

Freitag 21. Oktober 2011

13:30-14:00

Maßnahmenbeurteilung, Wirkungsbeurteilung und Risikoanalyse von Steinschlagschutzwäldern, dargestellt am Beispiel des Gruobenswaldes in der Gemeinde Klosters (CH).

Arthur Sandri¹, Matthias Kalberer²

¹Sektionschef, Bundesamt für Umwelt BAFU, CH-3003 Bern

²Dr. rer. nat., tur GmbH, CH-7260 Davos

Abstract

Protection forest as a biological measure is part of the integral risk management (PLANAT 2004). Since recent times, it is common in the integral risk management, to quantify the effectiveness of technical measures in risk reduction and to compare this benefit with the costs of the measures. Because protection forest as a big landscape element can significantly influence the natural hazard processes, it is necessary to consider it adequately in the hazard assessment and to integrate it in the risk management procedure. There are nevertheless so far no established methods to analyze quantitatively the effects of the protection forest.

For this reason, the Federal Office for the Environment FOEN launched the project 'ProtectBio'. The objective is working up and showing the biological measures in a way, that their effect can be determined according to the current state of the art and be compared with alternative protection measures. Based on the example of the 'Gruobenswald' in the town of Klosters, the assessment of measures, impact and risk of rockfall protection forest is presented. The result allows scenario-based statements to rockfall activity, protection forest effect and risk reduction due to the forest and its variation in relationship to different forest conditions.

1 Einleitung

Seit rund 10 Jahren wird in der Schweiz für den Umgang mit Naturgefahren ein integrales Risikomanagement (1) gefordert. Ein Element des integralen Risikomanagements ist die gleichwertige und aufeinander abgestimmte Berücksichtigung aller möglichen Schutzmassnahmen – also planerischer, organisatorischer, technischer und biologischer Maßnahmen.

Seit einiger Zeit ist es bei technischen Schutzmassnahmen üblich (2), deren Wirksamkeit hinsichtlich Risikoreduktion zu quantifizieren und bei der Maßnahmenplanung den Nutzen den Kosten gegenüberzustellen. Damit biologische Maßnahmen gleichwertig berücksichtigt werden können, ist eine analoge Beurteilung der Wirksamkeit und der Risikoreduktion erforderlich.

Die Beurteilung der Wirkung bestehender Schutzmassnahmen stellt für den Fachmann eine nicht zu unterschätzende Herausforderung dar. Seit 2008 existiert dafür ein Vorschlag für ein nachvollziehbares Vorgehen (3), PROTECT genannt. Bei der praktischen Anwendung hat sich gezeigt, dass technische Maßnahmen damit bewertet werden können, dass eine Anwendung auf biologische Maßnahmen aber nicht ohne weiteres möglich ist.

Aus diesem Grund hat das Bundesamt für Umwelt 2009 das Projekt ‚ProtectBio‘ gestartet, um die biologischen Schutzmassnahmen so aufzuarbeiten und darzustellen, dass ihre Wirkung mittels der vorgeschlagenen Methode (3) beurteilt und mit alternativen Schutzmassnahmen verglichen werden kann. Das Ingenieurbüro tur GmbH, CH-7260 Davos, wurde beauftragt, die Wirkungsbeurteilung und die Risikobewertung für den Prozess Steinschlag an einem Fallbeispiel darzustellen. Die Resultate erlauben szenariobasierte Aussagen zu Steinschlagaktivität, Waldwirkungen und Risikoreduktion durch den Waldeinfluss sowie dessen Variation durch unterschiedliche Waldzustände.

2 Wirkung von Schutzmaßnahmen

Damit Schutzmassnahmen vor Naturgefahren bei der Gefahrenbeurteilung berücksichtigt werden können, hat die Nationale Plattform Naturgefahren (PLANAT) folgende Grundsätze (3) formuliert:

- 1) **Quantifizierbare Wirkungen:** Schutzmassnahmen werden beurteilt, indem ihre Auswirkungen auf die Wahrscheinlichkeit und Intensität eines Prozesses quantifiziert werden. Somit müssen sie eine erkennbare bzw. bestimmbare Wirkung auf den Prozess ausüben.
- 2) **Unsicherheiten:** Sind die Auswirkungen einer Massnahme auf den Prozess kleiner als die Unsicherheiten in der Prozessbeurteilung, wird die Massnahme nicht berücksichtigt.
- 3) **Szenarien:** Bei der Beurteilung von Schutzmassnahmen werden mindestens vier Szenarien betrachtet: Szenarien mit hoher, mittlerer und geringer Eintretenswahrscheinlichkeit sowie ein Szenario für ein extremes Ereignis mit sehr geringer Wahrscheinlichkeit, welches eine bedeutende Mehrbelastung für das untersuchte System darstellt.
- 4) **Systemabgrenzung:** Die Massnahme ist sowohl als Einzelsystem (Bauwerk) als auch in Bezug auf das Gesamtsystem (z.B. Prozessraum, Zusammenwirken von Massnahmen) zu betrachten.
- 5) **Permanente Verfügbarkeit:** Die Wirkung einer Schutzmassnahme muss zum Zeitpunkt der Beurteilung, sowie mit üblichem Unterhalt permanent über einen Zeitraum von 50 Jahren gewährleistet sein.
- 6) **Überwachung und Unterhalt:** Für jede Schutzmassnahme muss die Überwachung, der Unterhalt und bei Mängeln der Ersatz gewährleistet sein.
- 7) **Temporäre Massnahmen:** Temporäre Massnahmen wie die künstliche Lawinenauslösung oder der mobile Hochwasserschutz, werden grundsätzlich nicht berücksichtigt.
- 8) **Geplante Werke:** Falls Schutzmassnahmen in der Raumplanung berücksichtigt werden sollen, muss nach der Realisierung der Massnahmen überprüft werden, ob die Ausführung der Projektierung entspricht (Bauabnahme) und ob die Gefahrenbeurteilung aus der Planungsphase noch gültig ist.
- 9) **Zeit:** Sowohl die Massnahmen als auch die Prozesse bzw. deren Rahmenbedingungen verändern sich mit der Zeit. Die Berücksichtigung von Schutzmassnahmen setzt voraus, dass das System als Ganzes und die Massnahmen im Speziellen unterhalten werden, sowie eine periodische Überprüfung der Gefahrensituation erfolgt.

Damit diese Grundsätze auch auf biologische Maßnahmen wie beispielsweise den Schutzwald angewendet werden können, braucht es eine Verknüpfung zwischen den technischen und den waldbaulichen Begriffen. So gilt nachfolgend:

- Schutzmassnahme = Schutzwald
- Unterhalt = Schutzwaldpflege (waldbaulicher Eingriff)
- Einzelsystem = Waldbestand (z.B. entlang einer Steinschlagtrajektorie)
- Gesamtsystem = Schutzwaldkomplex

3 Allgemeines Vorgehen bei der Beurteilung von Schutzmaßnahmen

Zur Beurteilung von Schutzmassnahmen schlägt die PLANAT ein dreistufiges Vorgehen (3) vor, das prozessspezifisch angepasst werden muss.

Die **Grobbeurteilung** liefert einen ersten Überblick über die Situation. Sie beinhaltet eine Einschätzung der zu erwartenden positiven und negativen Wirkungen und beschreibt deren Relevanz in Bezug auf den gesamten Prozessraum. Mit wenig Aufwand soll geklärt werden, ob die teilweise aufwändige Maßnahmen- und Wirkungsbeurteilung überhaupt sinnvoll ist.

Mit der **Maßnahmenbeurteilung** wird die Zuverlässigkeit von Maßnahmen im Hinblick auf ihre Wirkung auf den betrachteten Gefahrenprozess bestimmt. Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sind die relevanten Kriterien (4), welche anhand von Szenarien bzw. Gefährdungsbildern beurteilt werden.

Die **Wirkungsbeurteilung** quantifiziert den Einfluss der Maßnahmen auf den Prozessablauf unter Berücksichtigung ihrer Zuverlässigkeit. Pro definiertes Szenario resultieren Intensitäten und Wahrscheinlichkeiten, welche auf Intensitätskarten dargestellt werden. Diese dienen als Grundlage für Risikoanalysen und ev. Gefahrenkarten.

4 Fallbeispiel Gruobenwald, Gemeinde Klosters CH

Das beurteilte Fallbeispiel – der Gruobenwald – liegt westlich von Klosters Dorf auf der rechten Talseite des Prättigaus zwischen 1060 und 1600 m ü.M. Der Hang ist zwischen 55 und 80 % steil und sonnenexponiert. Die Böden sind tiefgründig und skelettreich; es handelt sich um Rendzinen mit Moderauflage. Der Standort entspricht einem ‚Typischen Karbonat-Tannen-Buchenwald‘, der in den höheren Lagen in einen ‚Karbonat-Tannen-Fichtenwald mit Weisssegge‘ übergeht. Der Waldbestand setzt sich zum überwiegenden Teil aus Baumholz zusammen. Die Jungwuchs- und Dickungsstufe fehlt vollständig. Im untersten Hangteil stocken einige Stangen- und schwache Baumhölzer.



Abb. 1: Der
Gruobenwald mit
dem Gefahren-
und
Schadenpotential

Der Untergrund besteht aus Bündnerschiefer, im speziellen dem Prättigauer Flysch. Zwischen harten Sandkalken und Breccien finden sich weiche Mergellagen, welche stark zurückgewittert sind. Dies hat zur Bildung senkrechter bis überhängender Felspartien geführt, welche kleinräumig verfaultet und zerklüftet sind. Massige und fein strukturierte Gesteinsformationen wechseln sich ab; viele Felspartien sind instabil.

Zahlreiche frisch abgelagerte Steine und beschädigte Bäume im Gruobewald zeugen von einer hohen Steinschlagaktivität. Im Ereigniskataster sind zwischen 1975 und 2000 fünf Ereignisse registriert, welche das Schadenpotential erreichten. Aufgrund der Felsstrukturen und der abgelagerten Blöcke im Gelände wurden für das Fallbeispiel folgende Szenarien festgelegt:

Szenario (Jährlichkeit)	Steine	Durchmesser	Geometrie	Gewicht
sehr häufig (0-10)	0.05 m ³	0.4 m	0.5*0.4*0.25	135 kg
häufig (10-30)	0.2 m ³	0.6 m	0.8*0.6*0.4	540 kg
selten – sehr selten (30-300)	2 m ³	1.3 m	1.6*1.3*1	5.5 t

Um die Einwirkungen des Steinschlags auf das Schadenpotential abbilden zu können, wurde eine Steinschlagmodellierung mit Rockyfor 3D (5) durchgeführt. Auf der Basis von Rastern mit einer Rasterweite von 2 m wurden pro Startzelle 20 Ausbrüche simuliert. Pro Berechnungsdurchgang (Szenario rep. Waldzustand) resultierten so rund 375'000 simulierte Steine. Die große Anzahl Steine und das feinmaschige Raster garantierten hochauflösende Resultate, welche Aussagen zu Wahrscheinlichkeiten zulassen.

Das Schadenpotential besteht im Wesentlichen aus Verkehrswegen. Gefährdet sind 900 m der Nationalstrasse A28, 700 m der Kantonalen Verbindungsstrasse Buel-Selfranga sowie 900 m Kommunalstrassen. Dazu kommen 1300 m Bahnlinie, 6 Wohngebäude und 2 Scheunen.

Die durchschnittliche Tagesfrequenz auf der Nationalstrasse A28 beträgt 9'000 Fahrzeuge, auf der Kantonalen Verbindungsstrasse ca. 2'500 Fahrzeuge. Die Höchstgeschwindigkeit ist jeweils auf 80 km/h begrenzt. Die Bahnlinie wird täglich von 73 Zügen mit einer Geschwindigkeit von 65 km/h frequentiert. Die durchschnittliche Zugsbelegung liegt bei 62 Personen.

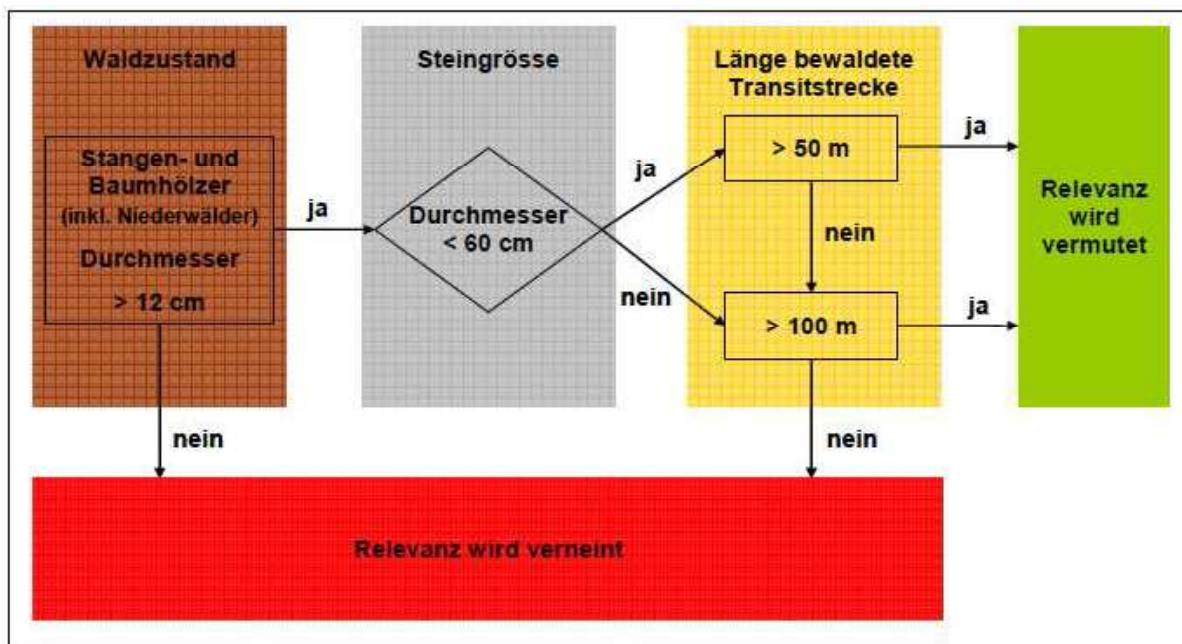
5 Grobbeurteilung

Die Grobbeurteilung liefert einen ersten Überblick der Gefahrensituation. Folgende Grundlagen werden dazu benötigt:

- Angaben zur Prozessquelle (Lage, Stein- und Blockgröße)
- Angaben zur Transitstrecke (Waldentwicklungsstufen, Deckungsgrad, Baumarten, Hindernisse)
- Angaben zum Schadenpotential (Lage, Typ)

Grundvoraussetzung ist natürlich, dass das Schadenpotential von abstürzenden Steinen tatsächlich erreicht werden kann, d.h. das Pauschalgefälle zwischen Ausbruchgebiet und Schadenpotential muss größer als 28° sein.

Aufgrund diverser Tests wird folgendes Schema für die Grobbeurteilung bei Sturzprozessen vorgeschlagen:



Waldzustand Bereits Ereignisse mit kleinen Steinen besitzen Energien, welche die Energieaufnahmefähigkeit eines Jungwaldes (6) um ein Mehrfaches übersteigen. Eine relevante Schutzwirkung gegenüber Steinschlag kann folglich nur von Stangen- und Baumhölzern (inkl. Niederwald) ab einem Brusthöhendurchmesser von 12 cm vermutet werden.

Steingröße Die Grobbeurteilung wird in Abhängigkeit der Steingröße vorgenommen, deren Festlegung gutachtlich erfolgt. Es wird diejenige Gesteinsgröße gewählt, von welcher das größte Risiko vermutet wird, was von der Eintretenswahrscheinlichkeit und der Verletzlichkeit des Schadenpotentials abhängt.

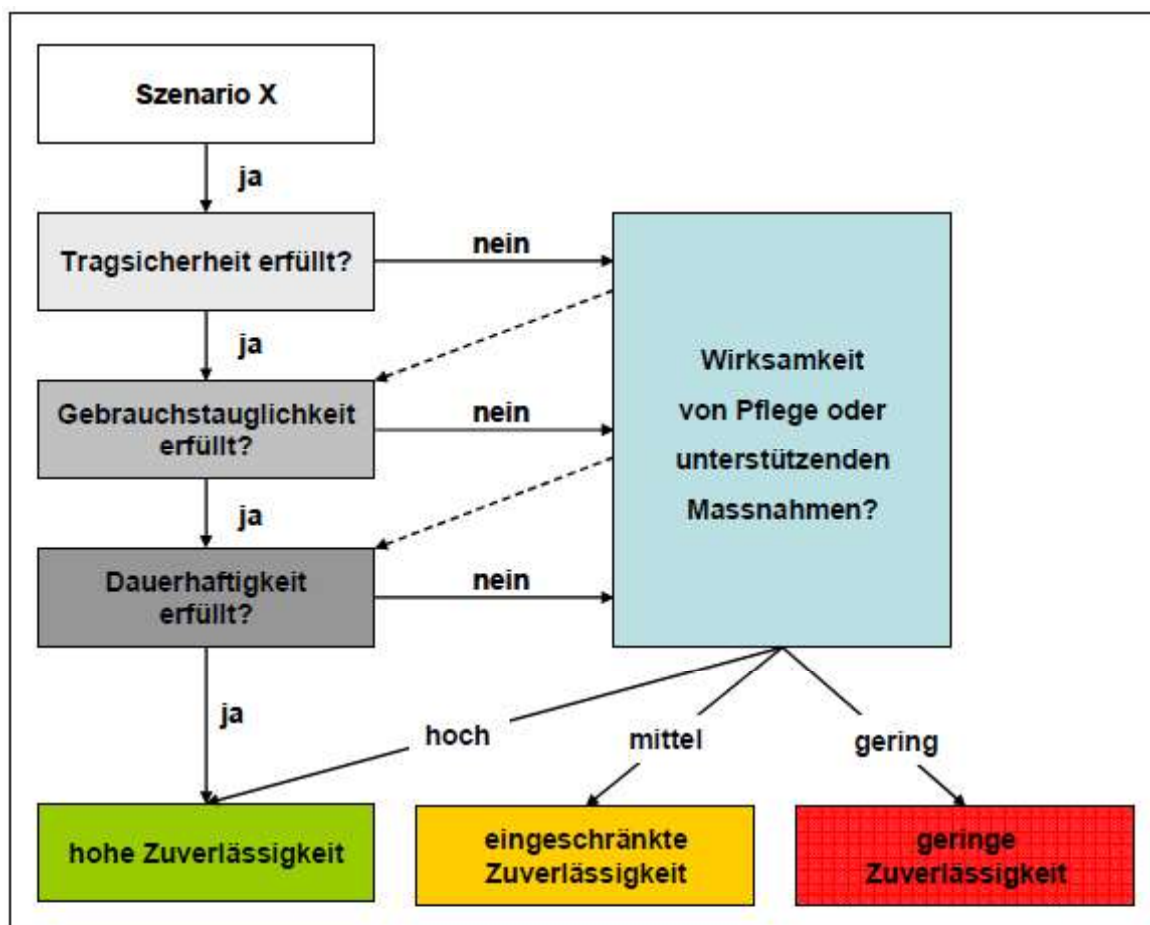
Transitstrecke Unter der bewaldeten Transitstrecke wird die kumulierte bewaldete Länge in Falllinie zwischen Ausbruchgebiet und Schadenpotential verstanden. Öffnungen in der Falllinie unter 20 m Länge können zur bewaldeten Transitstrecke gezählt werden, wenn darin genügend liegende Stämme oder hohe Stöcke vorhanden sind. Größere Öffnungen zählen nicht zur bewaldeten Transitstrecke. Für kleine Steine mit einem Durchmesser unter 60 cm wird ab einer bewaldeten Transitstrecke von 50 m eine relevante Schutzwirkung vermutet. Für größere Steine beträgt die Anforderung an die bewaldete Transitstrecke 100 m.

Der Gruobewald besteht aus Stangen- und Baumhölzern. Die bewaldeten Transitstrecken betragen über 100 m. Demzufolge wird eine relevante Schutzwirkung vermutet.

6 Maßnahmenbeurteilung

Das Ziel der Maßnahmenbeurteilung ist die Bestimmung der Zuverlässigkeit (4) einer Maßnahme im Hinblick auf ihre Wirkung auf den betrachteten Prozess. Im vorliegenden Fall geht es um die Bestimmung der Zuverlässigkeit des Schutzwaldes im Hinblick auf seine Wirkung gegenüber Stein- und Blockschlag.

Die Zuverlässigkeit wird anhand der Kriterien Tragsicherheit (3), Gebrauchstauglichkeit (3) und Dauerhaftigkeit (3) beurteilt. Sind alle Kriterien erfüllt, wird von einer hohen Zuverlässigkeit ausgegangen. Ist ein Kriterium nicht oder nur ungenügend erfüllt, wird die Wirksamkeit von Unterhalts- und Reparaturmaßnahmen geprüft. Je nach deren Wirksamkeit wird eine hohe, eingeschränkte oder geringe Zuverlässigkeit attestiert.



Die **Tragsicherheit** beschreibt die Fähigkeit eines Tragwerks, einen für die anzunehmenden Einwirkungen ausreichenden Tragwiderstand entsprechend einer festgelegten Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Im Fallbeispiel ist die Tragsicherheit gewährleistet, wenn die zu erwartenden Gesteinsenergien die Energieaufnahmefähigkeit der Waldbestände nicht übersteigt. Die zu erwartenden Gesteinsenergien sind abhängig von der Gesteinsgröße, den Geländebeziehungen und den Absturzhöhen (Initial-energie). Das maßgebende Kriterium zur Beurteilung der Tragfähigkeit eines Schutzwaldes in Bezug auf Steinschlag ist die kumulierte Bestandesgrundfläche. Diese Größe widerspiegelt die Energieaufnahmefähigkeit der Waldbestände und steht für die Anzahl potentieller Baumkontakte. Sie wird aus der Grundfläche der Bestände und der bewaldeten Transitstrecke entlang von Hangprofilen ermittelt. Angaben zur Tragfähigkeit von Steinschlagschutzwäldern in Abhängigkeit

ihrer Bestandesgrundfläche sind Gegenstand von aktuellen Forschungsarbeiten (6). Aufgrund erster Resultate wurden folgende Kriterien verwendet:

- Kumulierte Bestandesgrundfläche
- < 5 = Tragsicherheit ungenügend
 - 5 - 10 = Tragsicherheit mäßig, für Steine < 60 cm erfüllt
 - 10 - 30 = Tragsicherheit gut, für Steine > 60 cm erfüllt
 - > 30 = Tragsicherheit sehr gut

Die **Gebrauchstauglichkeit** beschreibt die Fähigkeit eines Tragwerks, die Funktionstüchtigkeit in Bezug auf die festgelegten Nutzungsanforderungen während des Einsatzes zu gewährleisten. Im Fallbeispiel beschreibt die Gebrauchstauglichkeit die Funktionstüchtigkeit des gesamten Waldkomplexes in Bezug auf seine Schutzwirkung. Während die Tragsicherheit anhand von einzelnen Profilen ermittelt wird, beschreibt die Gebrauchstauglichkeit auch die Situation zwischen den Profilen. Neben der Länge der bewaldeten Transitstrecke werden auch allfällige Lücken beurteilt. Besitzen durchgehende Öffnungen zwischen Entstehungsgebiet und Schadenpotential wie Runsen einen wesentlichen Einfluss auf die Gefährdung des Schadenpotentials, werden sie separat beurteilt. Damit wird verhindert, dass aufgrund einzelner Problemstellen die Zuverlässigkeit des ganzen Waldkomplexes in Frage gestellt wird. Folgende Kriterien wurden verwendet:

- Strukturanforderungen
- Länge der bewaldeten Transitstrecke
 - Lückengröße nach NaiS (7)
 - Durchgehende Runsen

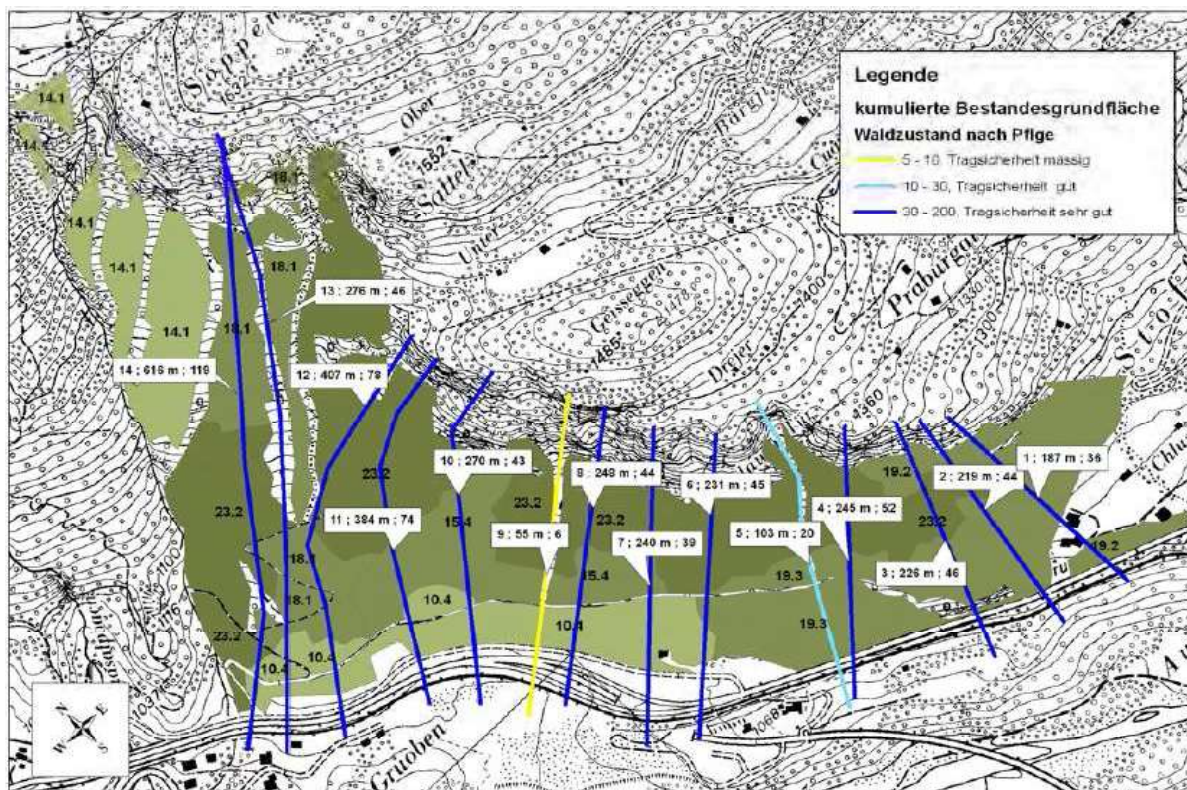


Abb. 2: Nachweis der Gebrauchstauglichkeit: Auf Basis der Grundflächen der Waldbestände (schwarze Zahlen) wird entlang von Profilen die kumulierte Bestandesgrundfläche ermittelt. Angaben in den weißen Kästchen: Profilnummer; bewaldete Transitstrecke; kumulierte Bestandesgrundfläche

Die **Dauerhaftigkeit** beschreibt die Erfüllung der Anforderungen an Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit im Rahmen einer vorgesehenen Nutzungsdauer. In PROTECT (3) wird die Nutzungsdauer für Schutzmassnahmen vor Naturgefahren auf 50 Jahre festgelegt. Entscheidend für die Dauerhaftigkeit von Schutzwald ist sein aktueller Zustand und davon ausgehend seine zukünftige Entwicklung in den nächsten 50 Jahren. In die Überlegungen zur zukünftigen Entwicklung sind neben walddynamischen Faktoren auch mögliche Gefährdungsbilder wie Sturmschäden, Waldbrand oder Wildverbiss einzubeziehen. Sind Gefährdungsbilder außerordentlich selten oder muss nur mit geringen Schäden gerechnet werden, kann anhand von Risikoüberlegungen die Gefahr als nicht relevant beurteilt werden. Folgende Kriterien für die Dauerhaftigkeit gelten:

- Verjüngung
- standortbezogene Anforderungen an Verjüngung nach NaiS (7)
 - nachhaltiger Bestandesaufbau
 - Gefährdungsbilder

Unterhalts- und Reparaturmaßnahmen entsprechen im Schutzwald die **Schutzwaldpflege und unterstützende Maßnahmen** wie hohe Stöcke, liegendes Holz und Asthaufen. Für einen nachhaltigen Bestandesaufbau - insbesondere für eine nachhaltige Verjüngung - sind Pflegeeingriffe zur Einleitung der Verjüngung, zur Unterstützung und Regulierung des Aufwuchses und zur Verbesserung der Bestandesstabilität unerlässlich. Damit kann die Dauerhaftigkeit und die permanente Erfüllung der Schutzwirkung gewährleistet werden. Durch die Entnahme von Bäumen wird aber kurz- und mittelfristig die Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit nicht verbessert, sondern reduziert. Die Schutzwirkung gegen Steinschlag nimmt ab. Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Steinschlagschutzwäldern lassen sich nur mithilfe von unterstützenden Maßnahmen verbessern; Stöcke sollten ca. 1.3 m hoch sein und Querfällungen etwa dem Steindurchmesser entsprechen und 70° schräg zur Falllinie eingelegt werden (6).

Im Fallbeispiel Gruobenwald weist der Wald längs der meisten betrachteten Hangprofile eine sehr gute Tragsicherheit auf, außer auf den Profilen 5 und 9. Diese Profile repräsentieren jedoch nur eine sehr kleine Fläche des Waldes und die Runsen sind von geringer Breite, weshalb das Risiko für das Schadenpotential nur geringfügig erhöht wird. Deshalb wird die Tragsicherheit für alle Szenarien als erfüllt betrachtet, ebenso wie die Gebrauchstauglichkeit. Die Anforderungen an die Verjüngung sind hingegen in keiner Weise gegeben. Größtenteils ist gar keine Verjüngung vorhanden und es ist mit erheblichem Wildverbiss zu rechnen. Die Dauerhaftigkeit ist somit nicht erfüllt. Die Wirksamkeit von Pflege und unterstützenden Maßnahmen wird als mittel eingestuft, weil mehr als ein Eingriff notwendig sein wird, um genügend Verjüngung zu erhalten. Zudem ist die Entwicklung der Wildschadensituation ungewiss. Gegenüber Sturm und Waldbrand ist das Prättigau nur schwach exponiert, weshalb diese Gefährdungsbilder nicht relevant sind. Nachdem Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erfüllt sind, die Dauerhaftigkeit jedoch nicht und die Wirkung von Pflege und unterstützenden Maßnahmen als mittel beurteilt wurde, resultiert für den Gruobenwald eine eingeschränkte Zuverlässigkeit.

7 Wirkungsbeurteilung

Vorab zur Wirkungsbeurteilung wurde die Steinschlagsimulation mit Rockyfor 3D (5) durchgeführt. Als probabilistisches, prozessbasiertes, räumliches Simulationsmodell können damit räumliche Strukturen wie Blößen und Runsen genauso explizit und realistisch modelliert werden wie Baumkontakte. Auf der Grundlage der Waldbestandeskarte wurden für jeden Bestand mittlerer Durchmesser, Stammzahl pro Hektar und deren Standardabweichung ermittelt und daraus eine Baumliste, welche Koordinaten und Durchmesser enthält, generiert. Alle Modellierungen wurden mit derselben Baumliste durchgeführt. Für die Simulation eines Pflegeeingriffs wurden aus der Baumliste Bäume gestrichen. Dies erfolgte im GIS, wobei Seillinien realitätsnah nachgestellt werden können.

Um Aussagen über die Wirkung des Schutzwaldes machen zu können, wurden drei Waldzustände miteinander verglichen:

- ohne Wald
- Waldzustand heute
- Waldzustand nach starkem Pflegeeingriff (Entnahme von 30% des Vorrats)

Kombiniert wurden diese drei Waldzustände mit den definierten drei Szenarien (Kapitel 4), womit sich neun Berechnungsdurchgänge à rund 375'000 simulierte Steine ergaben.

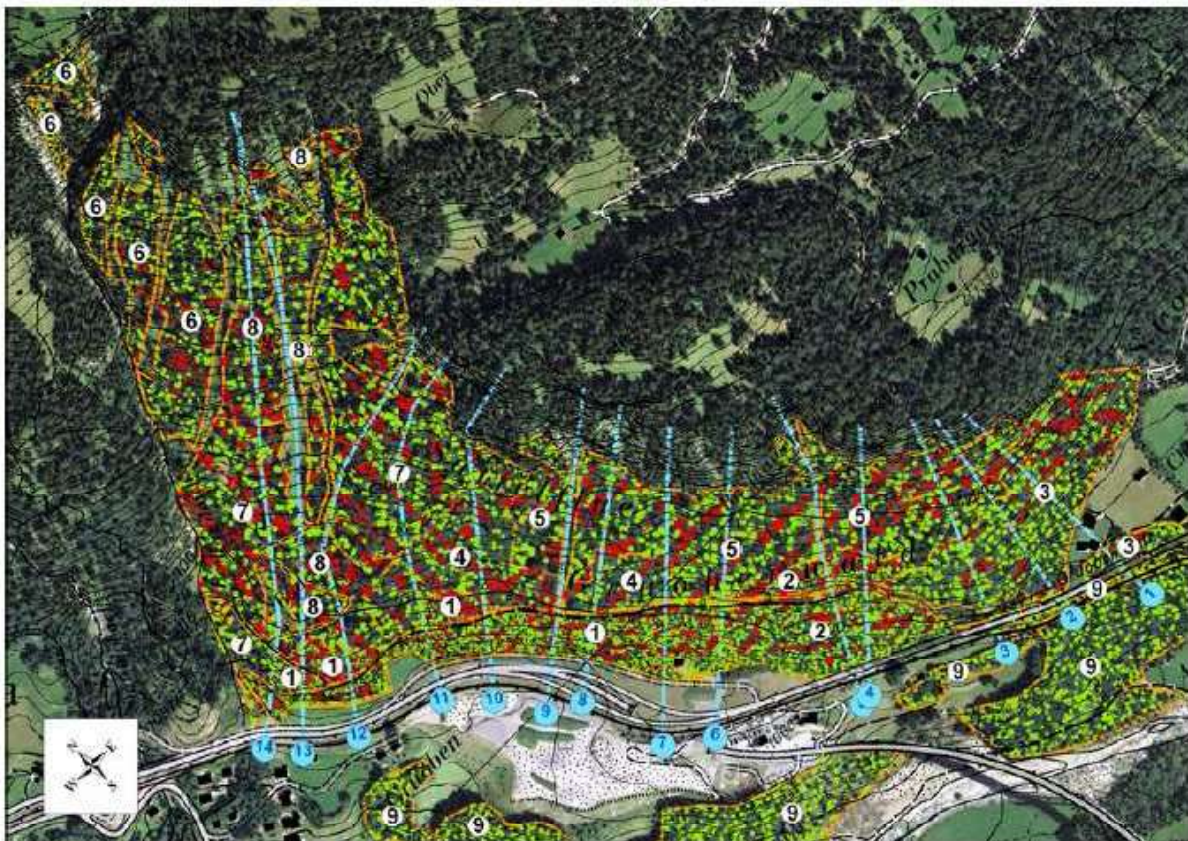


Abb. 3: Bei der Steinschlagmodellierung berücksichtigte Waldbestände, Pflegeeingriffe und Hangprofile. Grün: verbleibender Bestand, rot: ausscheidender Bestand, orange: Bestandesgrenzen mit Bestandesnummern (weiß, hellblau: Hangprofile mit Nummern (blau)

Das **Pauschalgefälle** bezeichnet den Winkel zwischen Ausbruchs- und Ablagerungsstelle. Im Mittel ist das Pauschalgefälle im Wald wegen der Energieaufnahmefähigkeit wesentlich steiler als ohne Wald. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Blockgröße. Je größer die Steine, desto flacher das Pauschalgefälle. Abbildung 4 zeigt die Mittelwerte der Pauschalgefälle aller modellierten Szenarien. Sie liegen im Bereich zwischen 33° und 40° . Es ist jedoch zu beachten, dass die einzelnen Werte der Szenarien eine starke Streuung besitzen.

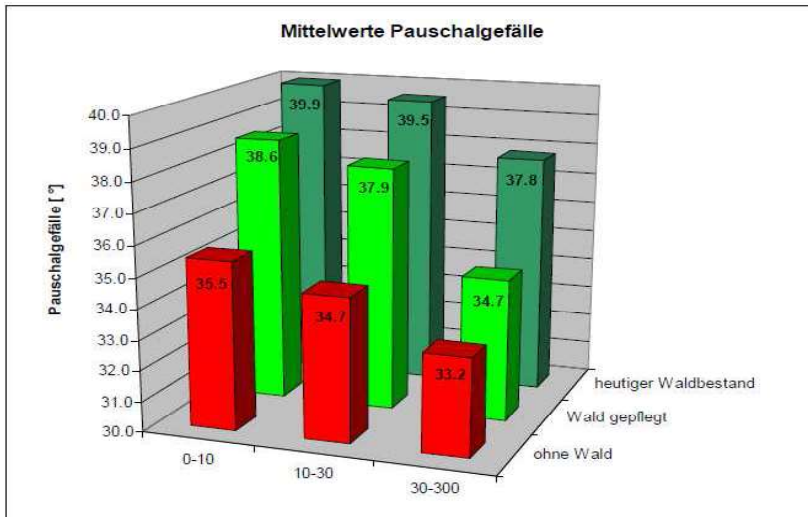


Abb. 4: Pauschalgefälle

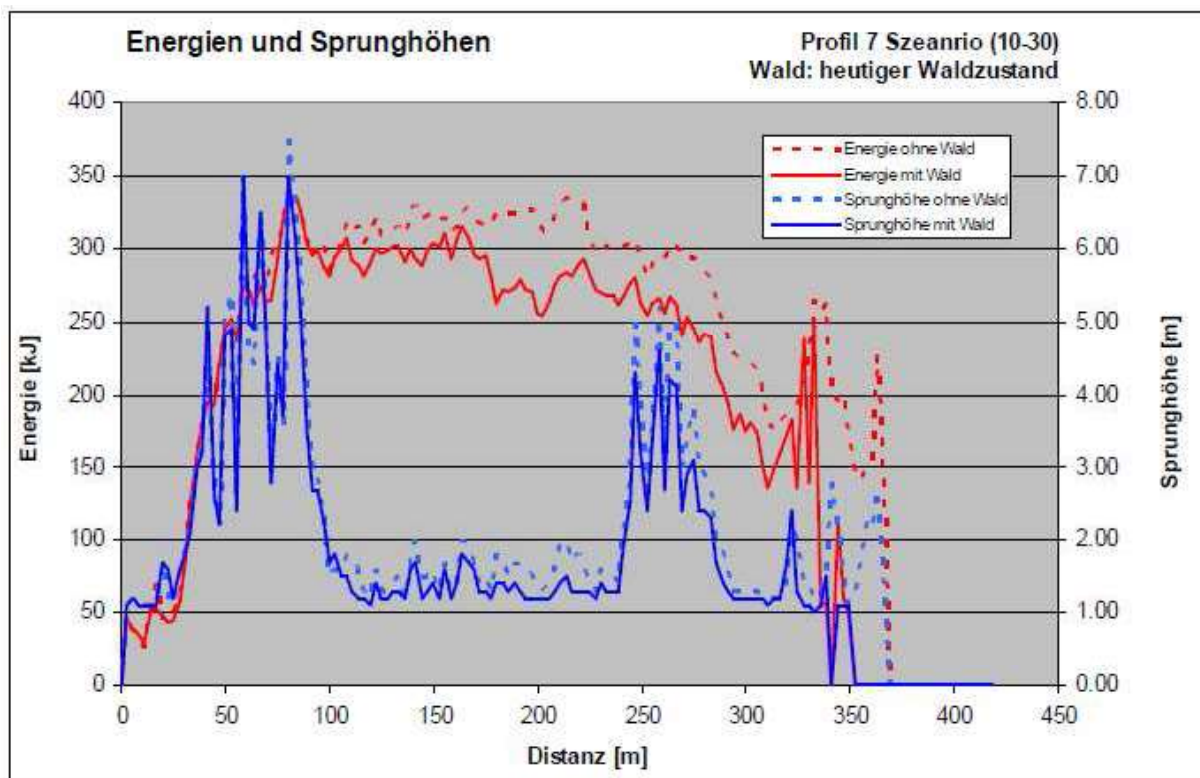


Abb. 5: Die maximalen Werte (95% Quantil) für die kinetische Energie und die Sprunghöhen werden durch Wald nur geringfügig reduziert. Bewaldet ist der Abschnitt zwischen 75 m und 315 m.

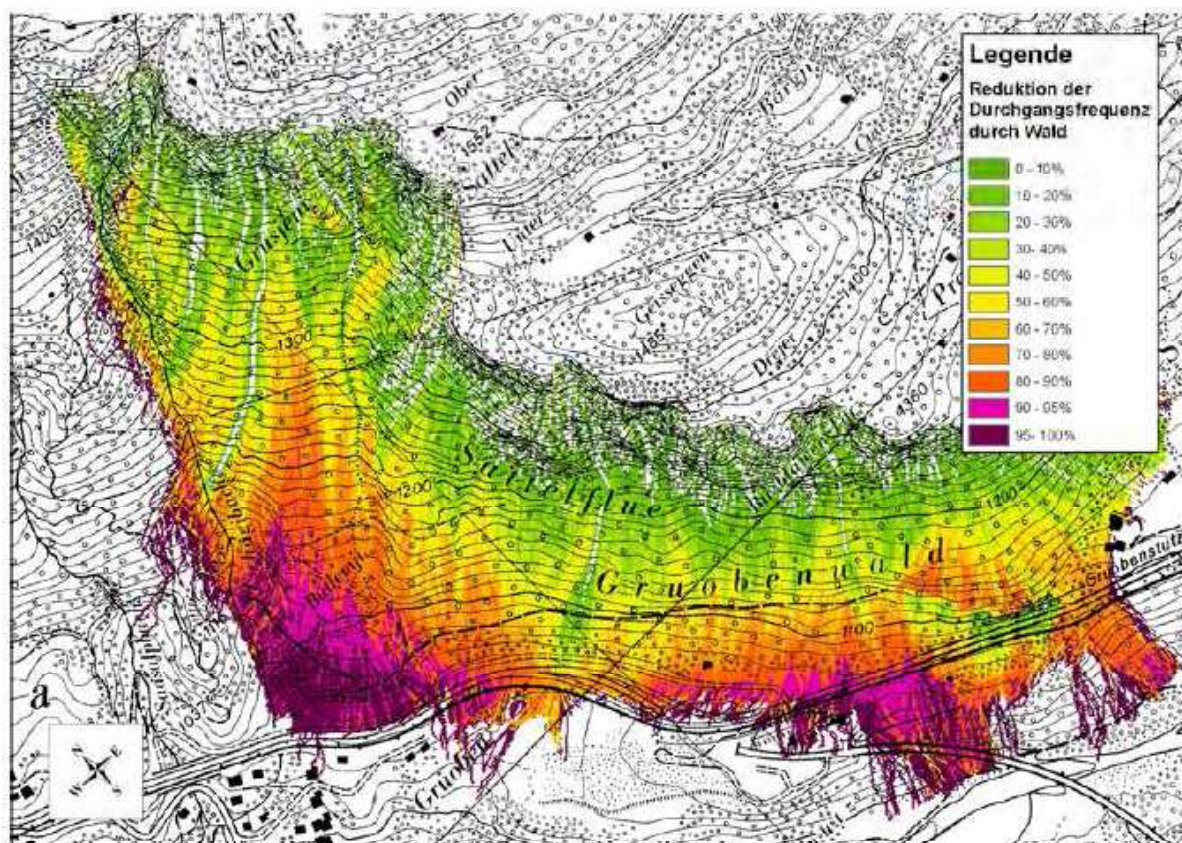


Abb. 6: Reduktion der Durchgangsfrequenz in Prozent zur Durchgangsfrequenz „ohne Wald“ für das häufige Szenario nach Pflegeeingriff.

Die maximalen **kinetischen Energien** variieren stark mit der Blockgröße, nicht aber mit dem Waldzustand. Das heißt nichts anderes als dass einzelne Blöcke, welche diese Maximalwerte ergeben, durch den Wald wenig beeinflusst werden. Als maximal wird das 95%-Quantil aller Modellierungen bezeichnet. Für sehr häufige Ereignisse mit Gesteinsdurchmesser bis 40 cm wurden im Bereich der Strasse Energien bis maximal 100 kJ berechnet. Steine mit einem Durchmesser bis 60 cm haben bereits Energien bis 400 kJ. Bei seltenen bis sehr seltenen Ereignissen mit Gesteinsdurchmessern bis 1.3 m wurden im Straßenbereich Energien von knapp über 5'000 kJ berechnet.

Die Anzahl der modellierten Blockdurchgänge charakterisiert die **Durchgangsfrequenz**. In Bezug auf die Anzahl gestarteter Steine kann diese auch als Wahrscheinlichkeit ausgedrückt werden. Der Schutzwald hält Steine zurück und reduziert so die Anzahl Steindurchgänge. Vergleicht man die modellierten Durchgangsfrequenzen der bewaldeten mit den unbewaldeten Szenarien, wird der Einfluss des Waldes deutlich. In Abb. 6 ist die Reduktion der Durchgangsfrequenz des häufigen Szenarios nach Pflegeeingriff im Verhältnis zum entsprechenden Szenario ohne Wald dargestellt. Man erkennt deutlich die unbewaldeten Runsen, welche kaum einen Einfluss auf die Reduktion der Steinschlagaktivität haben.

Der Schutzwald wirkt demnach vor allem dadurch, dass er Steine zurückhält und die Durchgangsfrequenzen massiv senkt. Die maximale Auslaufstrecke der Steine – wie die maximalen Energien und Sprunghöhen – wird hingegen nur sehr geringfügig beeinflusst.

Bereits nach einer bewaldeten Hanglänge von rund 150 m wird rund die Hälfte der Steine zurückgehalten. Auf dem Wanderweg lagern sich – wie auch im Feld beobachtet – viele Steine ab. Mit Wald tritt dieser Effekt verstärkt in Erscheinung. Durch den Wald werden die Geschwindigkeiten und Sprunghöhen vieler Steine reduziert; dadurch tritt auch die Wirkung natürlicher Hindernisse verstärkt in Erscheinung.

Entlang der Hangprofile wurde zwischen Entstehungsgebiet und unterem Waldrand die kumulierte Grundfläche und beim unteren Waldrand die Reduktion der Durchgangsfrequenzen bestimmt. Abb. 7 zeigt den positiven Zusammenhang zwischen der Reduktion der Durchgangsfrequenzen und der kumulierten Grundfläche. Je größer die modellierten Steine, desto geringer wird der Waldeinfluss auf die Reduktion der Durchgangsfrequenz. Hier scheint sich eine Art ‚Dimensionierungsgrenze‘ für den Schutzwald abzuzeichnen.

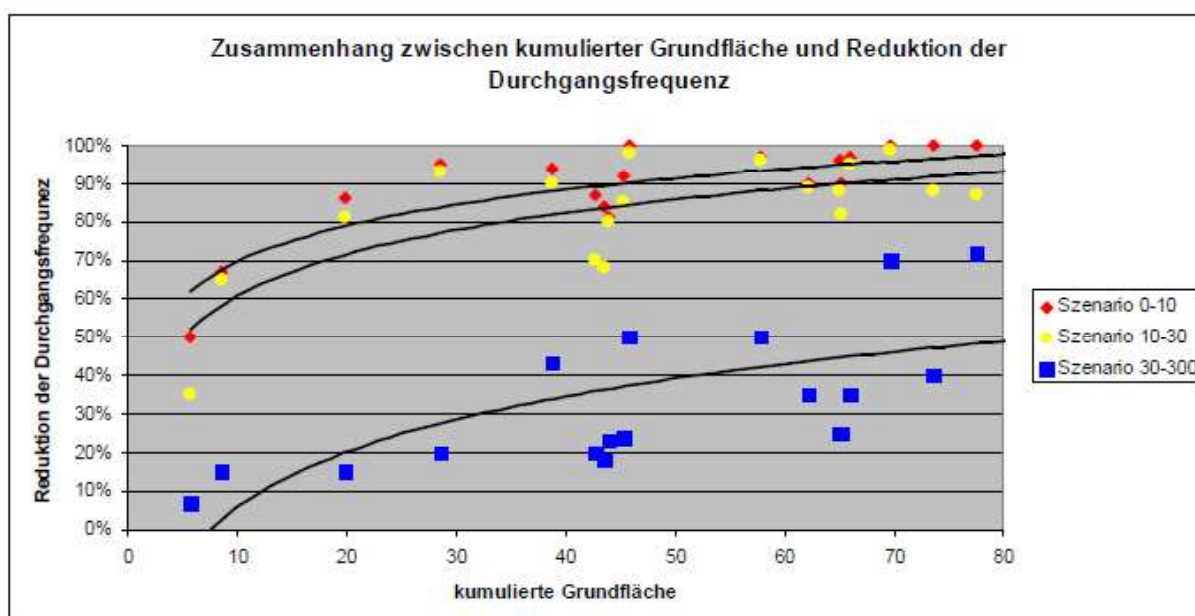


Abb. 7: Die Wirkung des Waldes nimmt mit der kumulierten Grundfläche zu. Je größer die modellierten Steine, desto geringer der Waldeinfluss auf die Reduktion der Durchgangsfrequenz.

8 Risikoanalyse

Ziel der Risikoanalyse ist die Bewertung der Wirkung von Schutzmassnahmen in Bezug auf das Ausgangsrisiko, ausgedrückt als Risikoreduktion. Im Fallbeispiel geht es um die Bedeutung der Wirkung des Schutzwaldes in Bezug auf Steinschlag. Aus Aufwandgründen blieben die weniger wichtigen Teile des Schadenpotentials und gewisse Risikosituationen unberücksichtigt. Berücksichtigt wurden nur Personenschäden in Fahrzeugen auf der National- und Kantonsstrasse durch Direkttreffer bei normalen Verkehrslagen. Allfällige Sperrungen, Stausituationen, Auffahrunfälle, Sachschäden und weitere Schadenbilder wurden weggelassen.

Die Risikoanalyse basiert auf dem Risikokonzept für Naturgefahren RIKO (2). Grundlage für die Berechnung sind die mit den Simulationsergebnissen erhaltenen Intensitätskarten. Die Reduktion der Steinschlagaktivität durch den Schutzwald wird bei der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit mitberücksichtigt.

Das Risiko pro Szenario R_j setzt sich aus der Wahrscheinlichkeit p_j eines gefährlichen Szenarios j multipliziert mit dem wahrscheinlichen Schadenausmaß A_j zusammen. Das Gesamtrisiko ergibt sich aus der Summe der einzelnen Risiken, wobei die Häufigkeit des Szenarios p_j angenähert wird als Differenz der Überschreitenswahrscheinlichkeit zweier benachbarter Szenarien. Das Schadenausmaß pro Szenario A_j besteht aus der monetarisierten Summe der Schadenausmaße unterschiedlicher Expositionssituationen k von Personen in Fahrzeugen entlang von Strassen durch Direkttreffer $A_w(PS)_{j,k}$. Die Anzahl sich im Prozessraum aufhaltender Fahrzeuge richtet sich nach der durchschnittlichen täglichen Verkehrsfrequenz DTV, der Geschwindigkeit der Fahrzeuge v und der Länge des gefährdeten Streckenabschnitts g . Neben der Anzahl der Fahrzeuge ist die Wahrscheinlichkeit von Steinschlagtreffern auf Fahrzeuge (Direkttreffer) abhängig von der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit der Steine $p(rA)$. Die Anzahl der Todesfälle bei Direkttreffern wird anhand des durchschnittlichen Besetzungsgrades der Fahrzeuge β und des Letalitätsfaktors λ , welcher von der Prozessintensität abhängt, berechnet.

Die so berechneten Werte ergeben für das Risiko Direkttreffer einen durchschnittlichen jährlichen Schadenerwartungswert von:

Risiko [Fr./a]	heute	Waldzustand nach Pflege	ohne Wald
sehr häufig (0-10)	2'746	8'056	42'745
häufig (10-30)	1'826	2'755	11'311
selten - sehr selten (30-300)	531	755	1'633
Total	5'103	11'565	55'689

Ohne Wald beträgt das Steinschlagrisiko von Personenschäden in Fahrzeugen durch Steinschlagtreffer pro Jahr rund SFr. 55'000.-. Der bestehende Schutzwald reduziert dieses auf aktuell lediglich SFr. 5'000.- pro Jahr. Mit den geplanten Schutzwaldpflegemaßnahmen steigt es vorübergehend auf rund SFr. 11'500.- pro Jahr an. Der Schutzwald besitzt also einen maßgebenden Einfluss auf das Steinschlagrisiko. Der heutige Wald vermag dieses Risiko im Vergleich zur unbewaldeten Situation um über 90% zu reduzieren. Auch nach erfolgtem Pflegeeingriff beträgt die Risikoreduktion immer noch knapp 80%. Klar zeigt sich auch, dass der Schutzwald besonders gut gegenüber häufigen und sehr häufigen Ereignissen wirkt.

Die Reduktion des jährlichen Schadenerwartungswertes durch den Schutzwald beträgt zwischen SFr. 44'000.- und SFr. 50'000.-. Dies ergibt bei 40 ha Schutzwald einen Nutzen von über SFr. 1'100.- pro Hektar und Jahr. Demgegenüber stehen Kosten für die Schutzwaldpflege von SFr. 12'500.- pro Eingriff und Hektar. Um einen nachhaltigen Bestandaufbau und eine hohe Schutzwirkung zu erreichen, erfolgt die Schutzwaldpflege kontinuierlich. Das Pflegeintervall beträgt durchschnittlich rund 15 Jahre. Folglich betragen die durchschnittlichen jährlichen Kosten rund SFr. 34'000.- oder SFr. 850.- pro Hektar und Jahr. Das Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten ist mit einem Faktor 1.3 positiv. Dies, obschon nur das Steinschlagrisiko von Personenschäden in Fahrzeugen durch Direkttreffer in die Betrachtung eingeflossen ist. Würde man die Risikoberechnung auf das gesamte

Schadenpotential (Bahnlinie, Gebäude) ausdehnen, Auffahrunfälle, Sachschäden, indirekte Schäden und andere Naturgefahrenprozesse wie Lawinen mitberücksichtigen, dann wäre der Nutzen des Waldes um ein Vielfaches höher.

9 Diskussion, Ausblick

Das Fallbeispiel hat gezeigt, dass grundsätzlich die Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen nach PROTECT (3) auch auf den Schutzwald (biologische Maßnahmen) übertragen werden kann. Allerdings sind dazu einige Anpassungen und Begriffsklärungen notwendig. Für den Prozess Stein- und Blockschlag sind auch quantifizierbare Aussagen zu den Auswirkungen auf Wahrscheinlichkeit und Intensität möglich. Dies wird bei anderen Prozessen wie z.B. Rutschungen ungleich schwieriger.

Die neue Generation von probabilistischen, räumlichen Simulationsmodellen für Steinschlag erlaubt in Verknüpfung mit GIS-Daten nicht nur Aussagen zu Maximalwerten wie Sprunghöhen und Energien, sondern auch Aussagen zu potentiellen Baumtreffern, Ablenkungen und Durchgangsfrequenzen. Damit kann auch die Wirkung von unterschiedlichen Waldzuständen simuliert werden. Denkbar ist auch die Verknüpfung mit LiDAR-Daten, womit die größtmögliche Realitätsnähe des Modells erreicht wäre.

Bei der Berücksichtigung von Bestandeslücken, Öffnungen und Runsen bestehen noch Unklarheiten, vor allem hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit. Blößen und Runsen gehören zu Steinschlagschutzwäldern und müssen im Gesamtkontext betrachtet werden. Nicht nur die Größe und Anzahl der Lücken ist für die Gefährdung entscheidend, sondern auch deren Lage im Transitgebiet. Hier sind weitere Arbeiten (6) notwendig, damit einfach handhabbare Kriterien gefunden werden können.

Das präsentierte Vorgehen eignet sich – mit Ausnahme der Grobbeurteilung – nicht für eine flächendeckende Anwendung. Hingegen können für bestimmte, einzelne Schutzwaldkomplexe sehr detaillierte Aussagen bis hin zu den Auswirkungen von waldbaulichen Eingriffen auf das Risiko gemacht werden. Es ist ein Instrument für die detaillierte Beurteilung einzelner Objekte und nicht zur Gewinnung von flächendeckenden Übersichten. Weil detaillierte Angaben zum Gefahrenpotential, zum Schadenpotential und zum Waldbestand im Transitgebiet vorhanden sein müssen, ist an eine programmierte Abarbeitung einzelner Beurteilungsschritte nicht zu denken.

Literatur:

- (1) PLANAT 2004: *Sicherheit vor Naturgefahren, Vision und Strategie. PLANAT-Reihe 1/2004.*
- (2) Bründl Michael (Ed.) 2009: *Risikokzept für Naturgefahren – Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern. 420 S.*
- (3) Romang Hans (Ed.) 2008: *Wirkung von Schutzmassnahmen. Nationale Plattform Naturgefahren PLANAT, Bern. 289 S.*
- (4) SIA 2003b: *Einwirkungen auf Tragwerke. SIA Norm 261. Schweiz. Ingenieur und Architekten Verein, Zürich.*

- (5) Dorren L.K.A. 2011: *Rockyfor3D revealed – Transparent description of the complete 3D rockfall model. ecorisQ paper, www.ecorisq.org. 28 S.*
- (6) Dorren Luuk, Berger Frédéric 2005: *Stem breakage of trees and energy dissipation during rockfall Impacts. Tree Physiology 26, 63-71.*
- (7) Frehner Monika (Ed.) 2005: *Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald. Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion. Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern. 564 S.*