

# Lawinenschutz durch Wälder – Methodik und Resultate einer Zahlungsbereitschaftsanalyse

Roland Olschewski

Peter Bebi

Michaela Teich

Ulrike Wissen Hayek

Adrienne Grêt-Regamey

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

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (CH)

WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (CH)

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

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

## Forest avalanche protection – methods and results of a willingness-to-pay analysis

Forests provide a variety of ecosystem goods and services to society. One of these services, avalanche protection, has the typical characteristics of a public good: non-excludability and non-rivalry. A monetary valuation of this service would be helpful to provide efficient and effective protection to the local population. We present the results of a case study from the Swiss Alps, where we determined the willingness to pay for avalanche protection based on a choice experiment combined with a risk-based evaluation and computer-based visualization techniques. Furthermore, we compare these results with the costs of alternative technical measures for natural hazard mitigation. We conclude that the willingness to pay for avalanche protection is higher than the costs of temporary measures, such as wooden stems and grilles, but lower than more costly long-term solutions like steel bridges or nets. Silvicultural measures to maintain the protection forest are by far the most cost-efficient way to prevent people from avalanches, provided that the forest's vulnerability to heavy storm events can be reduced.

**Keywords:** avalanche protection, choice experiment, monetary valuation, protection forest

**doi:** 10.3188/szf.2011.0389

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

Forstliche Ökosysteme haben eine Vielzahl von Funktionen mit positiven Auswirkungen auf die Menschen (Olschewski & Elsasser 2010). Eine der wichtigsten Leistungen von Gebirgswäldern ist der Schutz der Bevölkerung und der Infrastruktur vor Naturgefahren wie zum Beispiel Schneelawinen (Brang et al 2006). In der Schweiz erfüllen rund 43% der Waldfläche eine solche Schutzfunktion (Brändli 2010).

Zur Gewährleistung des Schutzes vor Naturgefahren sind neben waldbaulichen Massnahmen oft auch technische Installationen nötig. Damit die richtigen Entscheidungen getroffen werden können, ist es hilfreich, wenn die schützenden Effekte der Massnahmen quantifiziert werden. Auch Aspekte der Landschaftsplanung müssen berücksichtigt werden. Als Grundlage für solche Bewertungen dienen verschiedene Methoden (Grêt-Regamey et al 2008, Olschewski et al 2008).

Häufig fehlen jedoch Informationen darüber, wie die betroffene Bevölkerung die Schutzwirkung des Waldes bewertet, da diese Waldleistung die typischen Eigenschaften eines schwer zu vermarktenden, öffentlichen Gutes aufweist: Nichtausschliessbarkeit und Nichtrivalität. Eine Möglichkeit zur

Bewertung bieten sogenannte Choice-Experimente (CE). Verschiedene Studien haben gezeigt, dass damit eine ökonomische Bewertung der Schutzwirkung, aber auch anderer Leistungen des Waldes möglich ist (Leiter & Pruckner 2009, Rheinberger 2009, Gonzáles Gómez & Olschewski 2008, Löwenstein 1995). Diese Studien richten ihren Fokus zum Teil auf Besonderheiten der Bewertung, wie zum Beispiel den Vergleich von geringen und grossen Risikoänderungen oder die Bestimmung des statistischen Wertes von Menschenleben. Demgegenüber präsentieren wir eine Studie aus den Schweizer Alpen, in der ein Choice-Experiment zur Bestimmung der Zahlungsbereitschaft mit risikobasierten Evaluations-techniken und computergestützten Visualisierungen kombiniert wird.

### Studienregion

Die Schweizer Gemeinde Andermatt im Kanton Uri hat rund 1250 Einwohner und verfügt darüber hinaus über 1500 Touristenbetten. Andermatt liegt auf einer Höhe von rund 1450 m ü. M. Die umliegenden Berge erreichen eine Höhe von bis zu

3000 m ü. M. Die mittlere Jahreslufttemperatur beträgt 2.7 °C, mit einer Spannweite von –6.7 °C im Januar und 11.8 °C im Juli. Es fallen durchschnittlich 1280 mm Niederschlag pro Jahr. Die Schneehöhe erreicht im Durchschnitt 1.7 Meter, wobei auch extreme Höhen von über drei Metern möglich sind.<sup>1</sup>

Für unsere Studie haben wir den Schutzwald am Nordhang des «Gurschen» ausgewählt, welcher bis in eine Höhe von rund 2000 m ü. M. durchgehend bestockt und besonders im oberen Teil kontinuierlich über 30° geneigt ist.<sup>1</sup> Die besondere Schutzfunktion dieses Waldes wurde bereits im Jahr 1397 erkannt und durch strikte Betretensverbote und Nutzungseinschränkungen in einem Bannbrief sichergestellt. Seit 1874 führten Wiederaufforstungen zu einer Vergrößerung der Waldfläche von ursprünglich vier auf heute rund 24 Hektaren. Die dominierende Baumart ist die Fichte (*Picea abies*), vereinzelt gemischt mit der Lärche (*Larix decidua*) und der Arve (*Pinus cembra*). Die Kernzone des Schutzwaldes bildet ein etwa 300-jähriger Fichtenbestand, der von jüngeren Wiederaufforstungsflächen umgeben ist. Im Jahr 1990 wurden Teile des Schutzwaldes durch den Sturm «Vivian» zerstört. Die betroffene Fläche wurde mit Fichten wieder aufgeforstet. Zusätzlich wurden seit den 1950er-Jahren oberhalb des Schutzwaldes technische Schutzmassnahmen installiert.

## Methoden

### Risikoanalyse

Bei der Berechnung des jährlichen kollektiven Risikos für die Gemeinde Andermatt wurde von einem extremen Lawinenereignis mit einer Wiederkehrdauer von 300 Jahren ausgegangen (Abbildung 1). Gemäss den Empfehlungen für Risikoanalysen nach Bortler (1999) ist das Risiko als Mass für die Grösse der Gefährdung definiert als das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadereignisses und den sich daraus ergebenden Konsequenzen:

$$R_i = \sum P_i \times A_i \quad (1)$$

$R_i$  bezeichnet das Risiko in Abhängigkeit vom Szenario  $i$ ,  $p_i$  ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Szenario  $i$  eintritt, und  $A_i$  steht für das Schadenausmass als Summe aller potenziell aus Szenario  $i$  resultierenden Schäden.

Weiter wurden die Effekte verschiedener Waldstrukturen sowie eines Windwurfs im Bereich des Schutzwaldes auf das Risiko für die Gemeinde Andermatt bewertet. Als Basis dienten die methodischen Vorgaben von Teich & Bebi (2009). Diese GIS-basierte Vorgehensweise umfasst zusätzlich zur klassischen Risikoanalyse

- eine Klassifizierung der Waldstruktur anhand von Luftbildaufnahmen,

- die daraus abgeleitete Bestimmung von potenziellen Lawinenanrissgebieten innerhalb des Waldes,
- die Modellierung der Lawinenauslaufdistancen und Aufpralldrücke unter Verwendung des zweidimensionalen, numerischen Lawinendynamik-Programms RAMMS (Christen et al 2008).

Für die Analyse des Schadenausmasses wurden die potenziell gefährdeten Objekte identifiziert, die innerhalb der Auslaufdistancen des simulierten Lawinenereignisses lagen. Das Schadenpotenzial umfasst einerseits die zu erwartenden Schäden an exponierten Gebäuden und andererseits die erwarteten Verluste an Menschenleben, basierend auf der durchschnittlichen Anzahl Personen, welche sich in den Gebäuden aufhalten (Bründl et al 2009). Die Gesamtheit der potenziellen Sach- und Personenschäden multipliziert mit der Eintretenswahrscheinlichkeit von 0.003 ergibt das jährliche kollektive Risiko für das Untersuchungsgebiet.

### Choice-Experiment

Die Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung von Andermatt für den Schutz vor Lawinen wurde mittels eines Choice-Experimentes bestimmt. Besondere Bedeutung kommt dabei einer klaren und verständlichen Formulierung der Bewertungsfragen zu. Eine zu allgemeine Frage nach der Wertschätzung von Schutzwald kann zu verzerrten Antworten führen, je nachdem, welche Aspekte die Befragten bei der Beantwortung berücksichtigen. Hingegen können zu spezielle Fragen nach der Zahlungsbereitschaft für bestimmte waldbauliche Massnahmen zum Lawinenschutz die Befragten überfordern, da sie mit den fachlichen Besonderheiten nicht vertraut sind. Für unsere Studie haben wir daher ein Szenario gewählt, bei dem ein Windwurf rund eine Hektare des Schutzwaldes zerstört, was zu einer Erhöhung der Lawinengefährdung führt. Der Vorteil dieses Szenarios liegt darin, dass die Bevölkerung von Andermatt durch den Sturm Vivian im Jahr 1990 mit einem solchen Windwurfereignis zum grössten Teil vertraut ist. Als fiktive Windwurfelfläche wählten wir nach einer Ortsbegehung einen von der Struktur her potenziell windwurfgefährdeten Waldbestand mit steiler Hangneigung (gelbe Fläche in Abbildung 1).

Zur Wiederherstellung der Schutzleistungen wurden im Choice-Experiment verschiedene Alternativen vorgestellt, welche durch fünf Attribute beschrieben wurden: Ausmass der Schadenreduktion, Beginn der Schutzwirkung, Dauer der Schutzwirkung, Kosten pro Haushalt und Art der Schutzmassnahme (Tabelle 1).

Um später auswerten zu können, welche Attribute positiv oder negativ bewertet werden und wie

<sup>1</sup> MARX J, STALDER A (2006) Waldbauprojekt Urseren – Technischer Bericht Kostenvoranschlag. Amt Forst Jagd: Altdorf.



Abb 1 Berechnete Lawinauslaufzonen für ein 300-jähriges Lawineneignis in der Gemeinde Andermatt. Rot und blau: rote und blaue Lawinengefahrenzonen; gelbe Fläche: fiktive Windwurffläche; gelb gerahmt: potenzielle Lawinenanrissgebiete.

stark ein Attribut gewichtet wird, wurden in sogenannten Choice-Sets verschiedene Attributlevel mit jeweils drei Optionen kombiniert (Tabelle 2).

Die Teilnehmenden wurden gebeten, aus zehn Choice-Sets je eine von drei Optionen auszuwählen, möglichst unter Beachtung aller Attribute. Dabei wurde angenommen, dass die Auswahl davon abhängt, welchen Nutzen die verschiedenen Attributlevel für die Befragten haben: je höher der Level eines als positiv bewerteten Attributes, desto höher der damit verbundene Nutzen und desto grösser die Wahrscheinlichkeit, dass eine Option ausgewählt wird.

Attribute	Level
Schadenreduktion (S)	50–90% (5–9 Mio. CHF weniger Schaden)
Beginn der Schutzwirkung (W)	1–5 Jahre
Dauer der Schutzwirkung (T)	15–80 Jahre
Kosten pro Haushalt (C)	150–600 CHF
Art der Schutzmassnahme (TYP)	Baumstämme, Holzrechen, Stahlbrücken, Stahlnetze

Tab 1 Attribute und Level der Schutzalternativen.

Attribute	Option A	Option B	Option C
Schadenreduktion	80% (8 Mio. CHF weniger Schaden)	60% (6 Mio. CHF weniger Schaden)	70% (7 Mio. CHF weniger Schaden)
Beginn der Schutzwirkung	in 3 Jahren	in 1 Jahr	in 5 Jahren
Dauer der Schutzwirkung	80 Jahre	20 Jahre	30 Jahre
Kosten pro Haushalt	500 CHF	150 CHF	250 CHF
Art der Schutzmassnahme	Stahlbrücken	Baumstämme	Holzrechen

Tab 2 Beispiel für ein Choice-Set.

Die Daten wurden unter Anwendung eines multinomialen Logit-Ansatzes analysiert (Train 2003). Dabei wird der Nutzen für ein Individuum  $n$  aus einer Alternative  $i$  durch die Gleichung

$$U_{ni} = V_{ni} + \varepsilon_{ni} \quad (2)$$

ausgedrückt, wobei  $U$  die Nutzenfunktion ist und  $V$  die beobachtbare Komponente der Auswahlentscheidung beschreibt, die durch die Attribute näher bestimmt wird. Der Einfluss auf die Auswahlentscheidung, der nicht durch die ausgewählten Attribute erfasst wird, wird durch die Zufallskomponente  $\varepsilon$  in der Nutzenfunktion berücksichtigt. Für diese Variable wird eine unabhängige und identische Verteilung (Extreme Value) angenommen (Train 2003).

$$V_{ni} = \beta_1 \times S_{ni} + \beta_2 \times W_{ni} + \beta_3 \times T_{ni} + \beta_4 \times C_{ni} + \beta_5 \times TYP_{ni} \quad (3)$$

In obiger Gleichung wird die beobachtbare Komponente durch die fünf verwendeten Attribute und ihre jeweiligen Koeffizienten ( $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots$ ) weiter spezifiziert. Dabei bezeichnet  $S$  die Schadenreduktion (in %),  $W$  die Wartezeit bis zum Beginn der Wirksamkeit (in Jahren),  $T$  die Dauer der Schutzwirkung einzelner Massnahmen (in Jahren),  $C$  die Kosten pro Haushalt (in CHF) und  $TYP$  die Art der Schutzmassnahme, die nach dem Windwurf ergriffen wird. Die statistische Analyse wurde mit dem Programm BIOGEME<sup>2</sup> durchgeführt (Bierlaire 2003).

Ein interessanter Aspekt der angewendeten Methode ergibt sich durch die Annahme, dass sich der Nutzen einer Massnahme aus der Kombination der verschiedenen Attribute ergibt. Dadurch ist bei der Auswertung einerseits ersichtlich, ob ein Attribut einen positiven oder negativen Einfluss hat. Andererseits können aber auch mögliche Trade-offs zwischen den einzelnen Attributen des Lawinenschutzes ermittelt werden. Dazu wird jeweils der Quotient zweier Koeffizienten gebildet.

Wenn eines der Attribute (in unserem Fall die Kosten pro Haushalt) eine monetäre Variable ist, lässt sich die marginale Wertschätzung für ein Attribut kalkulieren: Teilt man beispielsweise den Koeffizienten des Attributes «Schadenreduktion» durch den Koeffizienten des Attributes «Kosten», ergibt sich der implizite Preis, den die Befragten für eine bestimmte Schadenreduktion zahlen würden (Alberini et al 2007).

### Visualisierung

Um die Befragten besser mit dem Windwurf-szenario und den verschiedenen Schutzmassnahmen vertraut zu machen, wurde im Fragebogen mit

2 BIERLAIRE M (2008) An introduction to BIOGEME Version 1.6. <http://biogeme.epfl.ch> (15.8.2011).



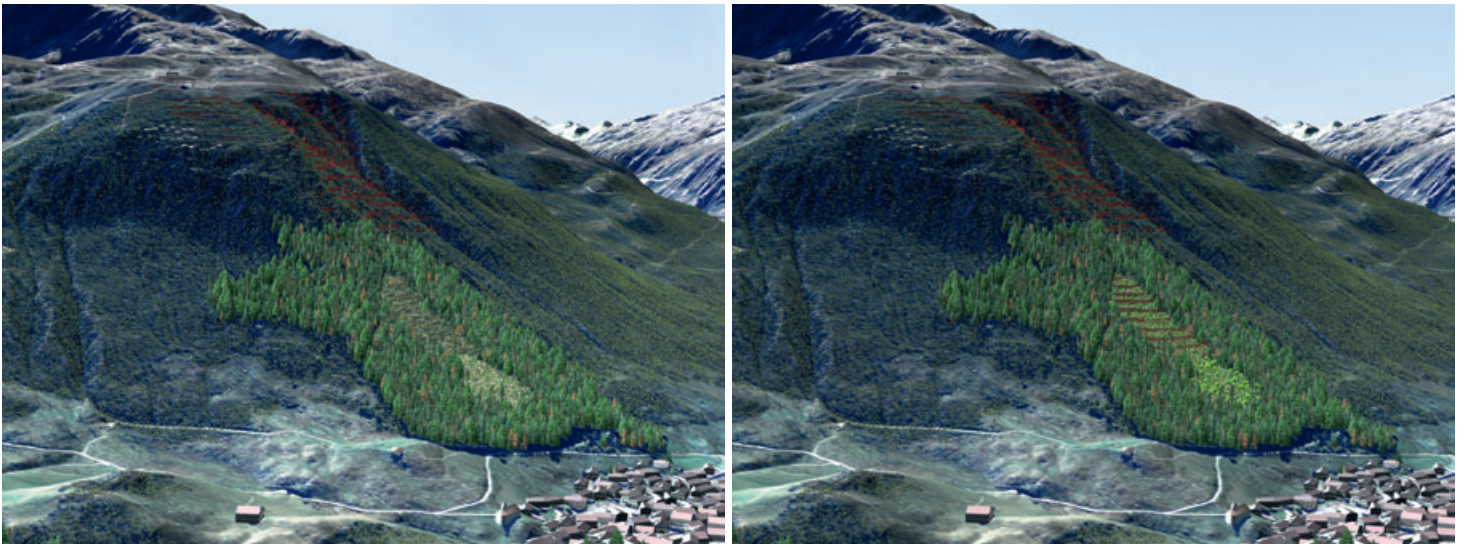


Abb 2 Visualisierung des Schutzwaldes und der Windwurffläche. Links: direkt nach dem Windwurf, rechts: Zustand nach etwa 10 bis 15 Jahren mit Stahlbrücken.



Abb 3 Nahaufnahme der Windwurffläche. Links: direkt nach dem Windwurf, rechts: Zustand nach etwa 10 bis 15 Jahren mit Stahlbrücken.

Visualisierungen gearbeitet. Neuere Studien haben gezeigt, dass die Anwendung von Visualisierungen bei Choice-Experimenten die Variabilität der Präferenzen und die Asymmetrie der Antworten zwischen der Frage nach der Zahlungsbereitschaft und einer entsprechenden Kompensationsforderung signifikant reduziert (Bateman et al 2009).

Um die Szenarien mit einer hohen Realitätsnähe abzubilden, wurden GIS-Daten (digitales Höhenmodell, Orthofotos, Landnutzungsdaten) als Basis für die dreidimensionalen Visualisierungen verwendet. Diese wurden mit der Software «Visual Nature Studio» (VNS 3) generiert. Objekte wie beispielsweise Bäume oder Gebäude wurden mittels Texturen von Fotos erstellt. Dreidimensionale Modelle der Lawenschutzkonstruktionen wurden mit der Software «Google SketchUp Pro» produziert. Für eine präzise Wiedergabe der Vegetation und der technischen Schutzmassnahmen wurden Experten zurate gezogen, welche die Zwischenergebnisse der Visualisierungen in einem iterativen Anpassungsprozess begutachteten. Durch dieses Vorgehen

konnte ein 3-D-Modell mit einem relativ hohen visuellen Realitätsgrad erstellt werden. Auf der Basis dieses Landschaftsmodells wurden für den Fragebogen zwei Perspektiven ausgewählt: ein Panoramablick aus grösserer Entfernung vom gegenüberliegenden Hang (Abbildung 2) und eine Nahaufnahme mit Fokus auf die Windwurffläche und die jeweilige Schutzmassnahme (Abbildung 3). Für jede Massnahme wurden den Befragten zwei Fotos mit Nahaufnahmen der Baumstämme, Holzrechen, Stahlbrücken oder Stahlnetze gezeigt.

## Ergebnisse

### Risikoanalyse

Unter derzeitigen Bedingungen (ohne Windwurfszenario) wurde für die Gemeinde Andermatt für ein 300-jähriges Lawinenereignis ein Schadenpotenzial von rund 20.5 Millionen Franken ermittelt. Dies entspricht bei einer Eintretenswahrscheinlichkeit von 0.003 einem jährlichen kollektiven

Attribute	Koeffizient	Standard-abweichung	t-Test	Wahrscheinlichkeit
Schadenreduktion (S)	0.0161	0.00413	3.90	< 0.001
Beginn der Schutzwirkung (W)	-0.167	0.0183	-9.13	< 0.001
Dauer der Schutzwirkung (T)	-0.0268	0.00386	-6.94	< 0.001
Kosten pro Haushalt (C)	-0.0033	0.0005	-6.58	< 0.001
Art der Schutzmassnahme (TYP)	0.669	0.0794	8.43	< 0.001

Tab 3 Ergebnis der statistischen Auswertung. Log L = -1277.85, Anzahl Beobachtungen = 1290, Anzahl der Befragten = 129, LL-Ratio-Test = 278.72.

Bewertungsansatz	Annahme/Alternative	Einmalzahlung pro Haushalt (CHF)
Kollektives Risiko	300-jähriges Ereignis	470
Alternativkosten	Baumstämme	60
	Holzrechen	195
	Stahlbrücken/-netze	600
Zahlungsbereitschaft	Schadenvermeidung (90%)	440
Vermeidungskosten	Schutzwaldpflege	20

Tab 4 Gegenüberstellung des kollektiven Risikos, der Alternativkosten und der Zahlungsbereitschaft pro Haushalt.

Risiko von rund 68 500 Franken. Die entsprechenden Gefahrenzonen sind in Abbildung 1 ersichtlich. Nach einem Windwurf, der etwa eine Hektare Wald zerstört (gelbe Fläche in Abbildung 1), würde das Schadenpotenzial auf rund 29.5 Millionen Franken ansteigen. Das entsprechende jährliche kollektive Risiko beträgt in diesem Fall 98 500 Franken. Das zusätzliche Risiko nach einem Windwurf beträgt somit rund 30 000 Franken pro Jahr. Bezogen auf eine Projektlaufzeit von 80 Jahren ergibt sich ein diskontiertes Risiko von rund 470 Franken pro Haushalt.

### Choice-Experiment

Sämtliche 488 Haushalte Andermatts wurden schriftlich eingeladen, an der Online-Befragung teilzunehmen. 129 Fragebogen wurden komplett ausgefüllt, was einer Rücklaufquote von rund 26% entspricht. Alle ausgewählten Attribute haben einen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis (Tabelle 3). Die meisten Koeffizienten haben das erwartete Vorzeichen: eine grössere Schadenvermeidung hat einen positiven Einfluss (+) auf den Nutzen, eine Verlängerung der Wartezeit, bis die Schutzwirkung eintritt, wird negativ beurteilt (-), genauso wie ein höherer Kostenbeitrag. Eine Ausnahme bildet der Koeffizient des Attributes «Dauer der Schutzwirkung», welcher ein negatives Vorzeichen hat. Dies deutet darauf hin, dass Schutzmassnahmen mit längeren Laufzeiten aus heutiger Sicht als weniger nützlich angesehen werden.

Die Zahlungsbereitschaft für eine höhere prozentuale Schadenvermeidung kann, wie weiter oben beschrieben, durch den Quotienten der entsprechenden Koeffizienten bestimmt werden. Zum Beispiel beträgt die Zahlungsbereitschaft ZB für eine Scha-

denreduktion S von 90%, wie sie als eine Ausprägung in den Choice-Sets genannt wurde, rund 440 Franken pro Haushalt:

$$ZB = -\frac{\beta_1}{\beta_4} \times S = -\frac{0.0161}{-0.0033} \times S = 4.88 \times S \quad (4)$$

Dieser Betrag bezieht sich auf das Attribut «Schadenreduktion» generell, das heisst unabhängig von der Art der Schutzmassnahme. Er kann folglich auch als Wertschätzung der Schutzleistung durch Wälder interpretiert werden, unter der Voraussetzung, dass diese eine vergleichbare Schadenreduktion bewirken.

### Kosten des Lawinenschutzes

Dem Risiko und der Zahlungsbereitschaft pro Haushalt wurden die Kosten für die verschiedenen Schutzmassnahmen gegenübergestellt. Zu den Kosten gehören die Installation und Instandhaltung der technischen Lawinenschutzmassnahmen sowie Auf- forstungsmassnahmen, mit welchen das Ziel verfolgt wird, dass die heranwachsenden Bäume die Schutzfunktion später wieder übernehmen. Zudem wurden die Kosten waldbaulicher Massnahmen bestimmt, die bei der Pflege des bestehenden Schutzwaldes anfallen. Diese sollen zur Vermeidung eines Windwurfes beitragen. Für alle Massnahmen wurden die im Zeitablauf anfallenden Investitions- beziehungsweise Unterhaltskosten erfasst. Tabelle 4 gibt die Ergebnisse der verschiedenen Bewertungsansätze pro Haushalt sowie die zugrunde liegenden Annahmen wieder. Die Frankenbeträge beziehen sich jeweils auf den gesamten Betrachtungszeitraum. Sie fallen jedoch nur einmal an und wurden auf das Basisjahr (Zeitpunkt des Windwurfs) abgezinst, um sie vergleichbar zu machen. Für diesen Vergleich wurde angenommen, dass die Haushalte mit einem Anteil von 25% an den jeweiligen Kosten beteiligt werden.

### Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Visualisierungen im Fragebogen haben einen wichtigen Beitrag zum Verständnis der Fragen und der verschiedenen Szenarien geleistet. Dabei zeigte sich der grosse Vorteil einer Online-Befragung: Bei jedem Choice-Set hatten die Befragten die Möglichkeit, die Visualisierungen durch Anklicken auf dem Computerbildschirm zu vergrössern und sich so die alternativen Massnahmen in Erinnerung zu rufen. Lediglich 5% der Befragten empfanden den Fragebogen als teilweise unverständlich; nur 2% bezeichneten die gewählten Szenarien als nicht realistisch.

Ein Nachteil der Befragung lag darin, dass zwar 26% der verschickten Fragebogen vollständig ausgefüllt wurden, die Grundgesamtheit von 488 Haushalten jedoch recht gering war. Somit



konnten einige detailliertere statistische Auswertungen nicht vorgenommen werden. Beispielsweise wäre es interessant, zu analysieren, welchen Einfluss die Visualisierungen auf das Antwortverhalten haben. Bei zukünftigen Studien mit einer grösseren Grundgesamtheit liesse sich dies durch eine getrennte Befragung (mit und ohne Visualisierungen) bei sonst identischen Fragebogen testen.

Die Auswertung der Fragebogen zeigt, dass die Zahlungsbereitschaft in etwa dem kollektiven Risiko pro Haushalt entspricht. Die Andermatt Bevölkerung wäre folglich bereit, das zusätzliche Risiko einer Windwurffläche durch Finanzierungsbeiträge zu vermeiden. Dabei ist jedoch zu bedenken, dass bei der Risikoanalyse der Verlust von Menschenleben mit einem Betrag von je fünf Millionen Franken in die Berechnungen eingeht (Bründl et al 2009). Der Einfluss dieser Grösse auf das Gesamtrisiko liegt damit bei rund 90%. Eine Änderung der Annahmen bezüglich durchschnittlicher Personenpräsenz und Aufenthaltsdauer in den exponierten Gebäuden hätte einen grossen Einfluss auf die Höhe des jährlichen Kollektivrisikos.

Beim Vergleich von Zahlungsbereitschaft und Kosten für den Lawinenschutz wurde die Kostenbeteiligung der Gemeinde bei 25% angesetzt. Dies entspricht einer realistischen Aufteilung der Finanzierungsanteile für Schutzmassnahmen in der Schweiz. Die Zahlungsbereitschaft ist zwar höher als der Kostenbeitrag für die Alternativmassnahmen Baumstämme und Holzrechen, hingegen liegen die Kosten für Stahlbrücken beziehungsweise -netze über der Zahlungsbereitschaft der Bevölkerung. Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass die Andermatt Bevölkerung mit den Gegebenheiten vor Ort gut vertraut ist: Konstruktionen aus Holz in Kombination mit Aufforstungsmassnahmen werden als adäquate Schutzmassnahmen angesehen. Stahlkonstruktionen werden trotz ihrer hohen Schutzwirkung weniger bevorzugt. Ein Grund könnte in der Langfristigkeit dieser Massnahmen liegen: Wie bereits erwähnt, werden Projektlaufzeiten von 70 bis 80 Jahren als weniger nützlich beziehungsweise relevant angesehen. Hier könnten auch landschaftsästhetische Aspekte eine Rolle spielen.

Für den Fall, dass die Gemeinde die gesamten Kosten tragen müsste, würde nur der Lawinenschutz durch im Hang fixierte, liegende Baumstämme eine kostendeckende Lösung darstellen. Die Kosten für die anderen Massnahmen würden die in dieser Studie berechnete Zahlungsbereitschaft übersteigen.

Die aus ökonomischer Sicht vorteilhafteste Lösung ist der Erhalt und die Pflege des Schutzwaldes, da die Schutzwirkung mit den geringsten Kosten erreicht wird. Dies ist jedoch nur der Fall, wenn der Wald seine Schutzwirkung tatsächlich dauerhaft erbringen kann und nicht durch einen Windwurf oder andere natürliche Störungen grossflächig geschädigt

wird. Die Pflegemassnahmen sollten daher einerseits die Gewährleistung der Schutzfunktion zum Ziel haben, andererseits aber auch die Verringerung der Anfälligkeit gegenüber Sturmereignissen. Das zweite Ziel lässt sich nur zu einem gewissen Grad waldbaulich beeinflussen. Wichtig ist, durch stetiges Fördern der Vorverjüngung den Zeitraum, in welchem die Schutzwirkung nach einem Windwurf eingeschränkt ist, zu verringern. Ungünstige Wuchsbedingungen können jedoch zu einer Verlängerung des Zeitraums mit begrenzter Schutzfunktion führen, sodass zusätzlich technische Verbauungen notwendig werden.

Die Zahlungsbereitschaft für spezielle Schutzwaldpflegemassnahmen wurde in unserer Studie nicht ermittelt, stattdessen ging es uns um die Wertschätzung für eine Vermeidung von Lawinenschäden im Allgemeinen. Im Umkehrschluss kann aber gefolgert werden, dass Massnahmen, die zu einer Schadenvermeidung führen, von der Bevölkerung entsprechend wertgeschätzt werden: Die Zahlungsbereitschaft für Lawinenschutz liegt weit über den Kosten der Schutzwaldpflege.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die vorliegende Arbeit wichtige Entscheidungsgrundlagen für die Landschaftsplanung und die übergeordnete waldbauliche Planung in Bezug auf den Schutzwald liefern kann. Das Choice-Experiment hat sich dabei als geeignete Methode erwiesen, um die verschiedenen Attribute des Lawinenschutzes ökonomisch zu bewerten. Der Vergleich von Zahlungsbereitschaft und Alternativbeziehungsweise Vermeidungskosten ist dabei wegleitend für eine effiziente Bereitstellung des öffentlichen Gutes Lawinenschutz. ■

Eingereicht: 2. Februar 2011, akzeptiert (mit Review): 20. Juni 2011

## Dank

Das Projekt wurde im Rahmen der EU-COST-Aktion E45 (Euroforex) durchgeführt und vom Schweizer Staatssekretariat für Bildung und Forschung (SBF) finanziell gefördert. Wir bedanken uns bei allen, die zur Organisation und Durchführung des Projektes beigetragen haben, speziell den Einwohnern und dem Gemeinderat von Andermatt.

## Literatur

- ALBERINI A, LONGO A, VERONESI M (2007) Basic statistical models for stated choice studies. In: Kanninen BJ, editor. Valuing environmental amenities using stated choice studies. A common sense approach to theory and practice. Dordrecht: Springer. pp. 203–227.
- BATEMAN IJ, DAY BH, JONES AP, JUDE S (2009) Reducing gain-loss asymmetry: A virtual reality choice experiment valuing land use change. *J Environ Econ Manage* 58: 106–118.

- BIERLAIRE M (2003)** BIOGEME: A free package for the estimation of discrete choice models. [www.strc.ch/conferences/2003/bierlaire.pdf](http://www.strc.ch/conferences/2003/bierlaire.pdf) (15.8.2011)
- BORTER P (1999)** Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Bern: Bundesamt Umwelt, Umwelt-Materialien 107. 115 p.
- BRÄNDLI UB, EDITOR (2010)** Schweizerisches Landesforstinventar. Ergebnisse der dritten Erhebung 2004–2006. Birmensdorf: Eidgenöss. Forsch.anstalt Wald Schnee Landschaft. 312 p.
- BRANG P ET AL (2006)** Management of protection forests in the European Alps: an overview. *For Snow Landsc Res* 80: 23–44.
- BRÜNDL M, ROMANG HE, BISCHOF N, RHEINBERGER CM (2009)** The risk concept and its application in natural hazard risk management in Switzerland. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 9: 801–813.
- CHRISTEN M, BARTELT P, KOWALSKI J, STOFFEL L (2008)** Calculation of dense snow avalanches in three-dimensional terrain with the numerical simulation program RAMMS. <http://ramms.slf.ch/ramms/images/stories/rammsissw08.pdf> (15.8.2011)
- GONZÁLEZ GÓMEZ M, OLSCHESKI R (2008)** Die Wertschätzung forstwirtschaftlicher Flächennutzung in der Küstenregion Spaniens und Portugals. *Allg Forst- Jagdztg* 179: 219–225.
- GRÊT-REGAMEY A, WALZ A, BEBI P (2008)** Valuing ecosystem services for sustainable landscape planning in Alpine regions. *Mt Res Dev* 28: 156–165.
- LEITER AM, PRUCKNER GJ (2009)** Proportionality of willingness to pay to small changes in risk: the impact of attitudinal factors in scope tests. *Environ Resour Econ* 42: 169–186.
- LÖWENSTEIN W (1995)** Die monetäre Bewertung der Schutzfunktion des Waldes vor Lawinen und Rutschungen in Hinterstein (Allgäu). In: Bergen V et al, editors. *Studien zur monetären Bewertung von externen Effekten der Forst- und Holzwirtschaft*. Frankfurt: Sauerländer. pp. 117–177.
- OLSCHESKI R, BEBI P, GRÊT-REGAMEY A, KRÄUCHI N (2008)** Wald und Klimawandel – Ansätze für eine ökonomische Bewertung. *Schweiz Z Forstwes* 159: 374–380. doi: 10.3188/szf.2008.0374
- OLSCHESKI R, ELSASSER P (2010)** Mehr als Habitat oder Dienstleister? Der Wald als Komponente eines Landschafts-systems. *Schweiz Z Forstwes* 161: 334–340. doi: 10.3188/szf.2010.0334
- RHEINBERGER CM (2009)** Dealing with the white death: avalanche risk management for traffic routes. *Risk Anal* 29: 283–249.
- TEICH M, BEBI P (2009)** Evaluating the benefit of avalanche protection forest with GIS-based risk analyses. A case study in Switzerland. *For Ecol Manage* 257: 1910–1919.
- TRAIN KE (2003)** *Discrete choice methods with simulations*. Cambridge: Cambridge Univ Press. 415 p.

## Lawinenschutz durch Wälder – Methodik und Resultate einer Zahlungsbereitschaftsanalyse

Wälder erbringen eine Vielzahl von Ökosystemleistungen für die Bevölkerung. Eine dieser Leistungen, der Schutz vor Lawinen, weist die typischen Eigenschaften eines öffentlichen Gutes auf: Nichtausschliessbarkeit und Nichtrivalität. Durch die monetäre Bewertung dieser Leistung können wichtige Grundlagen für eine effektive und effiziente Bereitstellung von Lawinenschutz geschaffen werden. Wir präsentieren die Ergebnisse einer Fallstudie aus den Schweizer Alpen, bei der wir die Zahlungsbereitschaft für Lawinenschutz anhand eines Choice-Experiments ermitteln, kombiniert mit einer risikobasierten Evaluation und computergestützten Visualisierungstechniken. Darüber hinaus vergleichen wir die Ergebnisse mit den Kosten alternativer Lawinenschutzmassnahmen. Als Ergebnis ist festzustellen, dass die Zahlungsbereitschaft für Lawinenschutz höher ist als die Kosten von temporären Massnahmen, wie z.B. liegenden Baumstämmen oder installierten Holzrechen. Sie liegt jedoch unter dem Kostenniveau, das bei langfristigen Massnahmen anfällt, etwa bei der Konstruktion von Stahlbrücken oder -netzen. Waldbauliche Massnahmen sind die kosteneffizienteste Lösung für den Lawinenschutz, vorausgesetzt, dass die Anfälligkeit des Waldes gegenüber Sturmereignissen wirksam und nachhaltig reduziert werden kann.

## Forêt protectrice contre les avalanches – méthodes et résultats d’une analyse du consentement à payer

Les forêts offrent à la population une multitude de services écosystémiques. Un de ces services – la protection contre les avalanches – présente toutes les caractéristiques d’un bien public: la non-exclusion et la non-rivalité. Par l’évaluation monétaire, les fondements pour une mise en place effective et efficace d’un système de protection contre les avalanches peuvent être créés. Nous présentons ici les résultats d’un cas d’étude dans les Alpes suisses, dans lequel le consentement à payer pour des prestations de protection contre les avalanches a été déterminé par un Choice Experiment combiné à une évaluation basée sur les risques et à des techniques de visualisation assistées par ordinateur. De plus, nous comparons ces résultats aux coûts des mesures de protection alternatives. Nous constatons que la disposition à payer est plus importante que les coûts de mesures temporaires, telles que des arbres couchés en travers de la pente ou l’installation de râteliers en bois. Elle est par contre inférieure aux coûts engendrés par des mesures à long terme comme des ponts ou des filets métalliques. La solution la plus économique pour la protection contre les avalanches sont les mesures sylvicoles, à condition toutefois de réduire efficacement et durablement la vulnérabilité des forêts aux tempêtes.