeitig sich ändernden klimatischen Bedingungen führen zu Nutzungskonflikten und unsicheren Entscheidungsgrundlagen. In dieser Situation ist ein adaptives Waldmanagement gefragt, das sowohl die kurz- und mittelfristigen Interessen berücksichtigt als auch eine langfristige nachhaltige Waldbewirtschaftung gewährleistet. Eine Entscheidungshilfe liefert dabei die ökonomische Analyse der Kosten und Nutzen verschiedener Walddienstleistungen.

Während die nutzenorientierten Methoden im Einklang mit der wohlfahrtsökonomischen Theorie stehen und den subjektiven Charakter der Bewertung betonen, werden sie häufig als nur begrenzt praktikabel kritisiert (vgl. Bergen 1993). Die kostenbasierten Methoden hingegen finden häufig eine höhere Akzeptanz in der Praxis, obwohl ihre Ergebnisinterpretation aus wohlfahrtstheoretischer Sicht oftmals problematisch erscheint (vgl. Olschewski 1997). Für eine fundierte Entscheidungsfindung werden beide Ansätze benötigt: Mag aus forstbetrieblicher Sicht ein Kostenvergleich verschiedener Massnahmen zur Gewährleistung einer bestimmten Leistung zielführend sein, so stellt sich aus gesellschaftlicher Sicht die Frage, ob die Bereitstellung dieser Leistung überhaupt wertgeschätzt wird. Welchen Beitrag die Übertragung von Ergebnissen aus einem anderen Kontext (Benefit Transfer) bei der Bewertung leisten kann, hängt zum einen davon ab, ob der häufig kritisierte Mangel an theoretischer Fundierung dieses Ansatzes behoben werden kann (Smith 1992). Zum anderen zeigen die vorgestellten Ergebnisse aber auch, dass lokale und regionale Aspekte nur begrenzt übertragbar sind. Erschwerend kommt hinzu, dass viele Entscheidungen unter Unsicherheit zu treffen sind, die auch mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf die Bereitstellung der

ökosystemaren Leistungen umfasst. Die in diesem Zusammenhang vorgestellten Ansätze spiegeln aktuelle Entwicklungen der risikobasierten Bewertung wider. Darüber hinaus besteht ein dringender interdisziplinärer Forschungsbedarf, um die durch den Klimawandel deutlich werdende Verknüpfung naturwissenschaftlicher und sozioökonomischer Fragestellungen (beispielsweise im Schutzwaldmanagement) genauer zu analysieren. In enger Zusammenarbeit mit der forstlichen Praxis könnte so ein wissenschaftlich fundierter Beitrag für eine nachhaltige Forstwirtschaft geleistet werden. ■

Eingereicht: 17. März 2008, akzeptiert (mit Review): 11. Juli 2008

## Literatur

- BAFU (2007)** Harmonisierung der Kriterien zur Schutzwald-ausscheidung – Synthesebericht zum Projekt Silva-Protect-CH Phase II. Bern: Bundesamt Umwelt. 17 p.
- BARTELHEIMER P (1993)** Betriebswirtschaftliche Ansätze zur monetären Bewertung der Sozialleistungen des Waldes. In: Bergen V, Brabänder HD, Bitter AW, Löwenstein W, editors. Monetäre Bewertung landeskultureller Leistungen der Forstwirtschaft. Frankfurt a M: JD Sauerländer, 2 ed. pp. 1–39.
- BEBI P, GRÊT-REGAMEY A, RHYNER J, AMMANN WJ (2005)** Risikobasierte Schutzwaldstrategie – Den Schutzwald nach Risikokriterien bewirtschaften. Wald Holz 84: 53–56.
- BEN-HAIM Y (2006)** Info-Gap decision theory: Decisions under severe uncertainty. Amsterdam: Academic Press, 2 ed. 384 p.
- BENIDICKSON J ET AL (2005)** Practicing precaution and adaptive management: Legal, institutional and procedural dimensions of scientific uncertainty. Final report, submitted to SSHRC & Law Commission of Canada. Ottawa: Univ Ottawa, Inst Environment. pp. D61–D84.
- BERGEN V (1993)** Theorie der monetären Bewertung der Sozialleistungen des Waldes. In: Bergen V, Brabänder HD, Bitter AW, Löwenstein W, editors. Monetäre Bewertung landeskultureller Leistungen der Forstwirtschaft. Frankfurt a M: JD Sauerländer, 2 ed. pp. 40–50.
- BERGEN V, LÖWENSTEIN W, OLSCHESKI R (2002)** Forstökonomie – Volkswirtschaftliche Grundlagen. München: Vahlen. 469 p.
- BERNATH K (2006)** Umweltökonomische Bewertung der stadtnahen Walderholung in Zürich. Empirische und methodische Beiträge zur Analyse von Ziel- und Quellgebietsdatenbanken. Zürich: Univ Zürich, PhD-thesis. 190 p.
- BERNATH K, ROSCHEWITZ A, STUDHALTER S (2006)** Die Wälder der Stadt Zürich als Erholungsraum. Birmensdorf: Eidg. Forschungsanstalt Wald, Schnee Landschaft. 43 p.
- BLUM A ET AL (1996)** Wirkungen des Waldes und Leistungen der Forstwirtschaft. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 51: 22–26.
- BRANG P, HALLENBARTER D (2007)** Bewertung von Handlungsstrategien in Schutzwäldern: Ein integraler Ansatz. Schweiz Z Forstwes 158: 176–193. doi: 10.3188/szf.2007.0176
- BURSCHEL P (1994)** Holzproduktion als ökologische Rechtfertigung des Forstberufs. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 49: 622–631.
- DE GROOT RS (1994)** Environmental functions and the economic value of natural ecosystems. In: Jansson et al, editors. Investing in natural capital. Washington: Island Press. pp. 151–168.
- GRÊT-REGAMEY A, STRAUB D (2006)** Spatially explicit avalanche risk assessment linking Bayesian networks to a GIS. Nat Hazards Earth Syst Sci 6: 911–926.
- 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).
- GRUBER U (1998)** Der Einsatz numerischer Simulationsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung. Zürich: Univ Zürich, PhD-thesis. 161 p.
- HOSTETTLER M (2008)** Die Stern-Debatte. Schweiz Z Forstwes 159: 42–43.
- IPCC (2007)** Climate change 2007. Synthesis Report of the IPCC Fourth Assessment Report. Cambridge: Cambridge Univ Press. 104 p.
- KELLER K, BOLKER BM, BRADFORD DF (2004)** Uncertain climate thresholds and optimal economic growth. J Environ Econ Manage 48: 723–741.
- KNOKE T (2008)** Mixed forests and finance – Methodological approaches. Ecol Econ 65: 590–601.
- 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.
- LARDELLI C (2003)** Dynamik und Stabilität von Lawinenschutzwäldern: Eine Luftbild- und GIS-gestützte Analyse. Zürich: Univ Zürich, Diplomarbeiten. 106 p.
- LÖWENSTEIN W (1994)** Reisekostenmethode und Bedingte Bewertungsmethode. Frankfurt a M: JD Sauerländer. 206 p.
- MEA (2005)** Millenium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human well-being. Current state and trends. Washington: Island Press. 948 p.
- MERZ HA, SCHNEIDER T, BOHNENBLUST H (1995)** Bewertung von technischen Risiken – Beiträge zur Strukturierung und zum Stand der Kenntnisse. Modelle zur Bewertung von Todesfallrisiken. Zürich: Vdf Hochschulverlag. 175 p.
- NICHOLS JD, BRISTOW M, VANCLAY JK (2006)** Mixed-species plantations: prospects and challenges. For Ecol Manage 233: 383–390.
- NORDHAUS WD (2007)** A review of the Stern Review on the economics of climate change. J Econ Lit 45: 686–702.
- NORDHAUS WD, YANG Z (1996)** RICE: A regional dynamic general equilibrium model of optimal climate-change policy. Am Econ Rev 86: 741–765.
- NORTH N ET AL (2007)** Klimaänderung in der Schweiz. Indikatoren zu Ursachen, Auswirkungen, Massnahmen. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Zustand 0728. 77 p.
- OCCC (2007)** Klimaänderung und die Schweiz 2050. Bern: ProClim. 168 p.
- OECD (2007)** Environmental performance reviews: Switzerland. Paris: OECD. 247 p.
- OLSCHEWSKI R (1997)** Nutzen-Kosten-Analyse des Trinkwasserschutzes durch eine Aufforstung. Forst Holz 54: 408–410.
- PARRY ML, CANZIANI OF, PALUTIKOF JP, VAN DER LINDEN PJ, HANSON CE, EDITORS.** Climate change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC). Cambridge: Cambridge Univ Press. 976 p.

- PEREZ-GARCIA J, JOYCE LA, MCGUIRRE AD, XIAO X (2002) Impacts of climate change on the global forest sector. *Clim Chang* 54: 439–461.
- REGAN HM ET AL (2005) Robust decision-making under severe uncertainty for conservation management. *Ecol Appl* 15: 1471–1477.
- ROTHER A, MELLERT KH (2004) Effects of forest management on nitrate concentrations in seepage water of forests in southern Bavaria, Germany. *Water Air Soil Pollut* 156: 337–355.
- SCHMITT M, SCHLÄPFER F, ROSCHEWITZ A (2005) Bewertung von Landschaftsveränderungen im Schweizer Mittelland aus Sicht der Bevölkerung. Birmensdorf: Eidg Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 89 p.
- SCHRÖTER D ET AL (2005) Ecosystem service supply and vulnerability to global change in Europe. *Science* 310: 1333–1337
- SCHUMACHER S, BUGMANN H (2006) The relative importance of climatic effects, wildfires and management for future forest landscape dynamics in the Swiss Alps. *Glob Chang Biol* 12: 1435–1450.
- SMITH VK (1992) On separating defensible benefit transfers from «smoke and mirrors». *Water Resour Res* 28: 685–694.
- SOHNEN B, ALIG R, SOLBERG B (2007) The forest sector, climate change, and the global carbon cycle – Environmental and economic implications. <http://aede.osu.edu/people/sohngen.1/forests/ccforest.htm> (25.8.2008).
- STERN N ET AL (2007) *Stern Review: The Economics of Climate Change: the Stern review*. Cambridge: Cambridge Univ Press. 692 p.
- STRAUB D, GRÉT-REGAMEY A (2006) A Bayesian probabilistic framework for avalanche modelling based on observations. *Cold Reg Sci Technol* 46: 192–203.
- THEURILLAT JP, GUISSAN A (2001) Potential impact of climate change on vegetation in the European Alps: A review. *Clim Chang* 50: 77–109.
- TOL RS (2002) Estimates of the damage costs of climate change. Part 1: Benchmark Estimates. *Environ Resour Econ* 21: 47–73.
- TOL RS, YOHE GW (2006) A review of the Stern review. *World Econ* 7: 233–250.
- TROY A, WILSON MA (2006) Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecol Econ* 60: 435–449.
- WALTERS CJ, HOLLING CS (1990) Large-scale management experiments and learning by doing. *Ecology* 71: 2060–2068.
- WALZ A (2006) Land-use modelling for an integrated approach to regional development in the Swiss Alps. Zürich: Univ Zürich, PhD-Thesis. 273 p.
- WATSON RT ET AL, EDITORS (2000) *Land-use, land-use change and forestry*. IPCC Special Report. Cambridge: Cambridge Univ Press. 375 p.
- WILSON MA, HOEHN JP (2006) Valuing environmental goods and services using benefit transfer: the state-of-the art and science. *Ecol Econ* 60: 335–342.

## Wald und Klimawandel – Ansätze für eine ökonomische Bewertung

Der Klimawandel wird sich regional unterschiedlich auf die Bereitstellung ökosystemarer Leistungen des Waldes auswirken. Auf der Basis naturwissenschaftlicher Erkenntnisse kann das Ausmass der Änderungen mithilfe von ökonomischen Bewertungsmethoden monetär bestimmt werden. Dabei sind kosten- und nutzenbasierte Ansätze zu unterscheiden, die beide notwendig sind, um eine umfassende Entscheidungsgrundlage zu gewährleisten. Unsicherheiten insbesondere bei der Bereitstellung von Schutzleistungen werden durch erweiterte Ansätze, wie zum Beispiel Bayes'sche Netzwerke in Kombination mit geografischen Informationssystemen, berücksichtigt. Im Rahmen eines adaptiven Managements können neu gewonnene Erkenntnisse in die Nutzungsentscheidungen einfließen und so einen Beitrag zur nachhaltigen Bewirtschaftung unter Berücksichtigung des Klimawandels und der vielfältigen Ansprüche an den Wald liefern.

## La forêt et les changements climatiques – approches pour une évaluation économique

A l'échelle régionale, les changements climatiques auront différents effets sur l'offre en services écosystémiques des forêts. Les connaissances actuelles en sciences naturelles permettent d'estimer l'amplitude monétaire des changements à l'aide de méthodes d'évaluation économiques. Pour cela, il faut distinguer l'approche basée sur les coûts et celle basée sur les bénéfices – les deux approches étant nécessaires pour permettre de prendre des décisions en toute connaissance de cause. Les éléments d'incertitude, notamment concernant la fonction protectrice de la forêt, sont pris en compte par d'autres méthodes, par exemple des réseaux bayésiens couplés avec des systèmes d'information géographique. Dans le cadre d'une gestion adaptative, les connaissances nouvellement acquises peuvent être intégrées aux décisions d'exploitation. Elles contribuent ainsi à définir une utilisation durable des forêts qui tienne compte des changements climatiques et des diverses attentes de la société.