

Risikobasierte Schutzwaldstrategie

Peter Bebi, Adrienne Grêt-Regamey, Jakob Rhyner, Walter J. Ammann
Eidgenössisches Institut für Schnee und Lawinenforschung, SLF, Flüelastrass 11, CH-7260 Davos
bebi@slf.ch, rhyner@slf.ch, ammann@slf.ch

Risikobasierte Strategien haben sich im Umgang mit Naturgefahren zur Verbesserung der Kosten-Wirksamkeit von Schutzmassnahmen bereits gut bewährt, kommen aber in Fragen des Schutzwaldmanagements bisher kaum zur Anwendung. Schutzwälder schützen Personen, Siedlungen, Verkehrswege oder Einzelobjekte mit ganz unterschiedlichem Schadenpotential. Auch ihre Wirkungsweise zur Verhinderung eines Schadens ist unterschiedlich. Zudem sind Massnahmen im Schutzwald mit unterschiedlichen Kosten und externen Effekten verbunden. Das Risikokzept bietet einen einheitlichen Rahmen im Umgang mit Risiken und für eine integrale Massnahmenplanung. Die Anwendung des Risikokzeptes auf den Schutzwald als biologischer, nachhaltiger Schutz vor Naturgefahren wie z. B. Lawinen oder Steinschlag ermöglicht es, das Schutzwaldmanagement mit anderen Massnahmen im Rahmen eines integralen Risikomanagements auf gleicher Ebene zu vergleichen bzw. zu kombinieren und Prioritäten objektiver und kosten-effizienter festzusetzen.

1 Einleitung

Risikobasierte Strategien zum Schutz vor Naturgefahren tragen generell zu einer möglichst hohen Kosten-Effizienz von Sicherheitsmassnahmen bei. Im Umgang mit Naturgefahren werden dabei die Kosten, welche für risikoreduzierende Massnahmen aufgewendet werden, mit der resultierenden Veränderung des Risikos verglichen, die sich vereinfacht aus der Veränderung von Schadenpotential und Eintretenswahrscheinlichkeit berechnen lässt. Die Finanzlage von Bund, Kantonen und Gemeinden erfordert gerade im Umgang mit Naturgefahren von allen Beteiligten ein Umdenken, indem Massnahmen nicht mehr gefahrenorientiert geplant und realisiert werden, sondern risiko-basiert und damit kosten-nutzen effizient (PLANAT 2004).

Während risikobasierte Analyse- und Bewertungsmethoden in zahlreichen Bereichen des Risikomanagements von Naturgefahren auch in der Praxis schon eingeführt sind (WILHELM 1997; BORTER 1999), fehlen analoge Ansätze im Bereich des Schutzwaldmanagements weitgehend. Wichtige Gründe sind neben fehlenden Grundlagen die ständigen Veränderungen der Waldökosysteme, verbunden mit den

entsprechenden Unsicherheiten, zukünftige Entwicklungen unter sich verändernden Bedingungen vorherzusagen (MLADENOFF und BAKER 1999; AMMANN *et al.* 2002).

In diesem Beitrag werden die Möglichkeiten von risikobasierten Methoden im Bereich des Schutzwaldmanagements diskutiert. Dabei wird von vier Thesen ausgegangen und damit die Notwendigkeit einer risikobasier-

ten Strategie zur besseren Prioritätensetzung im Schutzwaldmanagement aufgezeigt. Darauf aufbauend wird anhand eines Beispiels ein möglicher Beitrag der Forschung aufgezeigt. Das Beispiel konzentriert sich auf die Lawinenschutzwirksamkeit und bezieht zusätzlich die Risiken durch Windwurf ein. Selbstverständlich müssten andere Naturgefahren im Rahmen eines solchen Risikokzeptes im gleichen Sinn berücksichtigt werden.

2 Vier Thesen für die Notwendigkeit einer risikobasierten Schutzwaldstrategie

These 1: Die zu schützenden Güter unterhalb eines Schutzwaldes sind sehr verschiedenartig.

Ein Schutzwald (Wald mit besonderer Schutzfunktion) stockt definitionsgemäss auf einem Hang, von dem eine direkte Naturgefahr für Menschen oder für erhebliche Sachwerte ausgeht (BUWAL 1993). Ein Schadenpotential



Abb. 1. Davos-Platz mit seinem Schutzwald (Bild Foto Furter). Das Schadenpotential ohne Schutzwald und ohne Lawinenverbauungen wäre in einem 30jährigen Lawineneignis im Bereich von 44 Millionen Franken.



Abb. 2. Ausschnitt aus dem Untersuchungsgebiet «Dischma» im Jahr 1927 (Foto A. Issler) und 2000 (Foto E. Bebi). Die Schutzwirksamkeit des Waldes hat seit 1927 infolge Nutzungsexpensivierung zugenommen.

ist also unterhalb eines jeden Schutzwaldes vorhanden. Da die aktuell gültige Ausscheidung von Schutzwäldern in der Vergangenheit nach verschiedenen Methoden erfolgte und der Begriff des Schadenpotentials sehr weit gefasst ist, bestehen zurzeit zwischen den vielen Schutzwäldern sehr grosse Unterschiede bezüglich ihrer Funktion bzw. der Art und dem Wert der zu schützenden Objekte. Als Beispiel hierfür sei der Vergleich genannt zwischen dem Bannwald von Andermatt und einem Schutzwald oberhalb einer wenig befahrenen Strasse. Im ersten Fall besteht das Schadenpotential vor allem aus Schäden an Siedlungsgebieten, am potentiellen Verlust von Menschenleben oder aus Evakuierungskosten, im zweiten Fall aus fahrenden Autos und den darin befindlichen Personen. Die sehr unterschiedliche Art der zu schützenden Güter kann aber mit risikobasierten Ansätzen einheitlich erfasst und bewertet werden (WILHELM 1997). Mit diesen wird das Schadenpotential zusammen mit der Eintretenswahrscheinlichkeit eines Schadens in der Einheit «Franken pro Jahr» berechnet. Für das Beispiel Andermatt hat WILHELM (1997) Schadenkosten von rund 420000 Franken pro Jahr und Hektare Bannwald errechnet, falls der Schutz des Bannwaldes nicht vorhanden wäre. Im Vergleich dazu ist bei einer Zufahrtsstrasse mit geringer Verkehrsfrequenz ein kleines Risiko vorhanden. In einer solchen Situation wird eine temporäre Verminderung der Schutzwirksamkeit des Waldes im Rahmen eines integralen Risikomanagements am kostengünstigsten mit temporären

Strassensperrungen in Extremsituationen aufgefangen.

Im Rahmen des Projekts «SILVA-Protect» wird zurzeit die Ausscheidung der Schutzwälder vereinheitlicht (BUWAL 2004a). Da im Rahmen dieses BUWAL-Projekts das Schadenpotential getrennt nach verschiedenen Schadenkategorien (Strassen verschiedener Klasse, Eisenbahn, Siedlung, touristische Anlagen) einheitlich erfasst wird, bestehen in Zukunft bessere Möglichkeiten für eine vergleichbare und differenzierte Berücksichtigung des Schadenpotentials in einer risikobasierten Schutzwaldstrategie.

These 2: Nicht jeder Schutzwald hat die gleiche Wirkung.

Wenn von der vereinfachten UNESCO-Definition ausgegangen wird, ist das Risiko als Produkt zwischen Schadenpotential und Eintretenswahrscheinlichkeit eines Naturereignisses definiert (AMMANN 1986; BORTER 1999; FUCHS *et al.* 2004). Der Schutzwald vermag im Fall der Lawinen oder bei Steinschlag Ausmass und Intensität, d.h. im weitesten Sinn die Eintretenswahrscheinlichkeit zu beeinflussen. Die Verminderung der Eintretenswahrscheinlichkeit bzw. des potentiellen Schadenausmass wird damit bei einer risikobasierten Schutzwaldstrategie zum Mass für die «Qualität» des Schutzwaldes. Diese Qualität ist je nach Standort, Waldstruktur und zu betrachtender Naturgefahr unterschiedlich zu bewerten, wobei Kenntnislücken oft gross und Gegenstand aktueller Forschung sind (vgl. Beiträge von DUC *et al.* 2004; HEGG *et al.* 2004; MARGRETH 2004;

FOETZKI *et al.* 2004, alle in diesem Tagungsband). Beispielsweise hat ein Wald nahe an der oberen Waldgrenze, der natürlicherweise mit Lücken und Schneisen durchsetzt ist, bedeutend schlechtere Voraussetzungen zur Verhinderung von Lawinenanrissen als ein geschlossener Wald auf wüchsigem Standort 500 Meter unterhalb der potentiellen Waldgrenze. Durch die Analyse von Waldlawinendaten und die Überlagerung räumlicher Informationen (Topographie, Waldstrukturdaten) in einem Geografischen Informationssystem können Karten der Schutzwirksamkeitsqualität abgeleitet werden (BEBI *et al.* 2001). In einer Risikoanalyse sind solche Modelle hilfreich, indem sie zeigen, wie die Qualität des Schutzwaldes räumlich variiert, und wie sie im Laufe der Zeit ändert. Im allgemeinen haben die Schutzwälder der Schweiz in den letzten Jahrzehnten sowohl an Fläche wie auch an Dichte zugenommen (BRASSEL und BRÄNDLI 1999; SLF 2000; Beispiel in Abb. 2). Für Risikoanalysen sind dabei vor allem jene Waldflächen relevant, wo die Schutzwirksamkeit gering geblieben ist. Ein Luftbildvergleich der Landschaft Davos (1954 bis 2000) hat gezeigt, dass Waldflächen mit gleichbleibend geringer Lawinenschutzwirkung häufig relativ klar lokalisiert werden können, da sie vor allem an waldgrenznahen, steilen Standorten vorkommen, wo Waldverdichtungen natürlicherweise gehemmt sind (LARDELLI 2003). Aufgrund der unterschiedlichen natürlichen Voraussetzungen weisen Massnahmen zur Verbesserung der Schutzwirksamkeit völlig unterschiedliche Kosten-Effektivitäten auf. Im Rahmen eines risikobasierten Ansatzes könnten die Unterschiede in der Wirkung von Schutzwäldern berücksichtigt und Massnahmen zu deren Verbesserung im Sinn einer Kosten-Nutzen-Analyse geprüft werden.

These 3: Die Unsicherheiten bezüglich der Wirkung von Pflegemassnahmen sind gross.

Massnahmen im Schutzwald können bezüglich deren Wirkung in einer Risikoanalyse grob in zwei Kategorien eingeteilt werden: 1) Massnahmen, die auf eine Verbesserung der aktuellen Schutzwirksamkeit hinzielen, und 2) Massnahmen, die dem Risiko einer zu-

künftigen Verminderung der Schutzwirksamkeit entgegnetreten sollen. Wo eine bestockte Fläche besser schützt als eine unbewaldete Fläche, sind Verbesserungen der aktuellen Schutzwirksamkeit am ehesten durch Wiederbewaldung von exponierten Freiflächen möglich, wobei häufig flankierende Massnahmen, zum Beispiel in der Form von temporären Verbauungen (LEUENBERGER 2003), nötig sind. Solche Massnahmen zeichnen sich heute bei fachgerechter Durchführung durch eine vergleichsweise hohe Voraussagbarkeit der Wirkung (SCHÖNENBERGER 2001), aber auch durch hohe Kosten aus¹. Schwieriger voraussagbar sind Wirkungen von Massnahmen der zweiten Kategorie, bei der meist durch Öffnung des Bestandes eine kurzfristige Risikoerhöhung in Kauf genommen wird, um längerfristig eine risikoreduzierende Wirkung anzustreben. Hier wird von einer Reihe von Annahmen ausgegangen, welche ein hohes Mass an Unsicherheit in jede Risikoabschätzung bringen. Insbesondere wird davon ausgegangen, dass durch einen Eingriff eine Waldstruktur entsteht, die entweder weniger störungsanfällig ist und/oder sonst nach einer Störung rascher wieder genügend schutzwirksam ist. Bei der zu verhindernden Störung wird weiter angenommen, dass diese so gross sein wird, dass die Schutzwirksamkeit des Restbestandes entscheidend vermindert wird, und dass diese Verminderung der Schutzwirksamkeit nicht in genügendem Mass oder nicht über eine hinreichend lange Zeitdauer durch liegende Baumstämme und Wurzelstrünke kompensiert werden kann.

Bezüglich der Resistenz von Waldbeständen gegenüber grossflächigen Störungen gibt es bisher wenig empirische Grundlagen, welche sich vorbehaltlos für eine Risikoanalyse eignen in dem Sinn, dass gewisse Bestandestypen eindeutig als störungsanfälliger klassiert werden könnten als andere. Die besten Grundlagen bezüglich Störungsanfälligkeiten von Waldbeständen liegen zumindest für Mitteleuropa für die Windwurfgefährdung vor (BRANG *et al.* 2004, in diesem Tagungsband). Untersuchungen nach Vivian und Lothar zeigen, dass

zwischen verschiedenen Standortsfaktoren und Bestandestypen durchaus Unterschiede bezüglich Sturmgefährdung bestehen können, welche in der Form von GIS-basierten Sturmgefährdungsstandortskarten auch räumlich dargestellt werden können (MAYER 1988). Bei grösseren Stürmen wie Lothar und Vivian zeigte sich aber auch, dass der wichtigste, über das Schadensmass entscheidende Faktor die lokale Windgeschwindigkeit war, und dass bei extremen Windgeschwindigkeiten, unabhängig von Waldstruktur und vorhergehender Behandlung, kaum ein Bestand der Belastung gewachsen war (WSL und BUWAL 2001). Entsprechend war es auch nicht möglich, die Windgefährdung von Beständen für den Sturm Lothar aus der Analyse von Daten des Sturmes Vivian vorherzusagen (DOBBERTIN 2002). Bei den Bestandesmerkmalen zeigt sich, dass zum Beispiel Bestände mit grösseren Bäumen und höheren Koniferenanteilen stärker gefährdet sind (DOBBERTIN 2002; KÖNIG 1995). Nach Bestandeseingriffen wurde zunächst eine leichte Erhöhung der Anfälligkeit festgestellt, welche aber schon nach wenigen Jahren nicht mehr signifikant ist (KÖNIG 1995). Über den oft angenommenen Zusammenhang zwischen Bestandesheterogenität und Störungsanfälligkeit gibt es wenig signifikante und zum Teil widersprüchliche wissenschaftliche Ergebnisse (BRANG *et al.* 2004; KULAKOWSKI und BEBI 2004, in diesem Tagungsband). Insgesamt sind die Unsicherheiten bezüglich der Störungsanfälligkeit von verschiedenen Bestandesmerkmalen so gross, dass Versuche einer aktiven Steuerung der Anfälligkeit aufgrund der vorhandenen Kenntnisse kaum als kostenwirksam betrachtet werden können. Differenziert müssen Massnahmen betrachtet werden, welche auf eine Erhöhung von Vorverjüngung in sonst homogenen Schutzwäldern hinzielen, da dies die Schutzwaldwiederherstellung nach Störungen entscheidend beeinflussen kann (SCHÖNENBERGER 2002). Kenntnisse und Modelle zur zeitlichen Veränderung der Schutzwirksamkeit von Windwurfflächen (FREY und THEE 2002) sowie zur Geschwindigkeit von Wiederbewaldungsprozessen an verschiedenen Standorten (RAMMIG *et al.*, Manuskript eingereicht) sind im Hinblick auf bessere

Risikoabschätzungen wertvoll und Gegenstand aktueller Forschung. Noch komplexer wird die Erfassung von Störungen in Risikoanalysen, wenn zusätzliche Störungen wie Borkenkäferausbrüche und Waldbrand berücksichtigt werden, da sich verschiedene Störungen gegenseitig beeinflussen können (KULAKOWSKI und BEBI 2004, in diesem Tagungsband). Unsicherheiten bezüglich der Wirkung von Massnahmen auf die Bestandesdynamik rufen nach objektiven, auf möglichst guten Datengrundlagen und Modellen beruhenden Abschätzungen im Rahmen von Risikoanalysen.

These 4: Ein risikobasierter Ansatz reduziert Kosten und optimiert Nebenwirkungen.

Schutzmassnahmen haben immer auch «Nebenwirkungen» (externe Effekte) auf andere Aspekte. Die offensichtlichsten Nebenwirkungen sind Wirtschaftlichkeit bzw. Kosten. Ebenso bedeutsam können ökologische, landschaftschützerische oder raumplanerische Aspekte sein. Die Massnahmenoptimierung muss alle relevanten Aspekte einbeziehen, insbesondere auch im Sinne der Nachhaltigkeit. Solange diese Wirkungen inhärente Nebenwirkungen der Sicherheitsmassnahmen sind, sind alle Kosten der Sicherheit anzulasten. Oftmals sind Schutzmassnahmen Teil umfassender Planungen, mit welchen neben der Sicherheit auch andere Ziele verfolgt werden. Oft ist die Sicherheit sogar ein eher untergeordnetes Ziel bzw. eine Randbedingung. Grundsätzlich sind Sicherheitsmassnahmen stets durch Beachtung ihrer «Nebenwirkungen» bezüglich Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft nachhaltig zu gestalten. Entscheidend ist in diesem Fall, dass die Effizienz der Massnahmen für die unterschiedlichen Ziele solcher Planungen separat beurteilt wird. Gerade die Sicherheit dient nicht selten als Vorwand für aufwendige Massnahmen, die mehrheitlich anderen Zielen dienen. Ist die Sicherheit nur *ein* Aspekt in einer breiten Palette von Aspekten aus Umwelt, Wirtschaft und Gesellschaft, so sind auch in den anderen Interessenbereichen klare Planungsziele zu definieren.

Die Kosten für risikoreduzierende Massnahmen sollten in adäquatem Verhältnis stehen zu dem aus Scha-

¹ Pro gepflanzter Baum wird zurzeit mit Kosten von etwa 5 Franken gerechnet.

denpotential und Eintretenswahrscheinlichkeit errechneten Risiko. Ein wichtiger Faktor in jeder Risikoanalyse sind somit Kostenabschätzungen von risikoreduzierenden Massnahmen, wobei gerade bei Massnahmen im Wald zusätzlich einleitend angetönte externe Effekte, zum Beispiel auf regionale Ressourcennutzung oder Ökologie, mitberücksichtigt werden sollten. Die Kosten für risikoreduzierende Massnahmen im Schutzwald sind hoch. Für Schutzwaldleistungen sieht das Handlungsprogramm 2004–2015 des Schweizerischen Waldprogramms (WAP-CH) für die nächsten Jahre 130 Millionen Franken pro Jahr vor (BUWAL 2004b). Ein Anteil von 54 Millionen Franken² (ca. 40%) ist im Rahmen des Waldprogramms als Finanzierung der Schutzwaldpflege durch den Bund vorgesehen. Wie gross der Kostenbeitrag der Schutzwälder bei den öffentlichen Beiträgen ist, zeigt ein Vergleich der Bundessubventionen, welche pro Hektare Wald für Waldpflege, Strukturverbesserung und Schutz vor Naturereignissen an die einzelnen Kantone ausbezahlt werden (Zahlen aus der Forststatistik des Jahres 1999). Während diese Beiträge im Kanton Zürich 17 Franken pro Hektare Waldfläche und Jahr oder 2 Franken pro m³ genutztes Holz betragen, lagen sie in Gebirgskantonen mit hohem Schutzwaldanteil und schwierigen naturräumlichen Bedingungen bei bis zu 360 Franken pro Hektare Waldfläche (Obwalden) bzw. 244 Franken pro m³ genutztes Holz (Uri) pro Jahr. Wenn wir von einer Schweizer Waldfläche von ca. 12 000 km² (BRASSEL und BRÄNDLI 1999) und einem Schutzwaldanteil von rund 25 % ausgehen (HOFER und WALKER 2004), so betragen die durchschnittlichen, jährlichen Kosten pro Hektare Schutzwald, die aufgewendet werden, entsprechend den Zahlen des WAP-CH

rund 430 Franken pro Jahr. In einer kürzlich veröffentlichten Studie, in der 141 Eingriffe auf 370 Hektare dokumentiert wurden, errechnen HOFER und WALKER (2004) im Mittel aller Eingriffe Kosten von 19 400 Franken pro Hektare oder 127,5 Franken pro m³. Bei einem Schutzwaldanteil von 25 % könnten gemäss diesen Zahlen und den Vorgaben des WAP-CH also sämtliche Schutzwälder bei einem Turnus von durchschnittlich ca. 45 Jahren gepflegt werden (HOFER und WALKER 2004). Wenn nach der zurzeit durchgeführten Vereinheitlichung einer risikobasierten Schutzwaldauscheidung ein kleinerer Schutzwaldanteil ausgeschieden wird, könnten Pflegeurnus und Gesamtkosten der Schutzwaldpflege entsprechend herabgesetzt werden. In der Realität unterscheiden sich sowohl Pflegeurnus wie auch die durchschnittlichen Pflegekosten pro Hektare sehr stark für verschiedene Schutzwälder. Lange nicht jeder Schutzwald wird gepflegt. Gemäss dem Schweizerischen Landesforstinventar (LFI) erfolgte während den letzten 50 Jahren in 27 % aller LFI2-Schutzwälder kein Eingriff (BRASSEL und BRÄNDLI 1999). Die Kosten für Schutzwaldmassnahmen unterscheiden sich sehr stark je nach Standorts- und Bestandesfaktoren wie Hangneigung, Baumart und Entwicklungsstufe (HOFER und WALKER 2004). Weiter werden die Kosten vom Arbeitsverfahren und, zumindest bei den Rückemitteln, von der Nutzungsmenge pro Eingriff gesteuert. Besonders kostenwirksam wird dabei der Entscheid, ob das Holz liegen gelassen wird oder an die Waldstrasse gerückt wird³ (HOFER und WALKER 2004).

Neben den direkten Kosten von Massnahmen zur Risikoreduktion fallen immer auch indirekte Effekte dieser Massnahmen an, welche keinen Einfluss auf das Risiko von Naturge-

fahren haben. Die offensichtlichsten und vielleicht am einfachsten zu rechnenden externen Effekte sind Erträge aus der Holzproduktion, welche zurzeit bei Liegendverkäufen im Durchschnitt aller Sortimente in den Alpen und Voralpen knapp 70 Franken pro m³ betragen (WVS 2003). Schwieriger zu rechnen, aber in einer umfassenden Risikoanalyse nicht zu vernachlässigen, sind eine ganze Reihe von anderen positiven und negativen Effekten. Dazu gehören zum Beispiel:

1. Regionalökonomische Effekte und Aspekte der nachhaltigen Ressourcennutzung, welche insbesondere differenziert beurteilt werden müssen, je nach dem, ob das anfallende Holz regional verarbeitet und verwendet oder ob es exportiert wird.
2. Unfall und Todesfallrisiko bei Waldarbeiten, das beispielsweise im Fall von Räumungsarbeiten von Windwurfflächen in eine Risikoanalyse einfließen muss⁴.
3. Effekte auf den Tourismus, welche im Schweizerischen Berggebiet regional sehr stark ins Gewicht fallen können und positiv oder negativ sein können⁵.
4. Ökologische Effekte, welche von allen genannten externen Effekten am schwierigsten zu monetarisieren sind und damit bisher nur im Sinn von Grössenordnungen in umfassenden Risikoanalysen einbezogen werden können (vgl. Kap. 3).

Die stark unterschiedlichen Kosten je nach Bestandes- und Standortfaktoren sowie Nutzungsart und -intensität werden nur teilweise über unterschiedliche Bundes- und Kantonsansätze ausgeglichen und entscheiden deshalb wohl stark über die Frage, welche Schutzwälder heute noch gepflegt werden und welche nicht. Das Konzept der Risikoanalyse bietet einen geeigneteren Rahmen, die Kosten für verschiedene Massnahmen im Schutzwald objektiv mit Risikoveränderungen und mit externen Effekten abzuwägen. Im Sinn einer solchen Risikoanalyse steht nicht im Vordergrund, einen möglichst grossen Anteil des abgegrenzten Schutzwaldanteils zu pflegen, sondern das Gesamtrisiko zu minimieren und externe Nebeneffekte zu optimieren. Dabei ist es auch wesentlich, verschiedenste Massnahmen zur Risikoreduktion bezüglich dieser Kriterien einan-

² Zwischen 1995 und 1999 hat das BUWAL durchschnittlich 40 Mio. Franken pro Jahr an die Waldpflege in Schutzwäldern (Waldbau B/C) bezahlt.

³ Damit könnten Kosten um durchschnittlich rund 8000 Fr./ha gesenkt werden.

⁴ So kamen im Jahr 1990, dem Jahr des Sturmes Vivian, 31 Arbeiter im Schweizer Wald ums Leben (BUWAL 2000), was in einer Risikoanalyse bei einem üblichen Humankapitalansatz von 1,5 Millionen Franken pro Person erheblich ins Gewicht fällt.

⁵ Positive externe Effekte können zum Beispiel auftreten, wenn eine Erschliessungsstrasse gleichzeitig als Skiabfahrt benutzt werden kann. Negative Effekte treten beispielsweise durch Erschliessungsstrassen in Naherholungsgebieten oder Umweltbelastungen durch Helikoptereinsätze auf (vgl. auch FREY 1994).

der gegenüber zu stellen und vermehrt auf kosten-effiziente Massnahmen (z.B. Strassensperrungen) zurückzugreifen. Durch eine risikobasierte Strategie und eine darauf ausgerichtete Gesetzgebung könnten somit wichtige und bisher oft vernachlässigte externe Effekte optimiert und die Kosten der Schutzwaldpflege reduziert werden.

3 Aktuelle Ansätze einer risikobasierten Schutzwaldstrategie

Die bisherigen Ausführungen haben gezeigt, dass verschiedene Schutzwälder, obwohl sie völlig unterschiedliche Qualitäten haben, durch den Risikoansatz vergleichbar gemacht werden können. Die Ausführungen haben aber auch gezeigt, dass nicht zu allen Aspekten, welche in eine objektive und umfassende Risiko- bzw. Kosten-Nutzen-Analyse einbezogen werden müssten, der gleiche Kenntnisstand und die gleichen Voraussetzungen für eine praktikable Anwendung vorhanden sind. Im folgenden werden anhand eines einfachen Rechenbeispiels erste Ansätze aufgezeigt, wie Schutzwälder in Risikoanalysen bewertet werden können.

Der Wert des Schutzwaldes in einer Risikoanalyse und Bewertung

Die Methodik der Risikoanalyse und -bewertung zur Optimierung von Massnahmen ist im Bereich des Verkehrsachschutzes (WILHELM 1997) insbesondere für Lawinenereignisse bereits weit fortgeschritten, und wird zunehmend auch im Bereich des Siedlungschutzes entwickelt (FUCHS *et al.* 2004;

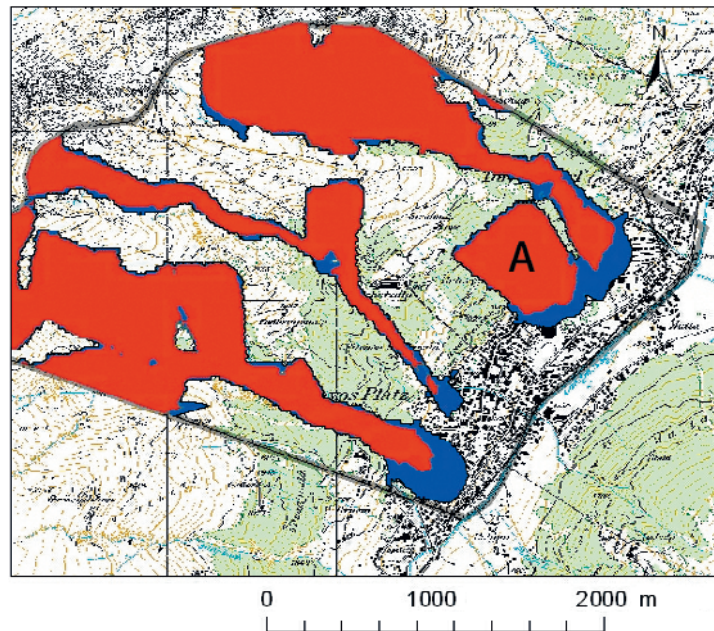


Abb. 3. Risikoberechnungen im Untersuchungsgebiet Davos-Platz für ein 30jähriges Lawinenereignis ohne Wald und ohne Lawinenverbauungen. Gemäss dem Modell könnten ohne Wald in einem Teil des Waldes oberhalb Davos (mit A gekennzeichnet) neue Lawenengrissgebiete anreissen. In solchen Flächen können Massnahmen zur Risikoreduktion aufgrund des hohen Schadenpotentials des darunterliegenden Siedlungsgebietes kosten-effizient sein.

MCALPIN *et al.* Manuskript eingereicht). Dies ermöglicht auch Beurteilungskonzepte zur Wirksamkeit von verschiedenen Massnahmen zu entwickeln (MARGRETH und KRUMMENACHER 2002).

Aufbauend auf diesen Arbeiten werden in einem aktuellen Forschungsprojekt solche Risikoanalysen auch mit Berücksichtigung von verschiedenen Waldszenarien durchgeführt (GRÊT-REGAMEY 2003). Unter verschiedenen Waldszenarien werden dabei Lawinenausbreitungen mit einem numerischen 2-D Lawinenmodell (GRUBER 1998) für ein 30jähriges Ereignis berechnet. Das Modell scheidet Anrissgebiete auf-

grund von Geländeeigenschaften aus und berechnet die Eintretenswahrscheinlichkeiten der Lawinenereignisse basierend auf statistischen Analysen der historischen Aufnahmen der maximalen Schneeakkumulationen über drei Tage (SALM *et al.* 1990)⁶. Berechnungen der Lawinenanrissflächen werden sowohl für den aktuellen Waldzustand wie auch für Szenarien von zukünftigen Entwicklungen von Schutzwäldern durchgeführt. Als extremstes Szenario wurde das Szenario «ohne Wald» bereits gerechnet, das sich eignet, Wirkungen von verschiedenen Schutzwäldern gegenüberzustellen und Schutzwälder entsprechend deren Wirkungspotential zu klassifizieren. Zur Illustration der Methode wurde das Risiko mit und ohne Schutzwald für zwei Ausschnitte aus der Landschaft Davos bei einem 30jährigen Ereignis geschätzt (Abb. 3 und 4). Das jährliche Schadenspotential wurde dabei berechnet, indem der aktuelle Wert der Gebäude sowie der monetarisierte Wert der potentiell in den Gebäuden und auf den betroffenen Verkehrswegen sich befindenden Personen innerhalb der roten und blauen Zone bestimmt wurde. Die Berechnungen wurden gemäss WILHELM (1997) durchgeführt⁷. Abbildung 3 zeigt diese

⁶ Die Bremswirkung des Waldes wird im Modell durch die Erhöhung der turbulenten Reibung (Ξ) auf 400 m/s^2 in Waldgebieten modelliert.

⁷ Für das Gebiet in Davos wurde der aktuelle Wert der Gebäude aus den Grundbuchdaten genommen (FUCHS *et al.* 2004); da die Grundbuchdaten nur für die Stadt Davos erhältlich sind, wurden die Gebäudewerte im Dischmatal aus den Mittelwerten der Grundbuchdaten der Gebäude «in den Büehlen» (Eingang des Dischmatals) geschätzt. Angenommen wurde ein Wert von 1,5 Mio. pro Person, eine Sterbewahrscheinlichkeit von 0,46 in Gebäuden, eine Evakuationswirksamkeit von 0,8, eine Präsenzwahrscheinlichkeit von 0,5, eine Zerstörungswahrscheinlichkeit von 0,3 (MCALPIN *et al.* Manuskript eingereicht) und eine durchschnittliche Anzahl Personen von 2,4 pro Gebäude (BORTER 1999). Nach BORTER 1999) wurden für die Verkehrsberechnungen im Dischmatal 1000 Fahrzeuge pro Tag in der Wintersaison, eine mittlere Fahrgeschwindigkeit von 40 km/h, eine Sterbewahrscheinlichkeit von 0,2, einen mittleren Besetzungsgrad der Personenwagen von 1,61 und der Busse von 25, die Anzahl betroffener Busse gleich 50 % der Anzahl betroffener Fahrzeuge und eine Sperrungswahrscheinlichkeit der Strecke von 0,9 angenommen.

Tab. 1. Risikoverminderung durch den Lawinenschutzwald pro Jahr (in SFR/ha Waldfläche) für die 2 Untersuchungsgebiete «Davos-Platz» und «Dischmatal» (vgl. Abb. 1–4) und aufgliedert nach verschiedenen Schadenkategorien (Verkehr, Gebäude, Personen in Gebäuden). Aufgelistet sind Differenzen des aktuellen* Risikos und dem Risiko bei einem hypothetischen Szenario ohne Wald für ein 30jähriges Gefahrenereignis.

* Das Risiko für das Gebiet Davos-Platz wurde in diesem Beispiel ohne den Einfluss der permanenten Lawinenverbauungen oberhalb Davos gerechnet.

Gebiet	Davos Platz		Dischmatal	
	mit Wald	ohne Wald	mit Wald	ohne Wald
Verkehr	156000	351000	142000	144000
Gebäude	51836000	91468000	3777000	4149000
Personen in Gebäuden	1779000	2904000	62000	93000
Schadenpotential gesamt	53771000	94723000	3981000	4386000
Differenz Schadenpotential		40952000		405000
Fläche (ha)		137,4		110,2
Differenz/Jahr/ha Waldfläche		9937		121

Berechnung für einen Schutzwald der einen Teil des Siedlungsgebietes von Davos schützt. Durch Wegfallen des Waldes würde sich das Risiko um ca. 41 Millionen Franken oder 9937 Franken pro Hektare Waldfläche erhöhen. Demgegenüber wird in Abbildung 4 die gleiche Modellierung für ein Gebiet im Dischmatal berechnet. Dort wäre bei einem vollständigen Wegfallen des Waldes mit einer Risikoerhöhung von insgesamt ca. 405000 Franken bzw. 121 Franken pro Hektare Waldfläche zu rechnen (vgl. auch Tab. 1).

Umgang mit Störungen und Unsicherheiten

Das obige Rechenbeispiel zeigt, wie verschiedene Schadenpotentiale abgeschätzt werden können, und wie unterschiedlich die Schutzleistungen von verschiedenen BSF-Waldbeständen (Wälder mit besonderer Schutzfunktion) in einer Risikoanalyse bewertet werden müssen (Tab. 1). Bei den berechneten Risiken handelt es sich allerdings um Werte bei einem «worst-case», bei dem jegliche Schutzwirkung von stehenden und liegenden Baumteilen wegfallen

würde⁸. Bei einer Risikobewertung ist nun aber letztlich nicht die Wahrscheinlichkeit eines solchen Extremszenarios entscheidend, sondern 1) die Wahrscheinlichkeit, dass präventiv eine Verminderung des Risikos einer grossflächigen Störung erreicht werden kann und 2) die Wahrscheinlichkeit, dass der Restbestand nach einer Störung ein 30jähriges Naturgefahrenereignis zulässt (Abb. 4).

Da Kenntnisse zu Störungswahrscheinlichkeiten an den verschiedensten Standorten lückenhaft und gegenseitige Interaktionen von Massnahmen und Störungen häufig sind, werden Ereignisbäume als geeignete Methoden der Risikoanalyse bzw. -bewertung betrachtet (BRATSCHI 2002). Ein einfaches Beispiel eines solchen Ereignisbaumes, der Bezug nimmt zum obigen Rechenbeispiel, ist in Abbildung 4 dargestellt. Eine Herausforderung für die Wissenschaft besteht darin, Instrumente bereitzustellen, die es erlauben, solche Wahrscheinlichkeiten P_i für verschiedene Situationen zumindest in ihrer Grössenordnung abzuschätzen (vgl. auch BRANG *et al.* in diesem Tagungsband). Wenn im Fall des Risikos bei Windwurfereignissen von Grössenordnungen ausgegangen wird, welche bei den Stürmen Lothar und Vivian betroffen waren, kann die Wahrscheinlichkeit eines Windwurfereignisses während einer 30jährigen Betrachtungszeit in der Grössenordnung von 0,04 geschätzt werden. Für die Wahrscheinlichkeit, dass der Restbestand nach einer Störung ein Lawinenereignis zulässt, sind Abschätzungen nötig, wie

lange Windwurfflächen an verschiedenen Standorten und bei verschiedenen Szenarien (z. B. mit oder ohne Vorverjüngung) eine verminderte Schutzwirksamkeit haben. Dazu sind standortsabhängige Modelle oder Abschätzungen zur Regeneration auf Windwurfflächen wie auch zur langfristigen Veränderung der Schutzwirksamkeit von geworfenem Holz nötig (FREY und THEE 2002; KUPFERSCHMID-ALBISETTI 2003; RAMMIG *et al.* Manuskript eingereicht). Die für die Risikobewertung relevante Differenz P1–P3 (Abb. 5) ist somit abhängig von Standorts- und Waldstruktur und liegt im fiktiven Rechenbeispiel von Abbildung 4 im Bereich von 0,08. Multipliziert mit dem Schadenspotential lässt sich daraus grob eine Risikoreduktion durch präventive Eingriffe abschätzen, die im Fall des Beispiels Dischma in der Grössenordnung von knapp 10 Franken pro Jahr und Hektare Waldfläche betragen und somit in einer Risikoanalyse keine präventive Schutzwaldpflege rechtfertigen würde⁹. Im Fall des Beispiels «Davos-Platz», wo das Schadenspotential rund 82 mal

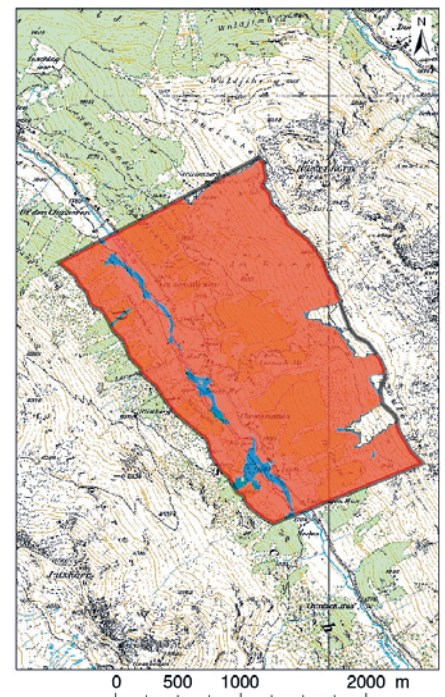


Abb. 4. Risikoberechnung für das Untersuchungsgebiet «Dischma» ohne Wald: Fast das ganze Gebiet wäre ohne Wald in der roten Gefahrenzone. Wegen der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit eines solchen Extremszenarios und dem relativ geringen Schadenspotential wären präventive Massnahmen im Schutzwald hier trotzdem nicht kosten-effizient.

⁸ Ein solches Szenario wäre höchstens durch einen extrem ausgedehnten Waldbrand annähernd erfüllt, dessen Auftretenswahrscheinlichkeit im Untersuchungsgebiet ohne drastische Zunahme sommerlicher Trockenheitsphasen als sehr klein angenommen werden kann (KULAKOWSKI und BEBI 2004, in diesem Tagungsband).

⁹ Externe Effekte wurden in dieser Rechnung noch nicht berücksichtigt.

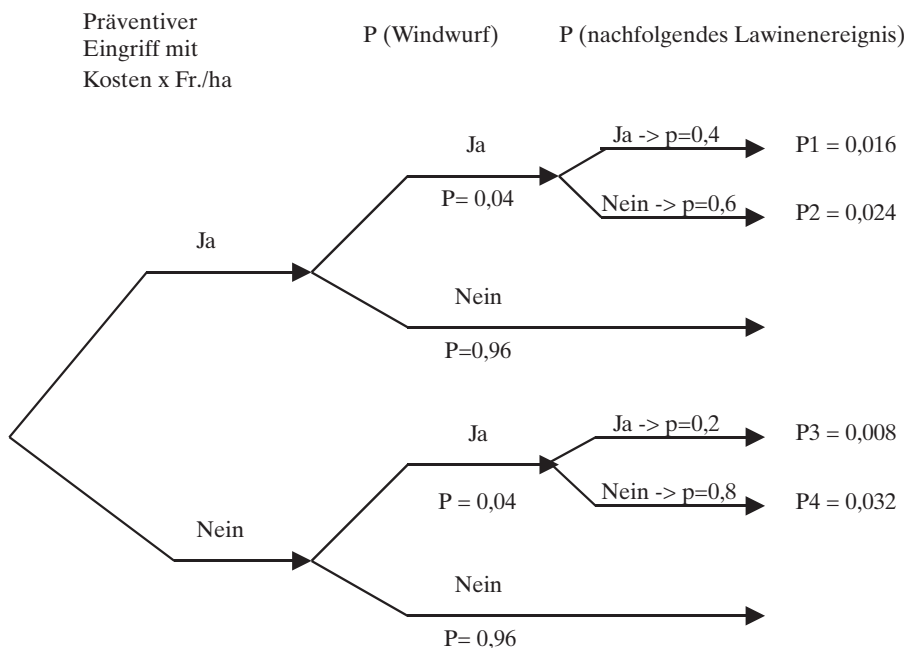


Abb. 5. Beispiel eines Ereignisbaumes mit einem fiktiven Zahlenbeispiel zur Abschätzung von Störungs- und Naturgefahrenereignissen. In diesem Beispiel wird durch einen Eingriff (Förderung der Vorverjüngung) die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Lawine um P1 bis P3 reduziert. Die Abschätzung der verschiedenen Wahrscheinlichkeiten Pi sollte aufgrund der bestmöglichen Datengrundlagen bzw. Modelle und in Abhängigkeit des Standorts erfolgen. Je nach Situation müssten zusätzliche Verzweigungen (z.B. Risiko von Folgeereignissen) berücksichtigt werden.

höher ist als im Dischma, sind risikoreduzierende Massnahmen bedeutend kosten-effizienter. Allerdings zeigt Abbildung 3 auch deutlich, dass sich solche präventiven Massnahmen auch bloss auf einen Teil des ausgeschiedenen Schutzwaldes, nämlich vor allem auf die steilsten Flächen konzentrieren könnten, wo sich ohne Wald zusätzliche Lawinenanrissflächen bilden (Abb. 3).

Abschätzung von externen Effekten – Ecosystem Services

Der Wert des Waldes als Lawinenschutzwald, wie er im obigen Beispiel monetarisiert wird, sollte zumindest in seiner Grössenordnung mit anderen Umweltleistungen (Ecosystem Services) verglichen werden. So werden im gleichen Untersuchungsgebiet, in dem die Beispiele mit den Schutzwaldleistungen mit verschiedenen Monetarisierungsansätzen auch Produktionsfunktionen, Habitatsfunktionen, Wasserregulierung und die Attraktivität von Landschaften für verschiedene Szenarien abgeschätzt (GRÊT-REGAMEY 2003). Zu den am schwierigsten zu monetarisierenden Umweltleistungen zählt die «landschaftliche Attraktivität», welche mit Zahlungsbereitschafts-

studien angegangen werden können (GRÊT-REGAMEY *et al.* Manuskript eingereicht) und Habitatsfunktionen, wofür es zum Beispiel Ansätze mit Abschätzung der Reinproduktionswerte gibt (WHITE *et al.* 1997). Auch wenn solche Bewertungen zum Teil mit grossen Unsicherheiten verbunden sind, wäre nur schon die Abschätzung der Grössenordnungen von solchen Umweltleistungen und anderen Nachhaltigkeitsaspekten für umfassendere Risikoanalysen und -bewertungen sowie für Abschätzungen der Kosten-Effizienz von risikovermindernden Schutzmassnahmen sehr wertvoll.

4 Schlussfolgerungen

Gegenüber den heutigen, noch sehr stark gefahrenorientierten Strategien ergeben sich durch eine risikobasierte Strategie inskünftig wichtige Vorteile. Insbesondere kann die Kosten-Wirksamkeit von Massnahmen im Schutzwald besser abgeschätzt werden. Dazu ist das heute gültige, stark gefahrenorientierte Waldgesetz in eine zukunftssträchtige, risikobasierte Gesetzgebung überzuführen.

Dadurch können Prioritäten zwischen Massnahmen sowohl in verschiedenen Schutzwäldern als auch zwischen verschiedenen Schutzmassnahmen im Rahmen eines integralen Risikomanagements objektiver festgelegt werden. Öffentliche Gelder könnten dadurch gezielter eingesetzt oder gar eingespart werden. Damit eine risikobasierte Schutzwaldstrategie konsequent angewendet werden kann, muss die Forschung die noch vorhandenen Kenntnislücken für bessere Risikoanalysen und -bewertungen gezielt schliessen und Grössenordnungen und Indikatoren ableiten, welche möglichst ganzheitliche Massnahmenplanungen zulassen. Sowohl bezüglich der vorhandenen Datengrundlagen als auch bezüglich der Forschungsansätze sind zurzeit bereits wichtige Grundlagen für die praktische Anwendung von risikobasierten Schutzwaldstrategien vorhanden oder in Bearbeitung.

5 Literatur

AMMANN, W.J., 1986: Ingenieurwesen und Erdbebensicherheit. Proceedings Symposium über Erdbeben. UNESCO Schweiz, Brig, April 1986.

AMMANN, W.; BEBI, P.; BÖLL, A.; STÖCKLI, V., 2002: The role of the protection forest in the integral risk management. In: Proc. Ecological and economic benefits of mountain forests. Sept. 15–18, 2002, Innsbruck: 51– 52.

BEBI, P.; KIENAST, F.; SCHÖNENBERGER, W., 2001: Assessing structures in mountain forests as a basis for investigating the forests’ dynamics and protective function. For. Ecol. Manage.145, 1: 3–14.

BORTER, P., 1999: Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Umweltmaterialien 107/I, II. Bern, BUWAL. 115 S.

BRANG, P.; SCHÖNENBERGER, W.; BACHOFEN, H.; ZINGG, A.; WEHRLI, A., 2004: Schutzwaldynamik unter Störungen und Eingriffen: Auf dem Weg zu einer systemischen Sicht. Forum für Wissen 2004: 55–66.

BRASSEL, P.; BRÄNDLI, U.-B. (Red.) 1999: Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der Zweitaufnahme 1993–1995. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Bern, Haupt. 442 S.

- BRATSCHI, D., 2002. Aspekte des Risiko-Managements im Wald. Nachdiplomkurs Risiko und Sicherheit. ETH Zürich und Lausanne, HSG St. Gallen. 21 S. http://e-collection.ethbib.ethz.ch/ecol-pool/dipl/dipl_80.pdf
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 1993: Kreisschreiben Nr. 8, Waldbau C / besondere Schutzfunktion (Komponente Nr. 411.3). Bern, BUWAL; Eidg. Forstdirektion. 6 S.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 2000: Kreisschreiben Nr. 23. Bern, BUWAL; Eidg. Forstdirektion. 5 S.
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 2004a: Projet Carte nationale indicatrice des forêts protectrices: SilvaProtect-CH. Fiche d'information 1 pour la CIC des 4 et 5 mai 2004. Ber. Eidg. Forstdirektion. http://www.umweltschweiz.ch/imperia/md/content/forstdirektion/ng_naturgefahren/ng30_projekte/silvaprotect_nl_1_kok.pdf
- BUWAL (Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft) 2004b: Waldprogramm Schweiz (WAP-CH): Handlungsprogramm 2004–2015. Schriftenreihe Umwelt Nr. 363. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. 119 S.
- DOBBERTIN, M., 2002: Influence of stand structure and site factors on wind damage comparing the storms Vivian and Lothar. *For. Snow Landsc. Res.* 77, 1/2: 187–205.
- DUC, P.; BRÄNDLI, U.-B.; BRASSEL, P., 2004: Der Schutzwald im zweiten Schweizerischen Landesforstinventar (LFI2). *Forum für Wissen* 2004: 7–13.
- FREY, W., 1994: Die Zukunft des Gebirgswaldes – der Wald, ein Erholungsgebiet? Dargestellt am Beispiel der Landschaft Davos. *Waldwirtschaft im Gebirge – eine ökologische und ökonomische Herausforderung*. *Forum für Wissen* 1994: 29–37
- FREY, W.; THEE, P., 2002: Avalanche protection of windthrow areas: A ten year comparison of cleared and uncleared starting zones. *For. Snow Landsc. Res.* 77, 1/2: 89–107.
- FUCHS, S.; BRÜNDL, M.; STÖTTER, J., 2004: Development of Avalanche Risk between 1950 and 2000 in the Municipality of Davos, Switzerland. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 4, 2: 263–275.
- GRÊT-REGAMEY, A., 2003: Spatially explicit valuation of ecosystem services in the Alps as a support tool for regional decision making. Ph.D-Proposal. http://www.esig.ucar.edu/gret/research_plan.pdf
- GRÊT-REGAMEY, A.; BEBI, P.; BISHOP, I.: Predicting the scenic beauty value of mapped landscape changes in a mountainous region using GIS. Submitted to *Landscape and Urban Planning*. Manuskript eingereicht.
- GRUBER, U., 1998: Der Einsatz numerischer Simulationsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung. Doktorarbeit, Universität Zürich, Zürich. 177 S.
- HEGG, C.; BADOUX, A.; LÜSCHER, P.; WITZIG, J., 2004: Zur Schutzwirkung des Waldes gegen Hochwasser. *Forum für Wissen* 2004: 15–20.
- HOFER, P.; WALKER, D., 2004: Aktuelle Kosten der Schutzwaldpflege im Gebirge. Schlussbericht. Geo-Partner AG und BUWAL. 43 S.
- KÖNIG, A., 1995: Sturmgefährdung von Beständen im Altersklassenwald. Ein Erklärungs- und Prognosemodell. Diss. Univ. München. Frankfurt am Main. Sauerländer. 194 S.
- KULAKOWSKI, D.; BEBI, P., 2004: Range of Variability in unmanaged subalpine forests. *Forum für Wissen* 2004: 47–54.
- KUPFERSCHMID-ALBISSETTI, A.D., 2003: Succession in a protection forest after *Picea abies* die-back. Dissertation ETH Zürich. 237 pp.
- LARDELLI, C., 2003: Dynamik und Stabilität von Lawinenschutzwäldern: Eine Luftbild- und GIS-gestützte Analyse. Diplomarbeit Universität Zürich und SLF Davos. 106 S.
- LEUENBERGER, F., 2003: Bauanleitung Gleitschneeschutz und temporärer Stützverbau. Davos, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung. 97 S.
- FOETZKI, A.; JONSSON, M.; KALBERER, M.; SIMON, H.; MAYER, A.C.; LUNDSTRÖM, T., 2004: Die mechanische Stabilität von Bäumen: das Projekt Baumstabilität des FB Naturgefahren. *Forum für Wissen* 2004: 35–42.
- MARGRETH, S., 2004: Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. *Forum für Wissen* 2004: 21–26.
- MARGRETH, S.; KRUMMENACHER, B., 2002: Berücksichtigung von Massnahmen in der Gefahrenbeurteilung und Nutzungsplanung. Vorstudie. BUWAL, Eidg. Forstdirektion und Eidg. Institut für Schnee und Lawinenforschung, SLF.
- MAYER, H., 1988: Kartierung von potentiell sturmgefährdeten Waldstandorten in Bayern. *Forstwiss. Cent.bl.* 107, 4: 239–251.
- MCALPIN C.; BRÜNDL, M.; GRUBER, U.; FUCHS, S.: Cost-benefit analysis for natural hazard planning in Davos, Switzerland. Manuskript eingereicht.
- MLADENOFF, D.; BAKER, W., 1999: *Spatial Modeling of Forest Landscape Change*. Cambridge, University Press. 352 pp.
- PLANAT 2004: Sicherheit vor Naturgefahren. Vision und Strategie. Planat Reihe 1/2004. Bern, Bundesamt für Bauten und Logistik BBL. 40 S.
- RAMMIG, A.; BEBI, P.; SCHÖNENBERGER, W.; BUGMANN, H.: Forest regeneration after disturbance: A modeling study for the Swiss Alps. Manuskript eingereicht.
- SALM, B.; BURKARD, A.; GUBLER, H., 1990: Berechnung von Fliesslawinen, eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. *Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee- Lawinenforsch.* 47.
- SCHÖNENBERGER, W., 2001: Cluster afforestation for creating diverse mountain forest structures – a review. *For. Ecol. Manage.* 145, 1: 121–128.
- SCHÖNENBERGER, W., 2002: Post windthrow stand regeneration in Swiss mountain forests: the first ten years after the 1990 storm Vivian. *For. Snow. Landsc. Res.* 77, 1/2: 61–80.
- SLF (Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung) (Hrsg.) 2000: *Der Lawinenwinter 1999: Ereignisanalyse*. Davos, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung. 588 S.
- WHITE, P.C.L.; GREGORY, K.W.; LINDLEY, P.J.; RICHARDS, G., 1997: Economic values of threatened mammals in Britain: A case study of the otter *Lutra lutra* and the water vole *Arvicola terrestris*. *Biol. Conserv.* 82, 3: 345–354.
- WILHELM, C., 1997: Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz. Methodik und Erhebungen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung. *Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee- Lawinenforsch.* 54: 1–309.
- WSL und BUWAL (Hrsg.) 2001: *Lothar. Der Orkan 1999. Ereignisanalyse*. Birnensdorf, Eidg. Forschungsanstalt WSL. Bern, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL. 365 S.
- WVS (Waldwirtschaft Verband Schweiz) 2003: *Forstliche Betriebsabrechnung (BAR). Kennziffern der Holzproduktion. Jahresergebnisse für das Jahr 2003*. Solothurn, WVS.