

# Schutzwaldmanagement in den Alpen – eine Übersicht

André Wehrli	Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention (CH)*
Peter Brang	Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (CH)
Bernhard Maier	Stand Montafon Forstfonds (AT)
Philippe Duc	Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (CH)
Franz Binder	Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (DE)
Emanuele Lingua	Università degli Studi di Torino, Dept. AGROSELVITER (IT)
Kurt Ziegner	Landesforstdirektion Tirol (AT)
Karl Kleemayr	BFW, Institut für Naturgefahren und Waldgrenzregionen (AT)
Luuk Dorren	Cemagref Grenoble (FR)

## Management of protection forests in the Alps – an overview

Many mountain forests in the Alps protect residential areas and infrastructures from natural hazards. They are described as protection forests and their management aims to permanently provide a high protective effect. The maintenance and management of these forests are continuously improved and have reached a high standard. There is now a better understanding of the protective effects of the forest against natural hazards. In the Alps, there are currently several projects being conducted which aim to harmonize the assessment of natural hazards, damage potential and a resulting classification of protection forests. It is the objective to apply funding where needed in order to prevent damage from natural hazards. Currently, there is a need for improvement in the area of monitoring with advanced technology, such as Laser-Scanning (LIDAR), in linking inventory data from different sources, in simulation modeling to better estimate the long-term benefit of measures in the protection forest, and in transboundary collaboration.

**Keywords:** protection forest, natural hazards, forest management, monitoring  
**doi:** 10.3188/szf.2007.0142

\* CH-3003 Bern, E-Mail [andre.wehrli@bafu.admin.ch](mailto:andre.wehrli@bafu.admin.ch)

Viele Gebirgswälder schützen Siedlungen und Verkehrswege vor Naturgefahren wie Steinschlag, Lawinen, Erosion, Rutschungen, Wildbächen, Murgängen und Überflutung (Brang et al 2001). Diese Naturgefahrenprozesse treten im Alpenraum vergleichsweise häufig auf. Der hohe Schutzwaldanteil in diesen Regionen ist daher nicht erstaunlich: So weisen nach dem Schweizerischen Landesforstinventar 37% der Aufnahmeflächen in Gebirgswäldern Hinweise auf Schneebewegungen auf, 31% der Flächen Spuren von Steinschlag und 16% Spuren von Erosion (Mahrer et al 1988). Basierend auf Zahlen aus den Kantonen und dem Projekt SilvaProtect-CH geht das Bundesamt für Umwelt BAFU aktuell davon aus, dass zirka 40–60% des Schweizer Waldes eine Schutzfunktion gegen Naturgefahren haben. In Frankreich schützt der Gebirgswald, der sich zu 90% im Besitz der Kommunen und des Staates befindet, vor den Prozessen Erosion im Gerinnebereich (auf 65% der Fläche), Lawinen (14%), Steinschlag (10.5%) und Rutschungen (10.5%; Sonnier 1991). In den Bayerischen Alpen im Südosten

von Deutschland sind ungefähr 60% des Waldes Schutzwald nach dem Bayerischen Waldgesetz (Brosinger 2004). Im Bayerischen Hochgebirge, das etwa 5300 km<sup>2</sup> des gesamten Alpenraumes abdeckt, schützen schätzungsweise 63% der Wälder gegen Erosion und Murgang, 42% gegen Lawinen und 64% gegen Überflutung (Plochmann 1985). In Österreich sind etwa 31% der gesamten Waldfläche mit einer Schutzfunktion belegt (BMLUFW 2006). Der Anteil an Schutzwald im alpinen Raum liegt deutlich höher, beispielsweise in Tirol bei mehr als 66% (ca. 330000 ha; Amt Tiroler Landesregierung 2005). In der Autonomen Region des Aostatal in Italien haben ungefähr 80% der Wälder eine Schutzfunktion (Meloni et al 2006).

Trotz offensichtlicher Unterschiede in der Methodik der Datenerhebung zeigen die Zahlen die Bedeutung der Schutzwälder im Alpenraum deutlich auf. In den letzten Jahrzehnten hat deren Bedeutung noch zugenommen: Gebiete, welche früher im Winter gemieden wurden, sind heute ganzjährig für die Touristen zugänglich. Gegenden werden besiedelt,

die von unseren Vorfahren noch als unsicher eingeschätzt wurden. Der Transport von Personen und Gütern durch die Alpen hat massiv zugenommen (BUWAL 2001). Einige Kennzahlen aus den Bayerischen Alpen machen deutlich, wie stark die Veränderung im Alpenraum ist: So hat sich die Bevölkerung in den letzten 150 Jahren vervierfacht und erreicht nun eine Dichte von über 400 Bewohnern pro km<sup>2</sup> besiedelbarer Fläche (BayStMELF 2000). Darüber hinaus wird die Region von mehr als 4.5 Millionen Touristen pro Jahr besucht (Bayerischer Landtag 2006). In Tirol verbringen jährlich rund 8 Millionen Gäste ihre Sommer- und Winterferien und erhöhen damit die Einwohnerzahl saisonal auf mehr als 800 Bewohner pro km<sup>2</sup>.

Angesichts solcher Zahlen kann der starke Anstieg des Schadenpotenzials in vielen Regionen des Alpenraumes nicht verwundern. Dies wiederum macht grosse Investitionen in Schutzmassnahmen nötig. Die Schweiz investierte beispielsweise während den letzten Jahrzehnten zwischen 120–150 Millionen CHF an Bundesgeldern pro Jahr für «Schutzaktivitäten im Waldbereich» (Schärer 2004). Ungefähr 60% der Geldmittel (d. h. rund 70–94 Millionen CHF) wurden benötigt für den «Schutz durch Wald», das heisst für Schutzwaldpflege, Verjüngung und Behebung von Waldschäden, forstliche Planungsgrundlagen, Erschliessungsanlagen und Investitionskredite (Schärer 2004). In Österreich fliessen ungefähr 120 Millionen Euro pro Jahr in technische Schutzmassnahmen zur Wildbach- und Lawinerverbauung und in das präventive Schutzwaldmanagement. Allein im Bundesland Vorarlberg wurden im Jahr 2006 zirka 2.5 Millionen Euro in die Schutzwaldpflege und -erhaltung investiert. Umgelegt auf die gesamte Schutzwaldfläche entspricht dies rund 48 Euro pro Hektare. In Tirol liegt dieser Wert sogar bei 80 Euro pro Hektare und Jahr (Amt Tiroler Landesregierung 2005). In der Region Piemont in Italien werden im Zeitraum von 2006–2008 Beiträge von bis zu 80 Euro pro Hektare für Schutzwälder ausgegeben, mit dem Ziel, deren ökologische und physische Stabilität zu erhalten oder zu fördern und die Nachteile, welche den Eigentümern durch die Bewirtschaftung entstehen, teilweise auszugleichen (Massnahme I Aktion 7 des «Piano di Sviluppo Rurale» – D.G.R. 26-3081 gemäss EC-Verordnung No. 1257/1999). In Bayern wurden seit Beginn des Schutzwaldsanierungsprogrammes im Jahre 1986 rund 60 Mio Euro in die Sanierung der Schutzwälder investiert (BayStMLF 2006). Das entspricht rund 250 Euro pro Hektare und Jahr im Schnitt der letzten 20 Jahre. Im Gegensatz dazu sind in Frankreich momentan keine strukturellen Finanzmittel für das Schutzwaldmanagement verfügbar. Auf Antrag werden lokal begrenzte Massnahmen im Rahmen des Schutzwaldmanagements geprüft und fallweise genehmigt. Auf diese Weise investiert die französische

Regierung jährlich zwischen 500 000 und 800 000 Euro in das Schutzwaldmanagement (ONF, persönliche Mitteilung). In absehbarer Zukunft ist auch in Frankreich die Errichtung von strukturellen Finanzmitteln für das Schutzwaldmanagement vorgesehen.

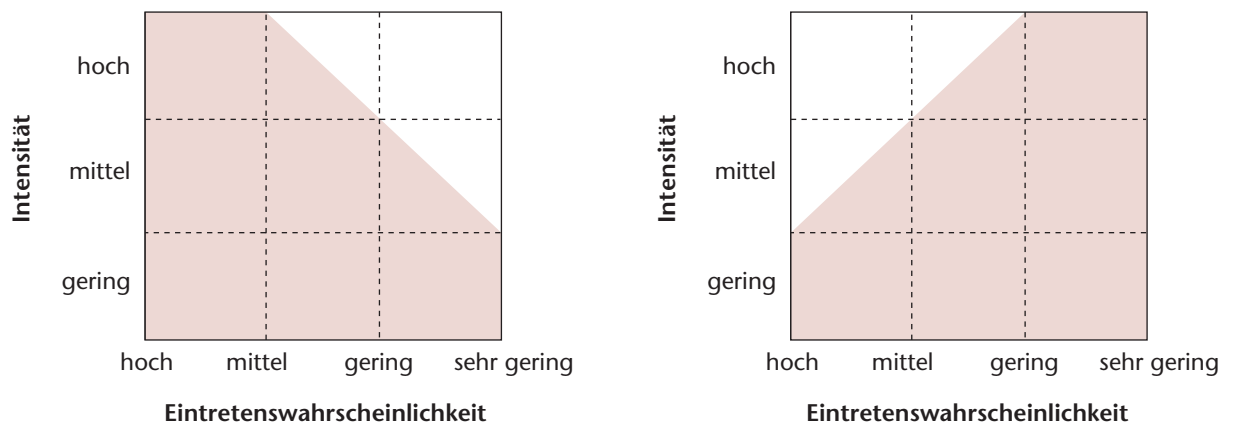
Die oben genannten Zahlen belegen den ökonomischen Wert und die Bedeutung des Schutzwaldes. Der vorliegende Aufsatz gibt einen Überblick über den aktuellen Stand des Wissens beim Schutzwaldmanagement in den Alpen. Einleitend wird der Begriff «Schutzwald» definiert und die potenzielle Schutzwirkung von Wäldern gegen verschiedene Naturgefahren erklärt. An Beispielen aus mehreren Ländern werden sodann die Abgrenzung und Ausscheidung, die Pflege und das Monitoring solcher Wälder thematisiert. Schliesslich werden Forschungsbedürfnisse sowie Schritte zur Verbesserung des Schutzwaldmanagements formuliert.

### **Definition von Schutzwäldern und ihrer Wirkung gegen Naturgefahren**

Die Hauptfunktion eines Schutzwaldes ist der Schutz von Menschen, Gütern und Infrastrukturen vor Naturgefahren (Brang et al 2006). Ein Schutzwald bedingt das Vorhandensein (1) eines Gefahrenpotenzials (z.B. eine instabile Felswand), (2) eines Schadenpotenzials (z.B. eine Siedlung oder ein Verkehrsweg) und (3) eines Waldes, welcher eine Schutzwirkung gegen die Naturgefahr entfalten kann (Brang et al 2001).

Schutzwälder können in Wälder unterteilt werden, welche eine direkte Schutzwirkung bieten und solche mit indirekter Schutzwirkung (Brang et al 2006). Eine direkte Schutzwirkung ist gegeben, wenn die Wirkung von der Anwesenheit eines Waldes an einem bestimmten Ort, in der Regel oberhalb des Schadenpotenzials, abhängt. Ein typisches Beispiel hierfür ist ein Lawinenschutzwald oberhalb einer Siedlung. Die indirekte Schutzwirkung hängt hingegen von der Anwesenheit eines bestimmten Waldanteiles auf der Landschaftsskala ab und nicht von der genauen Lage eines Waldes. Dieser Umstand macht es schwierig, die Schutzwirkung eines solchen Waldes in Bezug zum Schadenpotenzial zu setzen. Beispiele für Wälder mit indirekter Schutzwirkung finden sich häufig in Einzugsgebieten von Wasserläufen, wo sie zur Reduktion von Erosionsprozessen oder Überflutungen beitragen können (Hamilton 1992).

Wälder können gegenüber Lawinen, Stein Schlag, flachgründigen Rutschungen, Murgang, Erosionsprozessen und Überflutung Schutzwirkung entfalten (Brang et al 2006). Diese hängt dabei stark vom Naturgefahrenprozess ab. Sie kann die Prozesse verhindern oder vermindern. Lawinenschutzwald wirkt beispielsweise eher vorbeugend als abschwä-



**Abb 1** Mögliche Schutzwirkung von Waldbeständen gegen Lawinen (links) und Steinschlag (rechts). Die Schattierung gibt die Bereiche der Intensität und Eintretenswahrscheinlichkeit von Naturgefahren wieder, bei denen ein Wald eine gute Schutzwirkung entfalten kann (nach Sandri 2006).

chend. Die Intensität von Lawinen gemessen in Volumen und Energien übersteigt oft die Möglichkeiten eines Waldes zur Minderung des Prozesses (Berger 1996, Bartelt & Stöckli 2001, Margreth 2004). Baumkronen, vor allem von immergrünen Nadelbäumen, wirken durch Schneeeinterzeption und durch den aus den Kronen herabfallenden Schnee dem Aufbau einer homogenen Schneeschicht entgegen, welche damit nicht mehr als kompaktes Paket abgleiten kann (In der Gand 1978). Auf diese Weise kann die Auslösung einer Lawine verhindert werden (Margreth 2004).

Bei Steinschlagereignissen mit einem Volumen  $< 5 \text{ m}^3$  (Berger et al 2002) kann ein Wald abschwächend wirken. Bäume und sogar tote, liegende Stämme können den Steinschlagprozess wirksam abdämpfen, indem sie die Energie der Steine verringern oder die Steine gar ganz stoppen (Couvreur 1982, Jahn 1988, Gsteiger 1993, Lafortune et al 1997, Dorren et al 2005). Die Schutzwirkung eines Waldes hängt einerseits primär von der Grösse und der kinetischen Energie eines Steines ab und andererseits von der Kombination der Hindernisse in der Transitstrecke wie zum Beispiel Geländeunebenheiten, Bäume, Strünke und tote, liegende Stämme (Schönenberger et al 2005, siehe auch Dorren et al 2007). Für einen optimalen Steinschlagschutz sind nicht allein Bäume mit grossem Durchmesser nötig. Ein gut strukturierter Bestand mit einer breiten Durchmesser- und einem Mosaik von verschiedenen Entwicklungsstufen kann unter Umständen weitaus besser gegen Steine schützen (Dorren et al 2007).

Baumwurzeln können flachgründige Rutschungen durch mechanische Verstärkung des Bodens verhindern oder zumindest deren Ausmass verkleinern (Hamilton 1992, Rickli et al 2001), indem sie die mechanischen Bodeneigenschaften durch Aggregatbildung respektive Aggregatstabilisierung erhöhen (Böll & Graf 2001). Insbesondere in Böden mit einer mässigen Durchlässigkeit erhöhen sie da-

rüber hinaus das im Boden verfügbare Wasserspeichervolumen (Hegg et al 2005). Zudem können Wälder auf Erosions- und hydrologische Prozesse einwirken, indem sie beispielsweise durch permanenten Streueintrag die Oberflächenerosion reduzieren oder durch Aufbau einer organischen Auflage die Wasserrückhaltekapazität erhöhen (Hamilton 1992). Weiter wirken sich Bäume positiv auf die Interzeption von Niederschlägen und die Evapotranspirationsbilanz aus, was wiederum zu einer verbesserten Wasserbilanz des Bodens führen kann (Rickli et al 2004, Frehner et al 2005).

Die Schutzwirkung eines Waldes hängt wie bereits erwähnt von der Art der Naturgefahr ab, insbesondere von deren Auftretenswahrscheinlichkeit und deren Intensität, sowie vom Zustand des Waldes selbst. Schutzwälder können kaum je einen hundertprozentigen Schutz bieten, aber sie können die vom Prozess ausgehende Gefahr und somit das Restrisiko beträchtlich reduzieren (Abbildung 1). Für den Fall, dass das Risiko trotz der Schutzwirkung des Waldes noch zu hoch ist, kann die Schutzwirkung des Waldes durch zusätzliche technische Abwehrmassnahmen wie Steinschlagschutznetze oder Lawinenverbauungen ergänzt werden.

Obwohl die Schutzwirkung unter bestimmten Bedingungen ergänzt werden muss, sind Wälder im Allgemeinen ein sehr wirksames Mittel im Rahmen des integralen Risikomanagements (Planat 2005). Sie können auf grossen Flächen gleichzeitig Schutz gegen verschiedene Naturgefahren bieten. Eine solche Überlagerung von mehreren Gefahrenprozessen kommt recht häufig vor. Daher haben Schutzwälder einen klaren Vorteil gegenüber technischen Massnahmen, welche oft nur gegen einzelne Naturgefahren wirksam sind (z.B. gegen Lawinen oder Steinschlag, aber nicht gegen beide Naturgefahren). Darüber hinaus ist die Schutzwaldpflege fünf bis zehn Mal kostengünstiger als technische Massnahmen (Sandri 2006).

## Abgrenzung und Ausscheidung von Schutzwäldern

Schutzwälder liegen oft an Gebirgshängen, da viele relevante Naturgefahren schwerkraftabhängige Massenbewegungen sind. Schutzwälder können aber auch im Talgrund oder auf Sedimentkegeln wachsen, wo sie eine Schutzwirkung gegen Überflutung und Oberflächenerosion haben (Wilford et al 2003). Bisher gibt es im Alpenraum keine einheitliche Methodik, um Schutzwälder abzugrenzen und auszuscheiden, da die Definition der Schutzwälder per se bereits einige Schwierigkeiten aufwirft: So kann einerseits die potenzielle Schutzwirkung eines Waldes gegen bestimmte Naturgefahren aufgrund eines fehlenden Prozessverständnisses oder fehlender Informationen zu den Prozessfrequenzen und -intensitäten nicht immer klar abgeschätzt werden. Andererseits hängt die Definition eines Schutzwaldes auch von der Definition des (relevanten) Schadenpotenzials ab, wobei eine nicht einheitliche Definition des Schadenpotenzials eben auch zu Abgrenzungs- und Ausscheidungsschwierigkeiten führt. Diese Schwierigkeiten sind in den verschiedenen Ansätzen zur Schutzwaldausscheidung im Alpenraum zu erkennen: In Italien existiert beispielsweise keine Ausscheidung von Schutzwäldern auf nationaler Ebene. Die Kompetenz für das Waldmanagement wurde in den späten 70er-Jahren von der nationalen zu den regionalen Verwaltungen delegiert, wobei bislang keine einzige Region ihre Schutzwälder umfassend ausgeschieden hat. Schutzwald-Ausscheidungen wurden nur für einzelne Talschaften oder Gemeinden und oftmals nach ganz verschiedenen Methoden gemacht (Lingua et al 2003, Zampa et al 2004). In der Autonomen Region Aostatal wurden die Schutzwälder beispielsweise im Rahmen des INTERREG III A-Projekts «Gestion durable des forêts de montagne à fonction de protection» halbautomatisiert aufgrund der Analyse eines digitalen Geländemodells (DGM) ausgeschieden (Meloni et al 2005). Die Genauigkeit dieser Methode hängt hauptsächlich von der Verfügbarkeit von aktuellen Geodaten zur Bodenbedeckung (Wald) und zum Schadenpotenzial ab. Diese müssen in einer hohen Auflösung vorliegen.

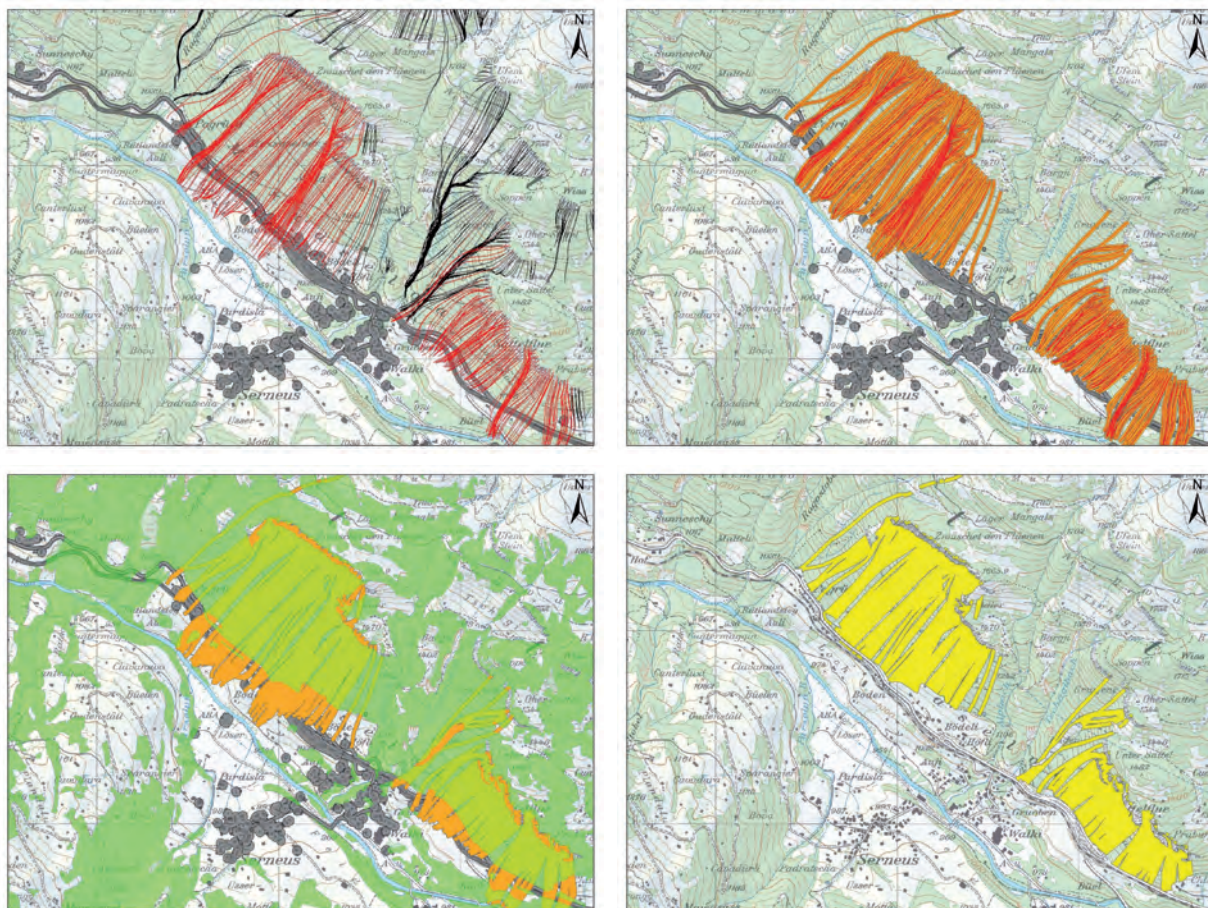
In Bayern sind nach dem Waldgesetz für den Schutzwald von Amts wegen Schutzwaldverzeichnisse anzulegen. Die Kriterien für die Ausscheidung von Schutzwäldern sind in einer Bekanntmachung des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forste aus dem Jahr 1977 spezifiziert (Zerle et al 2006). Sie enthalten verschiedene Aspekte bezüglich Naturgefahren und Gelände, so zum Beispiel Informationen zur orographischen und geographischen Lage und Hangneigung. Für viele Wälder bildete auch die Hanglabilitätskartierung von Laatsch & Grottenthaler (1973) die Grundlage.

Die Ausscheidung erfolgte durch verbeamtete Forstleute. Dieses Vorgehen führte in Bayern zu einer ziemlich präzisen und flächenscharfen Ausscheidung von Schutzwäldern.

In Österreich unterscheidet das Forstgesetz zwischen Standortschutzwald, Objektschutzwald und Bannwald und definiert die Abgrenzungskriterien für jede Kategorie innerhalb des Gesetzes. Ein Standortschutzwald ist ein Wald, dessen Standort durch die erosiv wirkenden Kräfte von Wind, Wasser und Schwerkraft bedroht ist. Der Wald ist somit selbst das eigentliche Schadenpotenzial. Ein Objektschutzwald schützt dagegen Siedlungen, Verkehrswege und andere Infrastrukturen sowie Kulturland gegen Naturgefahren. In beiden Kategorien sind spezielle Pflegemassnahmen vorgesehen (§ 21 Par. 2 Österreichisches Forstgesetz 1975).<sup>1</sup> Ein Bannwald wird per Bescheid ausgeschieden, und seine Ausscheidung verpflichtet die direkten Nutzniesser zur Erhaltung der Schutzwirkung. Die Umsetzung des Forstgesetzes sowie die Ausscheidung der Schutzwälder obliegt der Landesforstverwaltung in Zusammenarbeit mit den Bezirksforstämtern. Diese Verwaltungseinheiten scheidet verschiedene Waldfunktionen wie die Schutzfunktion in Waldentwicklungsplänen aus. Gemäss den neuen Richtlinien für Waldentwicklungspläne (BMLUFW 2006) werden Objektschutzwälder nicht explizit abgegrenzt, sondern nur deren Anteil an der Waldfläche geschätzt. Basierend auf den Waldentwicklungsplänen wird der Schutzwaldanteil auf nationaler Ebene momentan auf 19.3% der Waldfläche geschätzt, das heisst auf rund 755 000 ha. Die Bundesländer verfügen darüber hinaus über präzisere Angaben zu den Schutzwäldern, zum Beispiel Gefahrenzonenpläne, welche auf flächigen Gutachten zu den Naturgefahren Wildbach, Lawinen und Erosionen basieren, die in der Regel durch Experten des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung erstellt werden. Diese zusätzlichen Angaben erlauben eine präzisere Ausscheidung von Schutzwäldern, können aber auch als Grundlage zur Planung von konkreten organisatorischen (z.B. Zonenpläne) oder technischen (z.B. Verbauungen) Massnahmen gebraucht werden.

2007 lancierte die österreichische Bundesregierung die Initiative «Schutz durch Wald» (ISDW). Damit sollen einerseits die Massnahmen im Schutzwald durch zusätzliche finanzielle Anreize erhöht und andererseits die Informationen über den derzeitigen Zustand und die Entwicklung verbessert werden. Das ISDW-Programm gliedert sich in zwei Abschnitte. Im ersten wurden von Vertretern der Forstbezirksbehörden und der Wildbach- und Lawinenverbauung auf regionaler Ebene Flächen für ganz Österreich ausgeschieden, in denen Bergwälder

<sup>1</sup> [www.lebensministerium.at](http://www.lebensministerium.at) (3. April 2007)



**Abb 2** Bestimmung der schadenrelevanten Prozessflächen im Wald gemäss SilvaProtect-CH am Beispiel des Prozesses Steinschlag. Landeskarte 1:25 000 reproduziert mit Bewilligung von swisstopo (BA071178). Schritt 1: Selektion der Steinschlagtrajektorien (rot), welche auf ein Schadenpotenzial (grau) treffen (schwarz: restliche Trajektorien). Schritt 2: Pufferung der selektierten Steinschlagtrajektorien (rot) mit einem zweiseitigen Puffer (orange). Schritt 3: Verschnitt der vereinigten Pufferfläche (orange) mit der Waldfläche (grün). Schritt 4: Freistellung der schadenrelevanten Prozessflächen im Wald (gelb).

der mit Objektschutzcharakter bekannt sind (Rahmenpläne). Innerhalb dieser ausgewiesenen Flächen können im zweiten Abschnitt für waldbauliche Massnahmen, die der Verbesserung und Nachhaltigkeit der Schutzfunktion dienen, Fördermittel beantragt werden. Bei der Vergabe der Fördermittel kommt ein Entscheidungsunterstützungssystem zum Einsatz, das die Beurteilung der Gefahr (Unterscheidung nach Grösse und Frequenz für jeden Gefahrentyp) und des Waldes (Unterscheidung zwischen gegenwärtigem Zustand und Entwicklungsdynamik) mit wenigen Parametern verbindet. Diese Daten werden in einer Entscheidungsmatrix verarbeitet und für die spätere Evaluation und Effizienzkontrolle archiviert.

In der Schweiz existiert gegenwärtig noch keine einheitliche Schutzwaldausscheidung, obwohl Massnahmen zum Schutzwaldmanagement bereits seit mehr als 30 Jahren unterstützt werden. Zwar haben praktisch alle Kantone die Schutzwälder gemäss den Vorgaben des Bundes ausgeschieden, aber diese Vorgaben waren vergleichsweise unscharf und erlaubten den Kantonen eine grosszügige Auslegung.

Aus diesem Grund ist das Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Zusammenarbeit mit den Kantonen momentan daran, die Kriterien zur Schutzwaldausscheidung zu harmonisieren.<sup>2</sup> Dazu wurden über die ganze Schweiz die bedeutsamen Naturgefahrenprozesse mit Hilfe von dynamischen Modellen erhoben. Die resultierenden Gefahrenprozessräume wurden sodann mit dem Waldperimeter und dem relevanten Schadenpotenzial in einem geographischen Informationssystem (GIS) verschnitten (Abbildung 2). Die Resultate dieses Verschnitts, die «schadenrelevanten Prozessflächen im Wald», wurden anschliessend mit den aktuellen kantonalen Schutzwaldperimetern verglichen. Diese Vergleiche dienen nun als Basis für die Vereinheitlichung der Kriterien zur Schutzwaldausscheidung. Die Kriterien sollen bis Ende 2011 in den kantonalen Schutzwaldausscheidungen berücksichtigt werden.

<sup>2</sup> siehe auch [www.bafu.admin.ch/naturgefahren](http://www.bafu.admin.ch/naturgefahren) (27. April 2007)

## Schutzwaldpflege

### Walddynamik und Schutzwirkung

Ein Wald ist ein dynamisches System, welches nicht über längere Zeit in einem bestimmten Zustand gehalten werden kann (Brang 2001). Die Bestandesstruktur, welche die Schutzwirkung eines Waldes massgebend beeinflusst, verändert sich andauernd. Damit ändert sich auch laufend die Schutzwirkung eines Bestandes. So können beispielsweise Bestände mit hohen Stammzahlen, welche einen sehr wirksamen Schutz gegen Steinschlag bieten (Omura & Marumo 1988, Cattiau et al 1995), langfristig nicht erhalten werden: Solche Bestände sind normalerweise anfällig für Sturmschäden (Rottmann 1986) und Schneebruch (Rottmann 1985, Oliver & Larsen 1990) und verhindern zudem durch ihre Struktur eine ausreichende Verjüngung. Gerade in Schutzwäldern ist aber ein Mindestmass an Verjüngung von entscheidender Bedeutung, da nur so eine dauerhafte Bestockung gesichert werden kann und damit eine langfristige Schutzwirkung erst ermöglicht wird. In Gebirgswäldern kann sich ein Verjüngungsmangel besonders gravierend auswirken, da sich infolge des langsamen Baumwachstums in grossen Höhenlagen (Ott et al 1997) ein allfälliges Defizit erst nach Jahrzehnten auf die Schutzwirkung auswirkt und daher leicht zu spät entdeckt wird (Wehrli 2005).

Normalerweise sind ungleichförmige, vielschichtige Bestände mit einem Mosaik von Bäumen verschiedener Grösse und verschiedenen Alters am besten für den Schutz vor Naturgefahren geeignet (Ott et al 1997, Motta & Haudemand 2000, O'Hara 2006). Derartig reich strukturierte Bestände bieten oftmals Schutz gegen verschiedene Naturgefahrenprozesse. Sie scheinen zudem weniger anfällig gegen natürliche Störungen zu sein und zeigen eine höhere Elastizität nach Störungen wie Windwürfen (Brang et al 2006). Leider sind momentan viele Bestände im Alpenraum eher gleichförmig und einschichtig. Solche Bestände weisen oft ein Verjüngungsdefizit auf. Das stellt ihre langfristige Schutzwirkung in Frage. Beispiele hierzu finden sich in den Fichtendominierten Gebirgswäldern der Schweiz, welche momentan vielerorts eher gleichförmig, dicht und arm an Verjüngung sind (siehe auch Brang & Duc 2002). Aber auch in Österreich weist die nationale Waldinventur (ÖWI) ein deutliches Verjüngungsdefizit aus: So verfügen gemäss ÖWI bloss 30% der Waldfläche über genügend Verjüngung (BMLUFW 2006). Nicht anders sieht es in Bayern aus. Auf nur 21% der über 80 Jahre alten Schutzwaldbestände hat sich die Vorausverjüngung eingefunden (Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft 2005).

Neben homogenen Beständen mit Verjüngungsmangel gibt es weitere Faktoren, welche die

zukünftige Schutzwirkung von Wäldern in Frage stellen können, so zum Beispiel Bestandeslücken, Bestandesüberalterung, Windwurf, Borkenkäfer oder hoher Verbissdruck durch Schalenwild und Weidewild. Diese Faktoren haben dazu geführt, dass vielerorts die Schutzfunktion der Wälder beeinträchtigt ist: So wird in Bayern die Schutzwirkung von mehr als 12 000 ha des Schutzwaldes momentan als ungenügend eingeschätzt (BayStMLF 2005), im Tirol gar von rund 85 000 Hektaren (Amt Tiroler Landesregierung 2006).

### Schutzwaldpflege in den Alpen

Um die Schutzwirkung der Wälder langfristig und nachhaltig sicherzustellen, müssen Schutzwälder oft gepflegt werden. Dabei macht man sich die Tatsache zu Nutze, dass die Dynamik von Gebirgswäldern und somit auch deren Schutzwirkung durch waldbauliche Massnahmen beeinflusst werden kann (Schönenberger & Brang 2004). Die Massnahmen zielen oft darauf ab, ein kleinräumiges Mosaik von Waldstrukturen in verschiedenen Entwicklungsstufen zu generieren. Dazu wird der homogene und dichte Bestand mittels schlitzförmiger Öffnungen in kleinere Einheiten unterteilt. Sobald sich die Verjüngung in diesen Schlitzten etabliert hat, wird der Mosaikbildungsprozess durch weitere Schlitzte fortgesetzt. Dieses Vorgehen sollte über den gesamten Entwicklungszyklus eines Bestandes weitergeführt werden, damit schliesslich phasenverschobene Mosaikstrukturen entstehen (Dorren et al 2004). Solche waldbauliche Eingriffe sind zwar oft Erfolg versprechend, aber auch ziemlich teuer.

Der Bedarf an Schutzwaldpflege in einzelnen Schutzwäldern ist oftmals schwierig abzuschätzen. Einige neuere Studien deuten darauf hin, dass Wälder unter bestimmten Bedingungen für eine gewisse Zeit auch ohne waldbauliche Massnahmen eine gute Schutzwirkung leisten können (siehe z.B. Frey & Thee 2002, Kupferschmid Albisetti 2003, Kupferschmid Albisetti 2004, Schönenberger et al 2005). Allerdings können aus diesen Studien noch keine allgemein gültigen Regeln abgeleitet werden, da die Datengrundlage zu dünn ist. Solange nicht ausreichende Datenreihen vorhanden sind, welche die Entwicklung von Schutzwäldern ohne waldbauliche Eingriffe über längere Zeiträume dokumentieren, scheint die aktive Schutzwaldpflege gemäss fachlich abgestützten Richtlinien die bessere Option zu sein als ein Verzicht auf Schutzwaldpflege.

In vielen Alpenländern wurde in den letzten Jahrzehnten das Schutzwaldmanagement optimiert, indem spezielle Richtlinien zur Schutzwaldpflege ausgearbeitet und angewendet wurden. So existieren in Bayern waldbauliche Richtlinien für die Staatswälder im Hochgebirge bereits seit 1982 (BayStMELF 1982). Darüber hinaus wurde ein Handbuch zur Schutzwaldsanierung erstellt (BayStMELF 1997). Ziel der beiden

Ort	potenzieller Beitrag des Waldes	minimale Anforderungen aufgrund der Naturgefahr	ideale Anforderungen aufgrund der Naturgefahr
Entstehungsgebiet	<b>mittel</b>	<b>Stabilitätsträger</b> keine instabilen, schweren Bäume	
Transitgebiet	<b>gross</b> Steine bis 0.05 m <sup>3</sup> (Durchmesser etwa 40 cm)	<b>Gefüge horizontal</b> mind. 400 Bäume/ha mit BHD > 12 cm	<b>Gefüge horizontal</b> mind. 600 Bäume/ha mit BHD > 12 cm
		evtl. auch Stockausschläge	
	<b>Gefüge vertikal</b> Zieldurchmesser <sup>1</sup> angepasst		
	Steine 0.05 bis 0.20 m <sup>3</sup> (Durchmesser etwa 40 bis 60 cm)	<b>Gefüge horizontal</b> mind. 300 Bäume/ha mit BHD > 24 cm	<b>Gefüge horizontal</b> mind. 400 Bäume/ha mit BHD > 24 cm
		<b>Gefüge vertikal</b> Zieldurchmesser <sup>1</sup> angepasst	
Steine 0.20 bis 5.00 m <sup>3</sup> (Durchmesser etwa 60 bis 180 cm)	<b>Gefüge horizontal</b> mind. 150 Bäume/ha mit BHD > 36 cm	<b>Gefüge horizontal</b> mind. 200 Bäume/ha mit BHD > 36 cm	
	<b>Gefüge horizontal</b> bei Öffnungen <sup>2</sup> in der Falllinie Stammabstand < 20 m liegendes Holz und hohe Stöcke: als Ergänzung zu stehenden Bäumen, falls keine Sturzgefahr		
	minimale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt	ideale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt	
Auslauf- und Ablagerungsgebiet	<b>gross</b> Der wirksame Mindest- durchmesser der Bäume ist deutlich geringer als im Transitgebiet und liegendes Holz ist immer wirksam.	<b>Gefüge horizontal</b> mind. 400 Bäume/ha mit BHD > 12 cm	<b>Gefüge horizontal</b> mind. 600 Bäume/ha mit BHD > 12 cm
		<b>Gefüge horizontal</b> bei Öffnungen <sup>2</sup> in der Falllinie Stammabstand < 20 m evtl. auch Stockausschläge	
		<b>Gefüge vertikal</b> Zieldurchmesser <sup>1</sup> angepasst liegendes Holz und hohe Stöcke: als Ergänzung zu stehenden Bäumen	
		minimale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt	ideale Anforderungen aufgrund des Standortstyps erfüllt

**Tab 1** Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Steinschlag (aus Frehner et al 2005). <sup>1</sup> Zieldurchmesser angepasst: Der Zieldurchmesser ist so zu wählen, dass die erforderliche Stammzahl mit dem wirksamen Mindestdurchmesser nachhaltig möglich wird. <sup>2</sup> Öffnungen: Öffnung von Stamm zu Stamm im Stangenholz und Baumholz.

Richtlinien ist es, möglichst naturnahe, in aller Regel gemischte, vielschichtige Bestände zu erhalten oder zu schaffen. In Tirol wird derzeit im Rahmen des INTERREG III B-Projektes «Naturpotenziale alpiner Berggebiete» (NAB) eine flächige Waldtypenkarte mit Beschreibung und ein Waldbauhandbuch erstellt. Dieses neue Werkzeug bietet die Grundlage für die langfristige Schutzwaldbehandlung.

In Italien wurden die wichtigen Schutzwälder während langer Zeit mit einem Bann belegt, d.h. die meisten Massnahmen in Schutzwäldern wie Holzeinschläge wurden untersagt. In letzter Zeit wird aber auch hier vermehrt aktiv in den Schutzwald eingegriffen. Fortbildungsmassnahmen sollen dafür ein Bewusstsein schaffen. So werden beispielsweise in den Regionen Piemont und Aostatal im Rahmen eines INTERREG-Projektes Kurse zu minimalen Pflegemassnahmen in Schutzwäldern für Waldfachleute angeboten. Darüber hinaus wurde 2001 ein Netz von permanenten Aufnahmeflächen eingerichtet, welches erlaubt, die Auswirkungen von waldbaulichen Eingriffen über längere Zeit zu verfolgen. Auf diesen Flächen wurden die aktuelle Schutzwir-

kung der Wälder gegen die wichtigsten Naturgefahren auf Grundlage des Schutzwaldhandbuchs von der Autonomen Region Valle d'Aosta – Regione Piemonte (2006) erhoben und notwendige Massnahmen zur langfristigen Verbesserung der Schutzwirkung abgeleitet.

In Frankreich wurde letztes Jahr eine sehr detaillierte Richtlinie als Basis für die Schutzwaldpflege unter dem Titel «Guide des sylvicultures de montagne» (Gauquelin et al 2006) veröffentlicht. Ähnlich wie die italienische basiert auch die französische Richtlinie teilweise auf der im Jahr 2005 in der Schweiz erschienenen Wegleitung «Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald» (NaiS, Frehner et al 2005). Aufgrund der Prioritätensetzung wurden in den Richtlinien beider Länder spezifische, zusätzliche Schwerpunkte gesetzt. In der französischen Richtlinie wird beispielsweise die Schutzwirkung gegen Steinschlag deutlich ausführlicher behandelt als in der Wegleitung NaiS. Die Wegleitung NaiS listet sieben Grundsätze für eine effiziente Schutzwaldpflege auf:

1. **Auf das Schutzziel ausgerichtet:** Pflegemassnahmen in Schutzwäldern dienen ausschliesslich der Verminderung von Naturgefahren.
2. **Am richtigen Ort:** Pflegemassnahmen werden dort ausgeführt, wo der Wald die Wirkung von Naturgefahren auf Menschen oder Sachwerte verhindern oder verringern kann.
3. **Zur richtigen Zeit:** Pflegemassnahmen werden dann ausgeführt, wenn eine optimale Wirkung mit minimalem Aufwand erzielt werden kann.
4. **Im Einklang mit den natürlichen Lebensabläufen:** Pflegemassnahmen sind auf die Standortverhältnisse abgestimmt. So lassen sich die Kräfte der natürlichen Waldentwicklung nutzen.
5. **Objektbezogen, transparent, nachvollziehbar und kontrollierbar:** Pflegemassnahmen werden durch Fachleute an Ort und Stelle festgelegt. Damit wird man den kleinräumig wechselnden Verhältnissen gerecht. Der Entscheidungsprozess verläuft immer gleich. Er wird dokumentiert und damit transparent, nachvollziehbar und kontrollierbar gemacht.
6. **Wirksam:** Pflegemassnahmen führen mit hoher Wahrscheinlichkeit zum Ziel.
7. **Ziel mit verhältnismässigem Aufwand erreichbar:** Pflegemassnahmen stehen in einem angemessenen Kosten-Nutzen-Verhältnis.

Das Konzept von NaiS beruht auf einem Vergleich des aktuellen Zustands des Bestandes mit Anforderungsprofilen für Naturgefahren und Standortstypen (siehe Frehner et al 2005). Die Anforderungsprofile für Naturgefahren beschreiben dabei

eine Bestandesstruktur, welche verschiedene strukturelle Elemente (beispielsweise Stammzahl oder Lückengrösse) berücksichtigt. Diese Struktur bietet gemäss heutigem Wissen eine ausreichende Schutzwirkung gegen eine bestimmte Naturgefahr. Die Anforderungsprofile für Standortstypen fokussieren sich auf die langfristige Sicherstellung der Schutzwirkung, indem beispielsweise für jeden Standort Angaben zur optimalen Durchmischung und Verjüngung gemacht werden. Um nun langfristig die Schutzwirkung sicherstellen zu können, müssen beide Anforderungsprofile erfüllt sein. Beispiele für die beiden Profile finden sich in den Tabellen 1 und 2.

Entscheidungen bezüglich Pflegemassnahmen werden auf lokaler Ebene mit Hilfe eines standardisierten Verfahrens gefällt. Dazu werden Einzugsgebiete in Perimeter mit identischen Anforderungsprofilen bezüglich Naturgefahr und Standort unterteilt. Diese Einteilung in so genannte Zieltypen basiert auf Informationen zu den relevanten Naturgefahrenprozessen sowie auf einer Standortskartierung. Innerhalb der Zieltypen werden dann die Bestände mit einer ähnlichen Bestandesstruktur zu so genannten Behandlungstypen zusammengefasst. Für jeden Behandlungstyp werden die notwendigen Pflegemassnahmen schliesslich auf einer zirka 1 Hektar grossen Weiserfläche, die für den jeweiligen Behandlungstyp repräsentativ ist, bestimmt. Dabei werden der heutige Bestandeszustand sowie dessen erwartete Entwicklung in 10 und 50 Jahren mit den Anforderungsprofilen in einer Checkliste verglichen (Tabelle 3).

**Tab 2** Anforderungsprofil bezüglich Standort am Beispiel des Hochstauden-Fichtenwaldes (aus Frehner et al 2005).

60 Typischer Hochstauden-Fichtenwald 60A Hochstauden-Fichtenwald mit Alpenwaldfarn		
Bestandes- und Einzelbaummerkmale	minimale Anforderungen	ideale Anforderungen
<b>Mischung</b> Art und Grad	Fichte 70–100% Vogelbeere, Grünerle Samenbäume – 30%	Fichte 90–95% Vogelbeere, Grünerle 10%
<b>Gefüge</b> BHD-Streuung horizontal	genügend entwicklungsfähige Bäume in mind. 2 verschiedenen Durchmesserklassen pro ha Rotten, allenfalls Einzelbäume	genügend entwicklungsfähige Bäume in mind. 3 verschiedenen Durchmesserklassen pro ha Rotten, allenfalls Einzelbäume Schlussgrad locker-räumig
<b>Stabilitätsträger</b> Kronen Stand/Verankerung	Kronenlänge mind. 2/3 meistens lotrechte Stämme mit guter Verankerung, nur vereinzelt starke Hänger	Kronen bis zum Boden lotrechte Stämme mit guter Verankerung, keine starken Hänger
<b>Verjüngung</b> Keimbett Anwuchs (10 cm bis 40 cm Höhe) Aufwuchs (bis und mit Dichtung, 40 cm Höhe bis 12 cm BHD)	alle 10 m (100 Stellen/ha) Moderholz vorhanden an mind. 1/3 der verjüngungsgünstigen Stellen Fichte und Vogelbeere vorhanden mindestens 70 Verjüngungsansätze/ha (durchschnittlich alle 12 m) Mischung zielgerecht	alle 8 m (150 Stellen/ha) Moderholz vorhanden an mind. 1/2 der verjüngungsgünstigen Stellen Fichte und Vogelbeere vorhanden mindestens 100 Verjüngungsansätze/ha (durchschnittlich alle 10 m) Mischung zielgerecht

1. Standorttyp: 25C Turinermeister-Lindenwald mit Schmerwurz (9 Platterbsen-Buchenwald)

2. Naturgefahr + Wirksamkeit: Steinschlag - Transitgebiet ca. 75%, massgebende Steingrösse Durchmesser 0 bis 50 cm, Pot. Beitrag gross

3. Zustand, Entwicklungstendenz und Massnahmen			Zustand heute Entwicklung in 10, in 50 Jahren	wirksame Massnahmen	verhältnis- mässig	6. Etappenziel Wird in 10 Jahren (2012) überprüft.
Bestandes- und Einzelbaummerkmale	Minimalprofil (inkl. Naturgefahren)	Zustand 2002				
<b>Mischung</b> Art und Grad	Li, Ah, Es, Ei, Ki, Mb andere Laubbäume 90-100 % Nadelbäume 0-10%	Li, Ah, Es, BUI, Div., SFö, Lä, Fi Lbb 60 % Fi 15%, SFö,Lä 25% Haselsträucher				Li, Ah, Es, BUI, Div., SFö, Lä, Fi Lbb 75 % Fi 10%, SFö,Lä 15% Haselsträucher
<b>Gefüge (vertikal)</b> BHD Streuung	genügend entwicklungsfähige Bäume in zwei BHD-Klassen, nur vereinzelt Bäume > 50 cm	BHD-Klassen 20 - 40 cm gut vertreten 45 Ndb/ha > 52 cm 9 Lbb/ha > 52 cm				BHD-Klassen 20 - 40 cm gut vertreten
<b>Gefüge (horizontal)</b> DG, Stammzahl Lückenzahl	Öffnungen in Falllinie < 20m Stz. > 24 mind. 300/ha in Öffnungen lieg. Holz	Einzelbäume, grosse Alters- differenzierung Stz. > 24 ca. 320/ha Lothar-Lücken m. lieg. Bäumen				BHD-Klasse > 50 reduziert Stz. > 24 mind. 300/ha
<b>Stabilitätsträger</b> Kronenentwicklung Schlankheitsgrad Zieldurchmesser	mind. die Hälfte der Kronen gleichm. geformt, meistens Stämme mit guter Verankerung nur vereinzelt starke Hänger	viele deformierte Kronen  Fichte nicht stabil vereinzelt Hänger		extreme Hänger und schwere Bäume entfernen	X	keine extremen, dicken Hänger
<b>Verjüngung</b> Keimbett	vor Schuttbewegung ge- schützte Kleinstandorte vorh. Fläche mit starker Veg.-Konkur. für Es kleiner 1/3	nur geringe Vegetations- konkurrenz		Holz aus Schlag 2003 schräg im Hang liegend (z.T. Ndh-Trämel mit Heli entfernen)		
<b>Anwuchs</b> (10 cm bis 40 cm)	Anwuchs in Lücken vorhanden	flächendeckend vereinzelt Pflanzen vorhanden		Öffnungen 20x25m, (auch für Stockausschläge) Kontrollzaun	X	Anwuchs unter Schirm auf 1/2 der Fläche, Mischung zielgerecht (Anteil Li und Bah mind. 30%)
<b>Aufwuchs</b> (40 cm Höhe - 12 cm BHD)	pro ha mind 2 Trupps (2-5a, durchschnittliche alle 75 m) oder Deckungsgrad mind. 4% Mischung zielgerecht	nur einzelne unterdrückte Lbb - Bäumchen				Aufwuchs in Öffnungen ca. 1.5 m. Mischung gemäss Ziel

sehr schlecht    minimal    ideal

4. Handlungsbedarf: ja x nein

5. Dringlichkeit: klein mittel x gross

Tab 3 Beispiel einer ausgefüllten Checkliste zur Herleitung des Handlungsbedarfes und der Pflegemassnahmen (aus Frehner et al 2005).

Falls der in 50 Jahren erwartete Waldzustand die Anforderungsprofile nicht erfüllt, aber waldbauliche Massnahmen die Waldentwicklung positiv, d.h. in Richtung der Anforderungsprofile beeinflussen können, sollen diese ergriffen werden. In einigen Fällen kann aber auch eine gezielte Unterlassung (kein Eingriff) optimal sein. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn sich der Bestand selbständig, dank der natürlichen Walddynamik, mit grosser Wahrscheinlichkeit über die geforderten Anforderungsprofile hinaus entwickelt. Solche Fälle können mit Hilfe der standardisierten Entscheidungsfindung eindeutig identifiziert werden.

Die standardisierte Entscheidungsfindung ist zudem sehr wichtig für die Erfolgskontrolle. Diese wiederum ist unerlässlich für eine weitere Entwicklung und Verbesserung der Schutzwaldpflege durch adaptives Management (Walther 1986). Die Erfolgskontrolle beinhaltet die vier Schritte:

1. **Vollzugskontrolle:** Sind die Massnahmen am richtigen Ort und fachgerecht ausgeführt worden?
2. **Wirkungsanalyse:** Wie ist die Wirkung der Massnahmen?
3. **Zielerreichungsanalyse:** Inwieweit entspricht der Waldzustand den Anforderungsprofilen?

4. **Zielanalyse:** Sind die Anforderungsprofile zweckmässig oder müssen sie revidiert werden?

Während die ersten beiden Schritte kleinräumig kontrolliert werden (Weiserflächen in den Beständen), werden die Schritte 3 und 4 lokal bis regional überprüft.

Um die Konzeption NaiS im Alpenraum bekannt zu machen, wird in Kürze im Rahmen des INTERREG III C-Projektes Network Mountain Forest (NMF) eine englische Übersetzung der wichtigsten Teile der Wegleitung NaiS erscheinen.

### Schutzwaldmonitoring

Für ein effizientes und erfolgreiches Schutzwaldmanagement sind verlässliche und aktuelle Informationen über den Zustand und die Entwicklung der Schutzwälder unerlässlich. Solche Informationen können durch Inventuren und andere Monitoringssysteme erhoben werden. Dabei werden der aktuelle Zustand sowie dessen Veränderungen erfasst. Dies erlaubt schliesslich, die Zusammenhänge zwischen verschiedenen Waldfunktionen unter Einbezug der verschiedenen ökologischen, ökonomischen und sozialen Faktoren zu analysieren. Auf diese Weise stehen objektive Grundlagen für die Entscheidungsfindung zur Verfügung.

*Monitoring-Techniken zur objektiven Priorisierung im Schutzwaldmanagement*

Bislang gibt es kein allgemein gültiges Monitoring-System im Alpenraum, welches explizit auf Schutzwälder zugeschnitten ist. Das Monitoring in Schutzwäldern wird jedoch durch verschiedene nationale und regionale Inventuren und verschiedene Monitoring-Systeme abgedeckt, welche Informationen zum Zustand dieser Wälder liefern und so beispielsweise zur Priorisierung von Pflegemassnahmen herangezogen werden können.

In Österreich liefern dazu die nationale Waldinventur (ÖWI), der Waldentwicklungsplan (WEP), die Landesschutzwaldkonzepte (LSK) sowie zahlreiche Inventuren von Unternehmen oder Kontrollsysteme relevante Informationen zum Zustand der Schutzwälder. Im Rahmen der ÖWI werden forstliche Kennzahlen durch regelmässige Felddaufnahmen auf einem Stichprobennetz erhoben. Ab 1971 wurden dabei auch spezielle Informationen zum Schutzwald aufgenommen. Beschränkten sich diese Erhebungen anfangs nur auf Schutzwald im Ertrag, wurden ab der Aufnahme 1992/96 auch die nichtproduktiven Schutzwälder berücksichtigt. Der Schutzwaldbegriff laut ÖWI umfasst jedoch ausschliesslich Standortschutzwald. Die Kategorie Objektschutzwald wurde erst im Jahr 2002 durch eine Ergänzung des Forstgesetzes eingeführt und wird somit erst in der gegenwärtigen Inventurperiode berücksichtigt (BMLUFW 2005). Die stetige Zunahme des Detaillierungsgrades beim Aufnahmekatalog zum Schutzwald widerspiegelt dabei gewissermassen die steigende Bedeutung der Schutzwälder im öffentlichen Bewusstsein. Der Waldentwicklungsplan (WEP) ist Teil der forstlichen Raumplanung, wie sie im Österreichischen Forstgesetz festgehalten ist. Er deckt die gesamten Wälder von Österreich ab und ist momentan das wichtigste Werkzeug, um die Waldfunktionen abzugrenzen. Diese «nationale Waldkarte» gewichtet die Bedeutung der verschiedenen Waldfunktionen (Nutz-, Schutz-, Erholungs- und Wohlfahrtsfunktion). Ein gut fundierter und transparenter Vergleich zwischen der aktuellen und der gewünschten Waldfunktion erlaubt es, die nötigen Massnahmen sowie deren Dringlichkeit und Kosten abzuschätzen. Gemäss diesem Plan hat der Schutz vor Naturgefahren auf rund 26.4% der gesamten Waldfläche Vorrangfunktion. Der Waldentwicklungsplan wird zunehmend für die Aufgaben der generellen Raumplanung genutzt.

Die Landesschutzwaldkonzepte (LSK) werden in Kooperation zwischen den lokalen Forstbehörden und dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung erstellt. Diese Pläne bilden die Grundlage für die regionalen Schutzwaldprojekte und so genannten flächenwirtschaftlichen Projekte. Anlässlich einer kürzlich durchgeführten Revision der LSK wurde die Unterscheidung zwischen Stand-

ort- und Objektschutzwald eingeführt. Gemäss dieser LSK ist in etwa 7.2% der Österreichischen Wälder die Wiederherstellung ihrer Schutzwirkung dringend (Mauser 2006).

Neben der nationalen Waldinventur gibt es in Österreich verschiedene Steuerungs- und Kontrollsysteme, welche in den einzelnen Schutzwaldprojekten angewendet werden. Hauptziel dieser Systeme ist es, die durch Projektmassnahmen angestrebte qualitative und quantitative Verbesserung des Zustandes der Wälder zu erfassen und überwachen. Diese Erhebung erfolgt mit terrestrischen Inventuren, welche im Fünfjahresturnus während der 20-jährigen Projektlaufzeit durchgeführt werden. Die Evaluation gibt nicht nur Auskunft über den Fortschritt der Arbeiten und deren Auswirkungen auf das Gesamtsystem Schutzwald, sondern beinhaltet zusätzlich eine Langzeit-Dokumentation des Projektes. Im Tirol wird diese Art von Überwachung seit 1996 bereits bei etwa 100 Projekten angewendet.

Während die ÖWI detaillierte Informationen zu Artenzusammensetzung, Verjüngung, Totholz und Bestandesstabilität von Schutzwäldern liefert, sind der WEP und die LSK für die Priorisierung von Massnahmen im Schutzwald sowie die zielgerichtete Mittelzuteilung hilfreich. Die oben erwähnten Inventur- und Monitoringsysteme verfolgen verschiedene Ziele und weisen teilweise unterschiedliche Definitionen von Schutzwald auf. Darüber hinaus arbeiten sie auf verschiedenen räumlichen Skalen. Daher ist es zwar möglich, durch den Zusammenzug der verschiedenen Systeme einige generelle Schlüsse zu ziehen, die Inkonsistenz in Terminologie, Definitionen und insbesondere in der Aufnahmemethodik lassen aber eine fundierte, übergreifende Analyse nicht zu. Um dem entgegenzuwirken, schlägt Mauser (2006) vor, die zukünftigen Datenerhebungen zu harmonisieren. Auf diese Weise sollte es möglich sein, die Wirkung des Schutzwaldmanagements auf einheitliche Art zu erheben und so die Basis für ein integratives Schutzwaldmonitoring zu schaffen.

Im Bayerischen Staatswald werden im Abstand von zirka 10 bis 15 Jahren Stichprobeninventuren in den Hochgebirgsforstämtern (seit 2005 Forstbetriebe genannt) durchgeführt. Diese liefern unter anderem Aussagen zum Altersaufbau der Bestände, zur Baumartenzusammensetzung und zur Verjüngungssituation. Im Unterschied zu den Bundeswaldinventuren der Jahre 1987 und 2002 erfolgten die Aufnahmen nicht alle im gleichen Zeitraum. Sie sind damit nicht ohne weiteres auf den ganzen Bayerischen Alpenraum übertragbar. Der Erfolg der Sanierungsmassnahmen wird hingegen intensiv kontrolliert. Auf ausgewählten Sanierungsflächen wurden Dauerbeobachtungsflächen eingerichtet. Mit Hilfe eines Stichprobenverfahrens werden Daten über Pflanzenzahl, Mischungsverhältnis, Wuchsleistung und Schäden erhoben und ausgewertet. Durch Fol-

geaufnahmen, die im 5-jährigen Turnus wiederkehren, werden fundierte Einblicke in die Entwicklung der Verjüngung gewonnen. Langfristig sollen mit diesem Verfahren rund 10% der gesamten Sanierungsfläche erfasst werden (BayStMELF 2000). Neben dieser Stichprobeninventur werden alle Sanierungsflächen jährlich von verbeamteten Forstleuten nach einem einheitlichen Schema beurteilt.

#### *Integrativer Monitoring-Ansatz*

Monitoring- und Planungsmassnahmen sind zu koordinieren und zu vereinheitlichen. Dazu sind entsprechende Werkzeuge nötig. Diese Werkzeuge sollen helfen, wichtige Schutzwaldparameter wie zum Beispiel Durchmesserverteilung, Bestandesdichte, -struktur und -lücken durch quantitative Methoden zu erfassen. Um die Werkzeuge inventurübergreifend nutzen zu können, sind die Schutzwaldparameter einheitlich oder zumindest durchgängig zu definieren. Die Parameter müssen so gewählt werden, dass sie einerseits für den Schutzwald und seinen Zustand repräsentativ sind und andererseits auf einfache und kostengünstige Weise erhoben werden können. Die Methodik der Datenaufnahme muss transparent sein, damit die Daten, welche auf verschiedenen Skalen erhoben wurden, vergleichbar sind. Da sich das Management von Schutzwäldern mit sehr langsam ablaufenden natürlichen Prozessen konfrontiert sieht, müssen diese Instrumente zudem in der Lage sein, Veränderungen über lange Zeiträume zu erfassen.

In der Schweiz wird momentan unter der Führung des BAFU ein integrativer Monitoringansatz entwickelt. So wurde in enger Zusammenarbeit zwischen dem Schweizerischen Landesforstinventar (LFI) und den Autoren der Wegleitung NaiS (Frehner et al 2005, siehe oben) eine gemeinsame Definition der relevanten Schutzwaldparameter erarbeitet. Zu diesen Parametern gehören neben Angaben zur Länge und Breite von Waldlücken auch verschiedene Angaben zum Bestand, wie beispielsweise Deckungsgrad, Bestandesdichte, Durchmesserverteilung und Baumartenzusammensetzung. Zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung eines Bestandes werden Angaben zur Mischung, zur Bestandesstruktur und -stabilität, zur Verjüngung sowie zu Merkmalen von Einzelbäumen (z.B. Kronenlänge, Schlankheitsgrad) benötigt. Zusätzlich sind Informationen zum Standort (Bodeneigenschaften, Waldgesellschaften) erforderlich. Einige dieser Parameter werden vorzugsweise terrestrisch erhoben (z.B. Verjüngung), andere können effizienter mit Fernerkundungsmethoden (Luftbilder, Laser-Scanning LIDAR – z.B. für Lücken oder Bedeckungsgrad) erfasst werden. Bei den Standortdaten handelt es sich grösstenteils um Ergebnisse von Modellierungen (z.B. Waldgesellschaften).

Für jeden Parameter wurden basierend auf der Wegleitung NaiS (Frehner et al 2005) Schwellen-

werte festgelegt, welche es erlauben, die aktuelle Schutzwirkung sowie künftige Entwicklung mit Hilfe von LFI-Daten abzuschätzen. Auf diese Art wird es möglich sein, den Handlungsbedarf im Schweizer Schutzwald auf nationalem und regionalem Niveau zu bestimmen. Um sicherzustellen, dass der gewählte Ansatz mit LFI-Daten ähnliche Ergebnisse ergibt wie ein NaiS-Expertengutachten, wurde ein Methodentest auf LFI-Probeflächen vorbereitet.

Der Ansatz kann durch den Einbezug von zusätzlich vorhandenen Datensätzen verfeinert werden. So können beispielsweise digitale Gelände-Modelle (DGM) oder digitale Oberflächenmodelle (DOM) zur Präzisierung gewisser Merkmale beigezogen werden. Zusätzlich können bereits anderweitig erhobene Daten (beispielsweise Waldgesellschaften, Waldzustand oder geomorphologische Merkmale) bezüglich Naturgefahren mit terrestrischen Erhebungen verifiziert und schliesslich auch ins GIS integriert werden. Mit dieser Integration wird man der Interdisziplinarität von Schutzwald und Naturgefahren auch besser gerecht.

## **Ausblick**

Wie die Beispiele aus den verschiedenen Ländern zeigen, sind im Management von Gebirgswäldern und insbesondere von Schutzwäldern in vielen Ländern des Alpenraums ähnliche Voraussetzungen, Probleme und Perspektiven erkennbar. Erfreulicherweise konnten in mehreren Bereichen des Schutzwaldmanagements in den letzten Jahrzehnten beträchtliche Fortschritte erzielt werden. Trotzdem ist noch einiges Verbesserungspotenzial vorhanden.

### **Verbesserung der Schutzwaldabgrenzung und -ausscheidung**

Das bereits erwähnte Projekt SilvaProtect-CH eröffnet einen viel versprechenden Ansatz, um die Schutzwälder auf grösserer Skala objektiv abzugrenzen. So weit uns bekannt ist, wird in SilvaProtect-CH erstmals ein derart systematischer Ansatz auf nationaler Ebene angewendet. Auch wenn die so generierten Daten in der Praxis nicht direkt für die Ausscheidung der Schutzwälder verwendet werden können, bieten sie doch eine wertvolle und solide Basis für eine systematische und einheitliche Ausscheidung der Schutzwälder in der ganzen Schweiz.

In Österreich und Bayern wird momentan ein ähnlicher Ansatz wie in der Schweiz verwendet, um regionale Gefahrenhinweiskarten zu erstellen: Im EU-Projekt «Einzugsgebiete in alpinen Regionen EGAR» werden bestehende Daten analysiert, um das Gefahren- und das Schadenpotenzial zu ermitteln. Die Herleitung des Gefahrenpotenzials basiert dabei hauptsächlich auf Expertenwissen anhand von Luft-

bildanalysen. Das Schadenpotenzial wird aus Karten und Luftbildern abgeleitet. Die resultierenden Karten von Gefahren- und Schadenpotenzial im Massstab von 1:20000 werden dann verschnitten, um die möglichen Problemzonen, also diejenigen Zonen, wo Naturgefahrenprozesse auf ein relevantes Schadenpotenzial treffen, zu identifizieren. Bislang wurde etwa ein Drittel des Tirols so kartiert. Der Ansatz wurde auch in Bayern eingeführt. Der Wald ist im EGAR-Projekt zwar nicht berücksichtigt, könnte aber einfach einbezogen werden. Mit der Berücksichtigung des Waldes würde die Grundlage für eine systematische Schutzwaldausscheidung gelegt. Dabei könnte der in EGAR verfolgte Ansatz sogar noch genauere Informationen für die Entscheidungsprozesse liefern als das Projekt SilvaProtect-CH. Dies dank dem Umstand, dass in EGAR bereits einige zusätzliche Informationen integriert sind, welche bislang in SilvaProtect-CH vernachlässigt wurden (z.B. Frequenz und Intensität der Naturgefahrenprozesse, Gewichtung des Schadenpotenzials).

### **Verbesserung der Schutzwaldpflege**

Moderne Schutzwaldpflege baut zu einem grossen Teil auf dem Potenzial von natürlichen Ökosystemen (Strukturen und Prozesse) auf und kann damit auch zur Wiederherstellung von natürlichen Ökosystemen beitragen. Da auf diese Art die Pflegemassnahmen vielfach auch an Wirksamkeit und Effizienz gewinnen, ist es nicht erstaunlich, dass in einigen Ländern finanzielle Anreize gesetzt werden, damit diese naturnahen Methoden in Schutzwäldern angewendet werden. Damit werden Waldeigentümer motiviert, das natürliche Potenzial ihrer Wälder auszunützen. Auf diese Weise wurde in der Schweiz das Grundkonzept der minimalen Pflegemassnahmen in Schutzwäldern eingeführt, und die getroffenen Massnahmen werden regelmässig auf ihre Wirksamkeit überprüft (siehe oben). Der Erfolg dieses neuen Ansatzes beruht teilweise sicher auf der Qualität der vorhandenen Richtlinien. Zusätzlich sind aber auch gezielte Bemühungen bei der Umsetzung in der Praxis nötig, indem beispielsweise Ausbildungskurse für Waldarbeiter, Forstwerte und Förster wie auch für Waldeigentümer angeboten werden.

Die momentan erhältlichen Richtlinien beruhen auf dem besten verfügbaren Wissen und sind konzeptionell ausgereift. Dennoch gibt es einige Verbesserungsmöglichkeiten. So bestehen heute noch immer Wissenslücken, was die Auswirkungen der natürlichen oder anthropogen beeinflussten Waldentwicklung auf die Bestandesstruktur anbelangt respektive auf die Schutzwirkung dieser Strukturen gegen verschiedene Naturgefahren. Darüber hinaus fehlt es bislang an ganzheitlichem Wissen zum Schutzwaldsystem. Das Schutzwaldmanagement ist interdisziplinär: So treffen biologische, forstliche,

ingenieurtechnische und ökonomische Herausforderungen aufeinander (Wehrli 2005, Brang et al 2006). In Zeiten von begrenzten finanziellen Mitteln für das Schutzwaldmanagement und von erhöhten Ansprüchen an die Schutzwirkung der Wälder sollte die Wissenschaft nicht nur versuchen, auf obige Fragen Antworten zu finden, sondern auch die Möglichkeiten und Risiken, welche mit dem Verzicht auf Schutzwaldpflege verbunden sind, zu klären.

Schutzwälder sind komplexe Systeme. In ihnen treffen langsam wirkende, aufbauende Einflüsse wie die Verjüngung oder das Baumwachstum auf oftmals heftig und schnell wirkende Kräfte wie Lawinen oder Stürme, und dies über lange Zeiträume. Daher sind Schutzwälder schwierig zu untersuchen, geschweige denn zu bewirtschaften. Um diese Schwierigkeiten zu meistern, werden in neuester Zeit vermehrt Simulationsmodelle angewendet. Mit diesen wird das System untersucht und Wissen zur Verbesserung des Schutzwaldmanagements abgeleitet (siehe Dorren et al 2004, Wehrli 2005, Wehrli et al 2006, Brang et al 2007). Modelle können beispielsweise helfen, die oben beschriebenen Richtlinien respektive die darin enthaltenen Anforderungsprofile zu verbessern oder die Auswirkungen der Walddynamik auf die langfristige Schutzwirkung von Wäldern zu untersuchen (Wehrli 2005).

### **Verbesserung des Schutzwaldmonitorings**

Wie bei der Schutzwaldpflege wurden auch beim Schutzwaldmonitoring in den letzten zwanzig Jahren laufend neue Methoden und Technologien entwickelt. So werden heute Methoden der Fernerkundung erfolgreich angewendet, und die Bildverarbeitung hat grosse Fortschritte gemacht. Die aus den verschiedenen Inventuren und anderen Monitoringansätzen generierten Daten werden mittlerweile standardmässig im GIS geführt.

Die technischen Fortschritte eröffnen auch die Möglichkeit, terrestrische Inventuren mit hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten zu verknüpfen (z.B. Laser-Scanning LIDAR, Orthofotos und Satellitenbilder). Auf diese Weise kann die Anzahl terrestrischer Stichproben teilweise verringert werden. Die Stichprobenpunkte können als Referenzpunkte zur automatischen oder halbautomatischen Klassifikation und Analyse von multispektralen Fernerkundungsdaten und LIDAR-Oberflächenmodellen beigezogen werden. Darüber hinaus können im GIS auch bereits vorhandene Datensätze mit den Inventuren verknüpft werden, was die Informationsdichte weiter erhöht.

Hoch aufgelöste Bilder sowie LIDAR-Daten sind mittlerweile für grosse Gebiete des Alpenraums verfügbar. Aus LIDAR-Daten können digitale Geländemodelle (DGM) und digitale Oberflächenmodelle (DOM) mit einer Auflösung von etwa einem Meter abgeleitet werden. Durch den Vergleich von DGM

und DOM kann auch die Höhe der massgebenden Vegetation abgeschätzt werden. Für Nadelwälder existieren zudem mittlerweile Ansätze, um einzelne Bäume im DOM anzusprechen und somit Kennzahlen wie Bestandesdichte, Baumhöhen und Kronengrößen abzuleiten. Zusammen mit den terrestrischen Inventurdaten und passenden, praxistauglichen Vorhersagemodellen können schliesslich sogar der Holzvorrat und Merkmale zur horizontalen und vertikalen Bestandesstruktur von LIDAR-Daten abgeleitet werden (Hollaus et al 2006, Maier et al 2006). Für solche Analysen müssen aber die Koordinaten eines Aufnahmepunktes genau bestimmt sein.

Basierend auf morphometrischen Merkmalen und Vegetationsstrukturen können aus LIDAR-Daten auch Hinweise zu erosions- oder rutschungsgefährdeten Zonen gewonnen werden, da die LIDAR-Technik den Blick in den Wald respektive auf den Waldboden ermöglicht.

Die Nutzung moderner Technologien war bislang mit einem höheren Kostenaufwand verbunden. Diese Zusatzkosten können aber teilweise wettgemacht werden, indem bei gleicher Resultatgüte die Anzahl terrestrischer Aufnahmepunkte reduziert und bereits existierende Daten verwendet werden. Durch eine stärkere Zusammenarbeit unter den verschiedenen Institutionen, welche Umweltdaten erheben, könnten die Kosten zusätzlich reduziert werden. Anstelle verschiedener Inventuren wäre es zweckmässiger, die vorhandenen Daten zu den verschiedensten biophysikalischen Parametern in einem Monitoringsystem zu vereinen und dieses System dann breit, allenfalls gegen Entschädigung, zugänglich zu machen.

#### **Verbesserung der internationalen Zusammenarbeit im Schutzwaldmanagement**

Ein wichtiger Schritt für eine weitere Verbesserung des Schutzwaldmanagements bietet die Verstärkung der interregionalen und internationalen Zusammenarbeit. Erfolgreiche Beispiele solcher Kooperationen sind INTERREG-Projekte. So versuchen beispielsweise im Rahmen des INTERREG III C-Projektes «Network Mountain Forest» (NMF) neun Länder (Österreich, Italien, Slowenien, Schweiz, Deutschland, Liechtenstein, Bulgarien, Slowakei und Griechenland) eine gemeinsame Strategie für Gebirgswälder zu entwickeln. Ein Ziel ist es, die Gebirgswälder auf die EU-Agenda zu bringen. Im derzeit laufenden INTERREG III B-Projekt «Naturpotenziale Alpiner Berggebiete» (NAB) arbeiten Tirol, Südtirol, Bayern, Slowenien und Piemont gemeinsam an einem Schutzwaldmanagementsystem. Dabei werden auf der Basis von Gefahrenhinweis-karten (Projekt EGAR, siehe oben) und über die Modellierung von Waldtypen Empfehlungen abgeleitet, die die Praktiker vor Ort bei der Entscheidung unterstützen sollen. Waldtypenkarten und ein

Handbuch stehen mittlerweile zur Verfügung. Die Schweizerische Gebirgswaldpflegegruppe ist in beratender Funktion am Projekt beteiligt. Begleitend werden Schulungen angeboten, damit der naturnahe Waldbau stärker als bisher zum Einsatz kommt. Ähnliche Ansätze gab es im INTERREG III A-Projekt «Gestion durable des forêts de montagne à fonction de protection», in dem italienische, französische und schweizerische Waldmanagement- und Forschungsorganisationen zusammengearbeitet haben.

Um das Schutzwaldmanagement in ganz Europa noch weiter zu verbessern, wäre allerdings eine systematische und permanente Zusammenarbeit notwendig. Diese würde es erlauben, Erfahrungen und Wissen auszutauschen. ■

#### **Literatur**

- AMT TIROLER LANDESREGIERUNG (2005)** Tiroler Waldbericht 2005. Innsbruck: Landesforstdirektion. 46 p.
- AMT TIROLER LANDESREGIERUNG (2006)** Tiroler Waldbericht 2006. Innsbruck: Landesforstdirektion 25 p.
- BARTELT P, STÖCKLI V (2001)** The influence of tree and branch fracture, overturning and debris entrainment on snow avalanche flow. *Ann Glaciol* 32: 209–216.
- BAYERISCHER LANDTAG (2006)** Interpellation. Umsetzung der Alpenkonvention in Bayern. München: Bayer Landtag, Drucksache 15/5263.
- BAYSTMELF (1982)** Grundsätze für die Waldbehandlung im bayerischen Hochgebirge. München: Bayer Staatsministerium Ernährung Landwirtschaft Forsten. 71 p.
- BAYSTMELF (1997)** Handbuch zur Sanierung von Schutzwäldern im bayerischen Alpenraum. München: Bayer Staatsministerium Ernährung Landwirtschaft Forsten. 233 p.
- BAYSTMELF (2000)** Der Schutzwald in den bayerischen Alpen. Funktionen – Zustand – Sanierung. München: Bayer Staatsministerium Ernährung Landwirtschaft Forsten. 52 p.
- BAYSTMELF (2005)** Pressemitteilung. Fitnessprogramm für den Bergwald. Miller setzt auf Sanierung, Pflege und Jagd. München: Bayer Staatsministerium Ernährung Landwirtschaft Forsten. 2 p.
- BAYSTMELF (2006)** Waldzustandsbericht 2006. München: Bayer Staatsministerium Ernährung Landwirtschaft Forsten. 64 p.
- BERGER F (1996)** Mapping of the protective functions of the mountain's forest. In: Proc Interpraevent, Garmisch-Partenkirchen, vol 1. pp. 171–180.
- BERGER F, QUETEL C, DORREN LKA (2002)** Forest: a natural protection mean against rockfalls, but with which efficiency? The objectives and methodology of the rockfor project. In: Proc Interpraevent, Pacific Rim, Matsumoto (Japan). pp. 815–826.
- BÖLL A, GRAF F (2001)** Nachweis von Vegetationswirkungen bei oberflächennahen Bodenbewegungen – Grundlagen eines neuen Ansatzes. *Schweiz Z Forstwes* 152: 1–11. doi: 10.3188/szf.2001.0001
- BMLUFW (2005)** Nachhaltige Waldwirtschaft in Österreich – Österreichischer Waldbericht 2004. Wien: Bundesministerium Land- Forstwirtschaft Umwelt Wasserwirtschaft.

- BMLUFW (2006)** Waldentwicklungsplan. Richtlinie über Inhalt und Ausgestaltung. Wien: Bundesministerium Land- Forstwirtschaft Umwelt Wasserwirtschaft.
- BRANG P (2001)** Resistance and elasticity: promising concepts for the management of protection forests in the European Alps. *For Ecol Manage* 145: 107–119.
- BRANG P, DUC P (2002)** Zu wenig Verjüngung im Schweizer Gebirgs-Fichtenwald: Nachweis mit einem neuen Modellansatz. *Schweiz Z Forstwes* 153: 219–227. doi: 10.3188/szf.2002.0219
- BRANG P, SCHÖNENBERGER W, OTT E, GARDNER RH (2001)** Forests as protection from natural hazards. In: Evans J, editor. *The forests handbook*. Oxford: Blackwell, vol 2. pp. 53–81.
- BRANG P, SCHÖNENBERGER W, SCHWITTER R, WASSER B, FREHNER M (2006)** Management of protection forests in the European Alps: an overview. *For Snow Landsc Res* 80 (1): 23–44 .
- BRANG P, HALLENBARTER D (2007)** Bewertung von Handlungsstrategien in Schutzwäldern: Ein integraler Modellansatz. *Schweiz Z Forstw* 158: 176–193. doi: 10.3188/szf.2007.0176
- BROSINGER F (2004)** Integriertes Schutzwaldmanagement im Bayerischen Alpenraum. Konzept und Umsetzung. In: *Proc Interpraevent*, Riva (Trient), vol III. pp. 23–33.
- BUWAL (2001)** Lawinenwinter 1998/1999. Bern: Bundesamt Umwelt Wald Landschaft.
- CATTIAU V, MARI E, RENAUD JP (1995)** Forêt et protection contre les chutes de rochers. *Ingénieries – EAI* 3: 45–54.
- COUVREUR S (1982)** Les forêts de protection contre les risques naturels. Nancy: École Nationale du Génie Rural des Eaux et Forêts. 89 p.
- DORREN LKA, BERGER F, IMESON AC, MAIER B, REY F (2004)** Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps. *For Ecol Manage* 195: 165–176.
- DORREN LKA, BERGER F, LE HIR C, MERMIN E, TARDIF P (2005)** Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests. *For Ecol Manage* 215: 183–195.
- DORREN LKA ET AL (2007)** State of the art in rockfall – forest interactions. *Schweiz Z Forstwes* 158: 128–141. doi: 10.3188/szf.2007.0128
- 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.
- 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: 89–107.
- GAUQUELIN X ET AL (2006)** Guide des sylvicultures de montagne. Grenoble: Cemagref. 289 p.
- GSTEIGER P (1993)** Steinschlagschutzwald. Ein Beitrag zur Abgrenzung, Beurteilung und Bewirtschaftung. *Schweiz Z Forstwes* 144: 115–132.
- HAMILTON LS (1992)** The protective role of mountain forests. *Geojournal* 27: 13–22.
- HEGG C, BADOUX A, WITZIG J, LÜSCHER P (2005)** Forest influence on runoff generation. In: Commarmot B, Hamor F, editors. *Natural forests in the temperate zone of Europe – values and utilization*. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Proc. pp. 72–79.
- HOLLAUS M, WAGNER W, EBERHÖFER C, KAREL W (2006)** Accuracy of large-scale canopy heights derived from LiDAR data under operational constraints in a complex alpine environment. *ISPRS J Photogrammetry Remote Sensing* 60: 323–338.
- IN DER GAND H (1978)** Verteilung und Struktur der Schneedecke unter Waldbäumen und im Hochwald. In: *Mountain forests and avalanches, Proc IUFRO Working Party «Snow and Avalanches»*, Swiss Institute for Snow and Avalanche Research, Davos. pp. 97–122.
- JAHN J (1988)** Entwaldung und Steinschlag. In: *Proc Interpraevent*, Graz, vol 1. pp. 185–198.
- KUPFERSCHMID ALBISETTI AD (2003)** Succession in a protection forest after *Picea abies* die-back. Zürich: Eidg Techn Hochschule, PhD Thesis. 237 p.
- KUPFERSCHMID ALBISETTI AD (2004)** Wie gut schützen Totholzbestände vor Naturgefahren? Schutzwirkung von Gebirgsfichtenwäldern nach Buchdruckerbefall. *Wald und Holz* 85 (1): 33–36.
- LAATSCH L, GROTTENTHALER W (1973)** Labilität und Sanierung der Hänge in der Alpenregion des Landkreises Miesbach. München: Bayer Staatsministerium Ernährung Landwirtschaft Forsten. 56 p.
- LAFORTUNE M, FILION L, HÉTU B (1997)** Dynamique d'un front forestier sur un talus d'éboulis actif en climat tempéré froid (Gaspésie, Québec). *Geogr Phys Quat* 51: 1–15.
- LINGUA E, COLLATIN A, HAUDEMAMAND JC (2003)** Individuazione ed analisi delle foreste di protezione diretta (FPD) nel comune di Cogne (Valle d'Aosta). In: *Proc 7th Conferenza Nazionale ASITA, l'informazione territoriale e la dimensione tempo*, Verona (28–31 Oct 2003). pp. 1325–1330.
- MAIER B, TIEDE D, DORREN LKA (2006)** Assessing mountain forest structure using airborne laser scanning and landscape metrics. Salzburg: *Int Archives Photogrammetry Remote Sensing Spatial Information Sciences XXXVI-4/C42*.
- MARGRETH S (2004)** Die Wirkung des Waldes bei Lawinen. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen. pp. 21–26.
- MAHRER F ET AL (1988)** Schweizerisches Landesforstinventar: Ergebnisse der Erstaufnahme 1982–1986. Birmensdorf: Eidgenöss Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Ber 305.
- MAUSER H (2006)** Überregionale Schutzwaldinventuren in Österreich. *Österreichischer Walddialog – Modul I*. <http://www.walddialog.at/filemanager/list/16029/> (3 Apr 2007).
- MELONI F, LINGUA E, MOTTA R (2005)** Utilizzo di strumenti GIS per l'individuazione automatica delle foreste di protezione diretta in Valle d'Aosta. In: *Proc 9th Conferenza Nazionale ASITA*, Catania (15–18 Nov 2005). pp. 1499–1504.
- MELONI F, LINGUA E, MOTTA R, (2006)** Analisi della funzione protettiva delle foreste: l'esempio della «Carta delle foreste di protezione diretta della Valle d'Aosta». *Forest@* 3: 420–425. <http://www.sisef.it/> (3 Apr 2007).
- MOTTA R, HAUDEMAMAND JC (2000)** Silvicultural planning in protection forests in the European Alps: an example of planning in the Aosta Valley. *Mt Res Dev* 20: 74–81.
- O'HARA KL (2006)** Multiaged forest stands for protection forests: concepts and applications. *For Snow Landsc Res* 80 (1): 45–56.
- OLIVER CD, LARSEN BC (1990)** *Forest stand dynamics*. New York: McGraw-Hill. 467 p.
- OMURA H, MARUMO Y (1988)** An experimental study of the fence effects of protection forests on the interception of shallow mass movement. *Mitt Forstl Bundesvers.anst Mariabrunn Wien* 159: 139–147.
- OTT E, FREHNER M, FREY HU, LÜSCHER P (1997)** Gebirgsnadelwälder – Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Bern: Haupt. 287 p.
- PLANAT (2005)** *Strategie Naturgefahren Schweiz*. Synthesbericht. Bern: Bundesamt Wasser Geologie, Nationale Plattform Naturgefahren. 88 p.

- PLOCHMANN R (1985)** Der Bergwald in Bayern als Problemfeld der Forstpolitik. *Allg Forst Jagdztg* 156: 138–142.
- REGIONE AUTONOMA VALLE D'AOSTA, REGIONE PIEMONTE (2006)** Selvicoltura nelle foreste di protezione. Esperienze ed indirizzi gestionali in Piemonte e Valle d'Aosta. Arezzo: Compagnia delle foreste. 224 p.
- RICKLI C, GRAF F, GERBER W, FREI M, BÖLL A (2004)** Der Wald und seine Bedeutung bei Naturgefahren geologischen Ursprungs. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen. pp. 27–34.
- RICKLI C, ZIMMERLI P, BÖLL A (2001)** Effects of vegetation on shallow landslides: an analysis of the events of August 1997 in Sachseln, Switzerland. In: Kühne M et al, editors. International conference on landslide causes, impacts and countermeasures (Davos, Switzerland).
- ROTTMANN M (1986)** Wind- und Sturmschäden im Wald: Beiträge zur Beurteilung der Bruchgefährdung, zur Schadensvorbeugung und zur Behandlung sturmgeschädigter Nadelholzbestände. Frankfurt: Sauerländer. 128 p.
- ROTTMANN M (1985)** Schneebruchschäden in Nadelholzbeständen: Beiträge zur Beurteilung der Schneebruchgefährdung, zur Schadensvorbeugung und zur Behandlung schneegeschädigter Nadelholzbestände. Frankfurt: Sauerländer. 159 p.
- SANDRI A (2006)** Vom Nutzen des Waldes. Referat Fachtagung 200 Jahre Bergsturz von Goldau.
- SCHÄRER W (2004)** Der Schutzwald und seine Bedeutung in der Waldpolitik des Bundes. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anst Wald Schnee Landsch, Forum für Wissen. pp. 87–90.
- SCHÖNENBERGER W, BRANG P (2004)** Silviculture in mountain forests. In: Burley J, Evans J, Youngquist JA, editors. Encyclopedia of forest sciences. Amsterdam: Elsevier. pp. 1085–1094.
- SCHÖNENBERGER W, NOACK A, THEE P (2005)** Effect of timber removal from windthrow slopes on the risk of snow avalanches and rockfall. *For Ecol Manage* 213: 197–208.
- SONNIER J (1991)** Analyse du rôle de protection des forêts domaniales de montagne. *Rev for fr* 43: 131–145.
- WALTHERS CJ (1986)** Adaptive management of renewable resources. New York: McGraw Hill. 374 p.
- WILFORD DJ, SAKALS ME, INNES JL (2003)** Forestry on fans: a problem analysis. *For Chron* 79: 291–296.
- WEHRLI A (2005)** Mountain forest dynamics and their impacts on the long-term protective effect against rockfall – a modelling approach. Zürich: Eidg Techn Hochschule, PhD Thesis. 180 p.
- WEHRLI A ET AL (2006)** Modelling the long-term effects of forest dynamics on the protective effect against rockfall. *For Snow Landsc Res* 80 (1): 57–76.
- ZAMPA F, CIOLLI M, CANTIANI MG (2004)** A GIS procedure to map forests with a particular protective function. *Geomatics workbooks* 3. <http://geomatica.como.polimi.it> (2 Apr 2007).
- ZERLE A, HEIN W, BRINKMANN D, FOERST C, STÖCKEL H (2006)** Forstrecht in Bayern. Kommentar. Stuttgart: Deutscher Gemeindeverlag.

## Schutzwaldmanagement in den Alpen – eine Übersicht

Viele Gebirgswälder im Alpenraum schützen Siedlungen und Infrastrukturen vor Naturgefahren. Sie werden als Schutzwälder bezeichnet. Ihre Pflege wird so ausgerichtet, dass sie dauerhaft eine möglichst hohe Schutzwirkung erbringen können. Die Pflege und das Management dieser Wälder werden laufend verbessert und haben mittlerweile einen hohen Stand erreicht. Die Wirkung des Waldes gegen Naturgefahren wird immer besser verstanden. Im Moment sind im Alpenraum mehrere Projekte im Gang, mit welchen die Beurteilung der Naturgefahren und des Schadenpotenzials und darauf aufbauend die Ausscheidung von Schutzwäldern harmonisiert werden sollen. Ziel ist es, die Mittel für die Gefahrenprävention noch gezielter einzusetzen. Weiteres Verbesserungspotenzial liegt im Monitoring mit moderner Technologie (Laser-Scanning LIDAR), in der Verknüpfung von Inventurdaten aus unterschiedlichen Quellen, in Simulationsmodellen, um den Langzeitnutzen von Massnahmen im Schutzwald besser beurteilen zu können, sowie in der grenzüberschreitenden Zusammenarbeit.

## Gestion des forêts protectrices dans les Alpes – un aperçu

Dans les Alpes, de nombreuses forêts protègent des localités et des infrastructures contre les dangers naturels. Elles sont désignées comme forêts protectrices. Elles sont soignées de façon à offrir durablement un effet protecteur aussi grand que possible. L'entretien et la gestion de ces forêts sont constamment améliorés et ont atteint un niveau élevé. L'effet de la forêt contre les dangers naturels est de mieux en mieux connu. Plusieurs projets sont en cours dans l'arc alpin en vue d'harmoniser l'appréciation des dangers naturels et des dommages potentiels, et, à partir de là, la délimitation des forêts protectrices. L'objectif est d'utiliser les moyens disponibles pour la prévention des dangers de manière encore plus ciblée. Les possibilités d'amélioration se situent dans le suivi au moyen de techniques modernes (Laser-Scanning LIDAR), dans la liaison avec des données d'inventaire provenant de différentes sources, dans les modèles de simulation permettant de mieux évaluer l'efficacité à long terme des mesures en forêt protectrice, ainsi que dans les collaborations transfrontalières.