www.tur.ch
Naturgefahrenmanagement - Ingenieurwesen - Forstwesen
tur gmbh, Promenade 129, CH-7260 Davos Dorf
+41 (0)81 420 15 31, info@tur.ch



Naturgefahren - Steinschlag

Gefahrenanalyse

Protect Bio II

Fallbeispiel Steinschlag

Massnahmenbeurteilung, Wirkungsbeurteilung und Massnahmenbewertung von Steinschlagschutzwäldern, dargestellt am Beispiel Gruobenwald, Klosters

Dienststelle / Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU)
Abteilung Gefahrenprävention
CH-3003 Bern

Arthur Sandri
arthur.sandri@bafu.admin.ch
+41 (0)31 325 51 70

Auftragnehmer

tur gmbh
Promenade 129
7260 Davos Dorf

Projektverfasser

Matthias Kalberer
kalberer@tur.ch
+41 (0)81 420 15 33

Durchführung

Oktober 2010 bis August 2011

Datum / Dateiname

29.07.2011
Protect_Bio_Steinschlag_Schlussfassung_290711.doc

Inhalt

1 EINLEITUNG 1
1.1 Hintergrund 2
1.2 Grundsätze zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen 3
1.3 Allgemeines Vorgehen 4
2 UNTERSUCHUNGSGEBIET 5
2.1 Gefahrenpotential 5
2.2 Schadenpotential 7
2.3 Schutzmassnahmen 8
3 GROBBEURTEILUNG STEINSCHLAG 11
3.1 Diskussion Grobbeurteilung 12
3.2 Angepasste Grobbeurteilung Steinschlag 13
4 MASSNAHMENBEURTEILUNG STEINSCHLAG 14
4.1 Methode Massnahmenbeurteilung 14
4.2 Massnahmenbeurteilung Fallbeispiel „Gruobenwald“ 17
5 WIRKUNGSBEURTEILUNG 20
5.1 Resultate 22
5.2 Analyse der Waldwirkung 24
6 RISIKOANALYSE 28
6.1 Ergebnisse Risikoanalyse 30
7 DISKUSSION, EMPFEHLUNGEN 31

Anhang

A Ergebnisse Modellierung Stein- und Blockschlag
B Intensitätskarten
C Risikoberechnung
D Fotodokumentation

1 Einleitung

Protect Bio

Ziel des Projektes "Wirkung von biologischen Schutzmassnahmen" oder kurz "Protect Bio" ist es, die biologischen Schutzmassnahmen gegen gravitative Naturgefahren so aufzubereiten und darzustellen, dass ihre Wirkung gemäss aktuellem Stand der Methoden ermittelt und zusammen mit derjenigen der anderen Schutzmassnahmen (technische, organisatorische) bei der Gefahrenbeurteilung angemessen berücksichtigt werden kann.

Phase I

In einer ersten Phase wurde auf genereller Ebene geprüft, ob die Grundlagen und Vorgehensweisen des PLANAT Projektes A3 „Wirkung von Schutzmassnahmen (PROTECT)“ (Romang 2008) grundsätzlich auch zur Beurteilung von Schutzwäldern verwendet werden kann. Diese erste Phase wurde mit einem Bericht (Wasser & Perren 2009) abgeschlossen und es zeigte sich, dass sowohl eine Übertragung der Grundsätze als auch der Verfahren aus PROTECT möglich ist. Weiter wurden im Rahmen der Phase I auch erste Vorschläge zur Grobbeurteilung von Schutzwäldern erarbeitet und aufgezeigt, anhand welcher Leitlinien die Massnahmen- und die Wirkungsbeurteilung erfolgen könnte.

Phase II

In einem weiteren Schritt sollen die Vorschläge aus der Phase I an konkreten Fallbeispielen geprüft, ergänzt und in eine praxistaugliche Form überführt werden. Dazu werden für verschiedene Prozesse Fallbeispiele ausgearbeitet.

Auftrag

Das vorliegende Fallbeispiel umfasst die Massnahmenbeurteilung, die Wirkungsbeurteilung und die Massnahmenbewertung von Steinschlagschutzwäldern, dargestellt am Beispiel „Gruobenwald“ über der Nationalstrasse Landquart – Selfranga (Prättigau, Kt. Graubünden).

Ziele

Der Auftrag verfolgt folgende Ziele:

- Prüfen der „Grobbeurteilung Sturz“ aus Protect Bio Phase I
- Entwicklung einer Methode zur Beurteilung der Zuverlässigkeit von Steinschlagschutzwäldern
- Erstellen von Intensitätskarten für das Fallbeispiel
- Durchführen der Risikoanalyse für das Fallbeispiel
- Massnahmenbewertung für den Steinschlagschutzwald des Fallbeispiels

Grundlagen

Die Ausarbeitung des Fallbeispiels basiert auf folgenden Grundlagen:

- Dorren L.K.A., 2011: Rockyfor3D (v4.0) revealed - Transparent description of the complete 3D rockfall model. ecorisQ paper, www.ecorisq.org: 28 p.
- Amt für Wald, 2010: WW Gruobenwald, Vorstudie, Version 2.0, s. 34.
- Wasser B., Perren B., 2009: PROTECT Bio, Methodik zur Beurteilung der Wirkung biologischer Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung bei Risikoanalysen, Bericht Fassung vom 01.09.2009. Bundesamt für Umwelt, Abteilung Gefahrenprävention, Bern, 88 S.
- Bründel M. (Ed) 2009: Risikokonzept für Naturgefahren – Leitfaden. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern 420 S.
- Romang H. (Ed) 2008: Wirkung von Schutzmassnahmen (PROTECT). Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern 289 S.
- Frehner M., Wasser B., Schwitter R., 2005: Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS). Wegleitung für Pflegemassnahmen in Waldern mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Bundesamt für Umwelt, Bern, 564 S.
- GEOTEST AG, 2004: Klosters, Gefahrenkarte Sturzprozesse, Bericht und Kartenbeilagen, Amt für Wald Graubünden, Region Herrschaft/Prättigau/Davos.

1.1 Hintergrund

Harmonisierungsbedarf Der Anspruch, ein integrales Risikomanagement zu schaffen, bedingt sowohl eine Abstimmung der verwendeten Konzepte, Begriffe und Methoden als auch einen Dialog zwischen Forst- und Naturgefahrenfachleuten.

Begriffe Auf der Grundlage der SIA-Richtlinien für Tragwerke wurde in PROTECT eine einheitliche Terminologie erarbeitet. Diese findet auch in Protect Bio Anwendung. Es werden Verknüpfungen zwischen den technischen und waldbaulichen Begriffen hergestellt. Bsp:

- Schutzmassnahme = Schutzwald
- Unterhalt = waldbaulicher Eingriff

Weiter werden Begriffe wie Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit in Bezug auf den Wald neu definiert.

PROTECT PROTECT bildet das Leitkonzept. Es definiert die Grundsätze und Vorgehensweise für die Beurteilung von Schutzmassnahmen. Ziel von Protect Bio ist die teilweise unvollständige und uneinheitliche Beurteilung des Schutzwaldes in PROTECT zu ergänzen und zu vereinheitlichen. Während sich PROTECT auf die Methodik zur Beurteilung von Schutzmassnahmen im Rahmen der Erstellung von Gefahrenkarten im Siedlungsgebiet beschränkt und daher hohe Anforderung stellt, werden in Protect Bio die Betrachtungen auf die Risikoanalyse generell ausgeweitet.

RIKO Das „Risikokonzept für Naturgefahren (RIKO)“ (Bründel 2009) definiert das Vorgehen bei Risikoanalysen. Protect Bio liefert Grundlagen für die Berücksichtigung des Schutzwaldes.

NaiS Die Wegleitung für Pflegemassnahmen in Wäldern mit Schutzfunktion „Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald (NaiS)“ (Frehner et al. 2005) ist ein Instrument für die Praxis mit dem Ziel, einen nachhaltig wirksamen Schutzwald mit möglichst geringem Aufwand sicherzustellen. Alle Aspekte die in NaiS dargestellt sind und für Protect Bio relevant sind, werden unverändert aus NaiS übernommen. Diese Konsistenz ist für die Verständigung und Umsetzung wichtig, denn fast alle Kantone richten sich bei der Umsetzung der Schutzwaldpflege nach NaiS. Von zentraler Bedeutung für Protect Bio sind die Anforderungsprofile bezüglich den Naturgefahren (Abb 1). NaiS wird durch Protect Bio ergänzt. Aufgrund der prozessorientierten Ausrichtung können von Protect Bio Grundlagen für die räumliche Priorisierung erwartet werden. Beurteilungen auf Ebene Bestand können zu Aussagen über den gesamten schutzrelevanten Wald verknüpft werden und die Leistungen des Schutzwaldes können in das Gesamtsystem integriert werden.

Ort	Potentieller Beitrag des Waldes	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr minimal	Anforderungen auf Grund der Naturgefahr ideal
Entstehungsgebiet	**Mittel**	**Stabilitätsträger** Keine instabilen, schweren Bäume	
Transitgebiet	**Gross** Steine bis 0.05 m³ (Durchmesser etwa 40 cm)	**Gefüge horizontal:** Mind. 400 Bäume/ha mit BHD > 12 cm	**Gefüge horizontal:** Mind. 600 Bäume/ha mit BHD > 12 cm
		evt. auch Stockausschläge	
		Gefüge vertikal Zieldurchmesser[2] angepasst	
	Steine 0.05 bis 0.20 m³ (Durchmesser etwa 40 bis 60 cm	**Gefüge horizontal:** Mind. 300 Bäume/ha mit BHD > 24 cm	**Gefüge horizontal:** Mind. 400 Bäume/ha mit BHD > 24 cm
		Gefüge vertikal Zieldurchmesser[2] angepasst	
	Steine 0.20 bis 5.00 m³ (Durchmesser etwa 60 bis 180 cm)	**Gefüge horizontal:** Mind. 150 Bäume/ha mit BHD > 36 cm	**Gefüge horizontal:** Mind. 200 Bäume/ha mit BHD > 36 cm
	Zusätzliche für alle Steingrössen:	**Gefüge horizontal:** Bei Öffnungen[1] in der Fallinie Stammabstand < 20 m Liegendes Holz und hohe Stöcke: als Ergänzung zu stehenden Bäumen, falls keine Sturzgefahr	
		Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt
Auslauf- und Ablagerungsgebiet	**Gross** Der wirksame Mindestdurchmesser der Bäume ist deutlich geringer als im Transitgebiet und liegendes Holz ist immer wirksam	**Gefüge horizontal** Mind. 400 Bäume/ha mit BHD > 12 cm	**Gefüge horizontal** Mind. 600 Bäume/ha mit BHD > 12 cm
		Gefüge horizontal: Bei Öffnungen[1] in der Fallinie Stammabstand < 20 m evt. auch Stockausschläge	
		Gefüge vertikal Zieldurchmesser angepasst liegendes Holz und hohe Stöcke: als Ergänzung zu stehenden Bäumen	
		Minimale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt	Ideale Anforderungen auf Grund des Standortstyps erfüllt

Abb. 1: Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Steinschlag: Potentieller Beitrag des Waldes und Anforderungsprofile in Abhängigkeit von Prozessparametern nach NaiS.

1.2 Grundsätze zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen

Grundsätze

PROTECT definierte neun Grundsätze zur Berücksichtigung von Schutzmassnahmen. Im Rahmen von Protect Bio wurden diese Grundsätze auf den Wald und die Risikoanalyse spezifiziert. Es handelt sich um folgende Grundsätze:

- **Quantifizierbare Wirkung:** Als Nachweis für die Quantifizierbarkeit reicht eine „erkennbare Wirkung“ aus.
- **Unsicherheiten:** Grundsätzlich werden Schutzmassnahmen berücksichtigt, wenn ihre Wirkung quantifizierbar ist. Bei sehr grossen Unsicherheiten bei der Beurteilung muss davon abgesehen werden.
- **Szenarien:** Bei der Wirkungsbeurteilung von Schutzmassnahmen werden verschiedene Szenarien mit unterschiedlicher Eintretenswahrscheinlichkeit berücksichtigt.
- **Systemabgrenzung:** Die Massnahme wird sowohl als Einzelsystem (Waldbestand) als auch in Bezug auf das Gesamtsystem (ganzer Prozessraum) betrachtet.
- **Permanente Verfügbarkeit:** Die Schutzwirkung muss mit üblichem Unterhalt permanent über einen Zeitraum von 50 Jahren gewährleistet werden können. Im Rahmen der Massnahmenbeurteilung wird die Dauerhaftigkeit geprüft.

- **Überwachung und Unterhalt:** Die Überwachung, der Unterhalt und bei Mängeln der Ersatz müssen für Schutzbauten gewährleistet werden können. Die Überwachung erfolgt anhand der forstlichen Planung. Dank NaiS kann der Unterhalt kostengünstig sichergestellt werden. Der Ersatz, zum Beispiel nach Windwurf, erfolgt in der Regel durch die Natur. Die Regeneration muss laufend überwacht und falls nötig, müssen frühzeitig ergänzende Massnahmen ausgeführt werden.
- **Temporäre Massnahmen:** Temporäre Massnahmen können nicht berücksichtigt werden. Es gibt keine temporären biologischen Massnahmen.
- **Geplante Werke:** Nach der Realisierung muss die Gefahrenbeurteilung überprüft werden. Dies ist auch bei Aufforstungen und Wäldern mit fehlender Zuverlässigkeit der Fall.
- **Zeit:** Sowohl die Massnahmen als auch die Prozesse, bzw. deren Rahmenbedingungen, ändern sich mit der Zeit. Deshalb muss der Schutzwald periodisch überwacht und im Rahmen der Zielanalyse, sollen die Anforderungsprofile nach NaiS periodisch aktualisiert werden.

1.3 Allgemeines Vorgehen

Generell In PROTECT ist das Vorgehen zur Beurteilung von Schutzmassnahmen definiert. Es findet auch bei Protect Bio für die Beurteilung der Schutzwaldwirkung Anwendung. Das Vorgehen ist prozessspezifisch und beruht auf einer Grobbeurteilung, einer Massnahmenbeurteilung und einer Wirkungsbeurteilung.

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

Massnahmenbeurteilung 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, welche anhand von Szenarien bzw. Gefährdungsbilder beurteilt werden.

Wirkungsbeurteilung 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 Gefahrenkarten.

2 Untersuchungsgebiet

Übersicht

Das Untersuchungsgebiet liegt westlich von Klosters Dorf. Der Perimeter umfasst den Gruobenwald zwischen Chlus und Tschägibach. Der Schutzwald liegt unmittelbar oberhalb von Strasse und Bahn. Er schützt diese vor Steinschlag aus der Sattelflue.

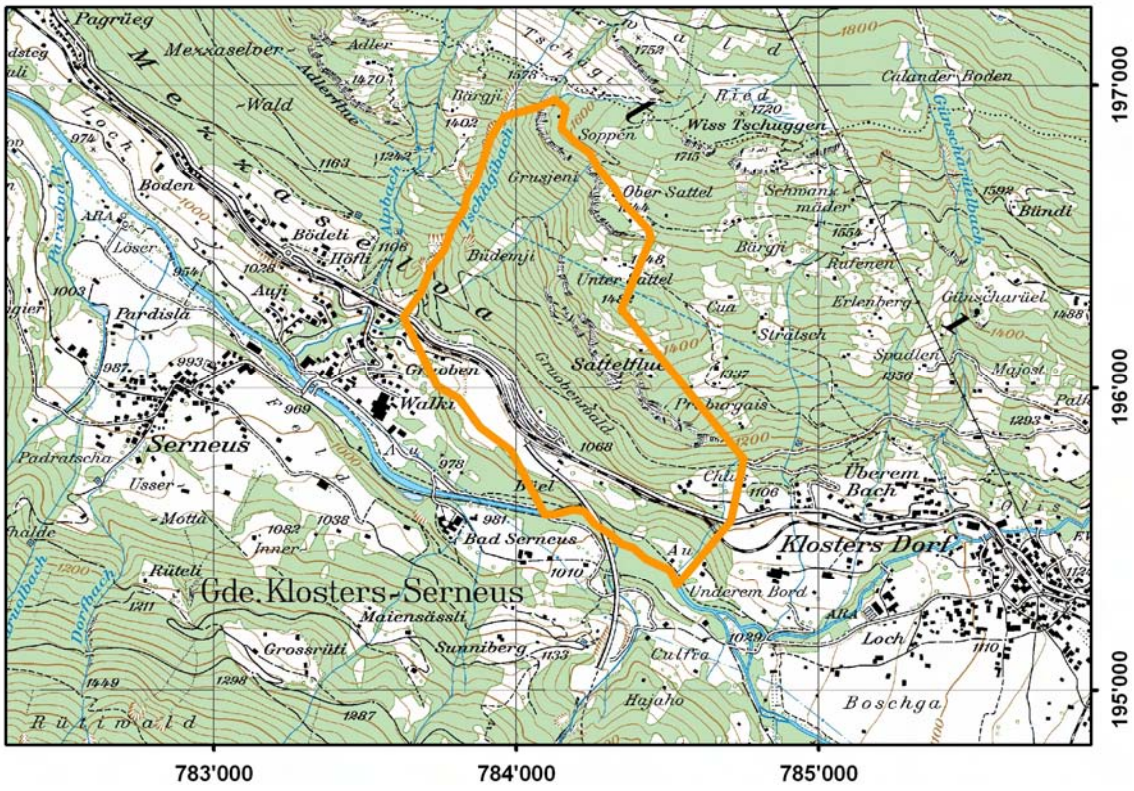


Abb. 2: Übersicht: Der Projektperimeter umfasst den Gruobenwald westlich von Klosters Dorf.

2.1 Gefahrenpotential

Grundlagen

Die Angaben zum Gefahrenpotential stützen sich auf die Gefahrenkarte Sturzprozesse Klosters (GEOTEST 2004) und eigene Felderhebungen.

Geologie

Geologisch ist das Untersuchungsgebiet dem Bündnerschiefer, im speziellen dem Prättigauflysch, zuzuordnen. Die senkrechten bis überhängenden Felswände der Sattelflue und des Grusjeni sind aus harten Gesteinen, Sandkalken und Breccien aufgebaut. Zwischen den harten Kalkbänken finden sich aber immer wieder weichere Kalk- und Mergellagen, welche stark zurückverwittert sind. So finden sich im Untersuchungsgebiet viele überhängende Felspartien. Die Felsformationen sind kleinräumig unterschiedlich stark verfaltet und zerklüftet. Massige und fein strukturierte Gesteinsformationen wechseln sich ab. Viele Felspartien sind instabil.

Spuren

Zahlreiche frisch abgelagerte Steine und beschädigte Bäume im Gruobenwald zeugen von einer hohen Steinschlagaktivität.

Ereigniskataster

Aufgrund des Ereigniskatasters sind bei Chlus und im Gruobenwald folgende Ereignisse bekannt:

- Datum unbekannt: Stein- oder Blockschlag forderte ein Todesopfer in Postkutsche.
- 1975: Steine aus der Sattelflue stürzten auf RhB-Geleise beim Gruobenstutz.
- 1983: Blockschlag nach starken Niederschlägen bei Chlus. Ein rund 30 m^3 grosser Block kam zwischen einem Wohnhaus und Stall zum Stillstand. Kleinere Blöcke (10 m^3, 2 m^3) kamen im Wald bzw. im Chlusbach zum Stillstand.
- 1989: Blockschlag bei Chlus mit identischer Sturzbahn wie das Ereignis 1983. Ein rund 1,5 m^3 grosser Block kam am Waldrand zum Stillstand.
- 1998: Sturzereignis (Gesteinsdurchmesser: 0,6 m – 0,7 m) bei der „Engländer Kurve“ (1050 m ü. M.). Ein Fahrzeug wurde beschädigt.
- 2000: Steinschlag (Gesteinsdurchmesser: 0,3 m – 0,5 m) aus Felsböschung beim Gruobenstutz.

Zwischen 1975 und 2000 wurden im Projektperimeter 5 Ereignisse registriert, welche das Schadenpotential erreichten. Auch unter Berücksichtigung der Wirkung des Schutzwaldes und der bestehenden Verbauungen muss folglich alle 5 Jahre mit Steinschlagereignissen auf der National- bzw. Kantonsstrasse gerechnet werden.

Szenarien

Sturzprozesse und ihre Einwirkungen werden durch die Grösse der Sturzkörper charakterisiert. Dabei sind Sturzprozesse mit kleineren Komponenten häufiger als Blockschläge oder Felsstürze. Mit unterschiedlichen Szenarien bei der Gefahrenanalyse wird diesem Umstand Rechnung getragen. Für das Untersuchungsgebiet wurden aufgrund der Felsstrukturen und der abgelagerten Blöcke im Gelände folgende Szenarien festgelegt:

Tab. 1: Szenarien: Jährlichkeiten und Gesteinsdimensionen der definierten Szenarien.

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

Bei der Festlegung der Szenarien wurde das Blockschlagereignis aus dem Jahre 1983 bei Chlus nicht berücksichtigt. Es handelt sich um ein ausserordentliches Ereignis mit einer sehr grossen Jährlichkeit. Für Risikobetrachtungen entlang von Strassen sind einzelne, extrem seltene Grossblöcke nicht relevant.

2.2 Schadenpotential

Gebäude Im Projektperimeter befinden sich neben zwei Scheunen insgesamt sechs Wohngebäude, welche über je eine Wohneinheit verfügen.

Sonderobjekte Südlich der Rhätischen Bahn (RhB) befinden sich ein Kieswerk und eine Deponie. Diese dienten vor allem den Baustellen der Umfahrung Klosters und Saas. Zurzeit werden sie nur noch sporadisch benutzt.

Strassenverkehr Das Untersuchungsgebiet beinhaltet folgende Strassen und Wege:

- Nationalstrasse A 28 Landquart – Selfranga: 900 m
- Kantonale Verbindungsstrasse 726.52 Buel- Selfranga: 700 m
- kommunale Zufahrtsstrassen und alte Prättigauerstrasse: 900 m
- Forst- und Feldwege: 300 m
- Bergwanderweg: 1400 m

Die Nationalstrasse A 28 besitzt eine durchschnittliche Tagesverkehrsfrequenz (DTV) von rund 9'000 (2009: 8’934). Die automatische Messstelle liegt unmittelbar beim Untersuchungsgebiet. Für alle anderen Strassenabschnitte sind keine Ergebnisse von automatischen Messstellen verfügbar. Das Verkehrsaufkommen auf der kantonalen Verbindungsstrasse wird als hoch eingestuft. Ihr DTV wird auf 2'500 geschätzt. Auf beiden Strassen ist die Höchstgeschwindigkeit auf 80 km/h begrenzt. Auf allen anderen Wegen fahren pro Tag nur einzelne Autos. Auch der Bergwanderweg ist nur schwach frequentiert.

Schienenverkehr Das Untersuchungsgebiet umfasst einen Streckenabschnitt der RhB von rund 1,3 km. Auf diesem Abschnitt verkehren die Linien Landquart - Scuol/Tarasp und Landquart - Davos. Dementsprechend hoch sind die Zugsfrequenzen. Im Durchschnitt verkehren pro Tag 73 Züge mit einer Geschwindigkeit von 65 km/h. Die durchschnittliche Belegung der Züge liegt bei 62 Personen pro Zug.

Risikoanalyse Die Massnahmenbewertung wird anhand einer vereinfachten Risikoanalyse durchgeführt. Dabei werden bestehende Schutzmassnahmen und Teile des Schadenpotentials nicht berücksichtigt. Berücksichtigt werden Personenschäden in Fahrzeugen durch Direkttreffer auf der National- und der Kantonsstrasse.

2.3 Schutzmassnahmen

Inhalt

Neben den technischen Schutzverbauungen beinhaltet dieses Kapitel auch den Schutzwald. Die Beurteilung des Schutzwaldes ist Gegenstand dieses Berichts. An dieser Stelle werden die dazu notwendigen Grundlagen erarbeitet. Die eigentliche Beurteilung erfolgt anhand der Grobanalyse, der Massnahmenbeurteilung und der Wirkungsbeurteilung, bei welchen die Wirkungen der technischen Schutzmassnahmen nicht berücksichtigt werden. Die zu erwartenden Wirkungen der bestehenden Schutzverbauungen werden bereits an dieser Stelle beurteilt.

2.3.1 Schutzwald

BSF

Aufgrund der direkten Schutzwirkung wurde der Gruobenwald als Wald mit besonderer Schutzfunktion (BSF) ausgeschieden.

Schutzwald GR 2012

Auf der Grundlage von SilvaProtect wurde im Kanton Graubünden der Schutzwald nach den harmonisierten Kriterien des Bundes neu ausgeschieden. Diese Schutzwaldausscheidung wird ab 2012 in der forstlichen Planung verankert und umgesetzt. Der gesamte Waldbestand ist demnach dem Schutzwaldtyp A zugeordnet. Dieser Typ umfasst Wälder, die vor grossen Risiken schützen. Der Gruobenwald schützt die Nationalstrasse und RhB nicht nur vor Steinschlag, sondern auch vor Lawinen und Hangmuren.

Waldstandorte

Die Hänge sind steil und sonnenexponiert. Die Böden sind aus kalkhaltigem Gehängeschutt entstanden. Sie sind tiefgründig und skelettreich. Die Bodenentwicklung reicht von Rendzinen bis Braunerden. Die Humusform besteht aus Mull bis Moder. Grösstenteils handelt sich es beim Gruobenwald um den Standortstyp „Typischer Karbonat-Tannen-Buchenwald“ (18M). In den buchenreichen Beständen wurde früher Streu genutzt. Neben Buchen und Tannen ist die Fichte, vor allem im westlichen Bereich des Untersuchungsgebiets bei „Grusjeni“ und „Büdemji“, stark vertreten. Der Standortstyp wechselt dort hin zu einem Karbonat-Tannen-Fichtenwald mit Weissegge (52).

Waldzustand

Der Bestandesaufbau ist nicht nachhaltig. Das Baumholz überwiegt mit einem Flächenanteil von 91%. Die Jungwuchs und Dickungsstufe fehlt gänzlich. Bis anhin wurde der Wald nur in den untersten Bereichen gepflegt. Es stocken dort Stangen- und schwache Baumhölzer. Die vernachlässigte Schutzwaldpflege ist sicherlich ein Grund für die fehlende Verjüngung. Aber auch der Wildeinfluss beeinträchtigt die Waldverjüngung. Es handelt sich um ein beliebtes Wintereinstandsgebiet von Hirsch und Reh. Auch in den lückig bis aufgelösten Beständen ist keine Verjüngung anzutreffen.

forstliche Projekte

Im Gruobenwald ist der Neubau eines Waldweges geplant. Dieser dient als Basiserschliessung für die Pflege des Schutzwaldes, welche nach dem Bau des Waldwegs hauptsächlich mit Seilkran erfolgen soll. Mit der Planung des Waldwegs wurde der Waldbestand eingehend analysiert. Gemäss Fazit handelt es sich um ein „überalterter, sich auflösender Bestand mit einer schlechten Verteilung der Entwicklungsstufen und insbesondere mit einer prekären Verjüngungssituation“. Die folgende Abbildung enthält die entsprechende Bestandeskarte aus der Vorstudie WW Gruobenwald (AfW GR, 2010).

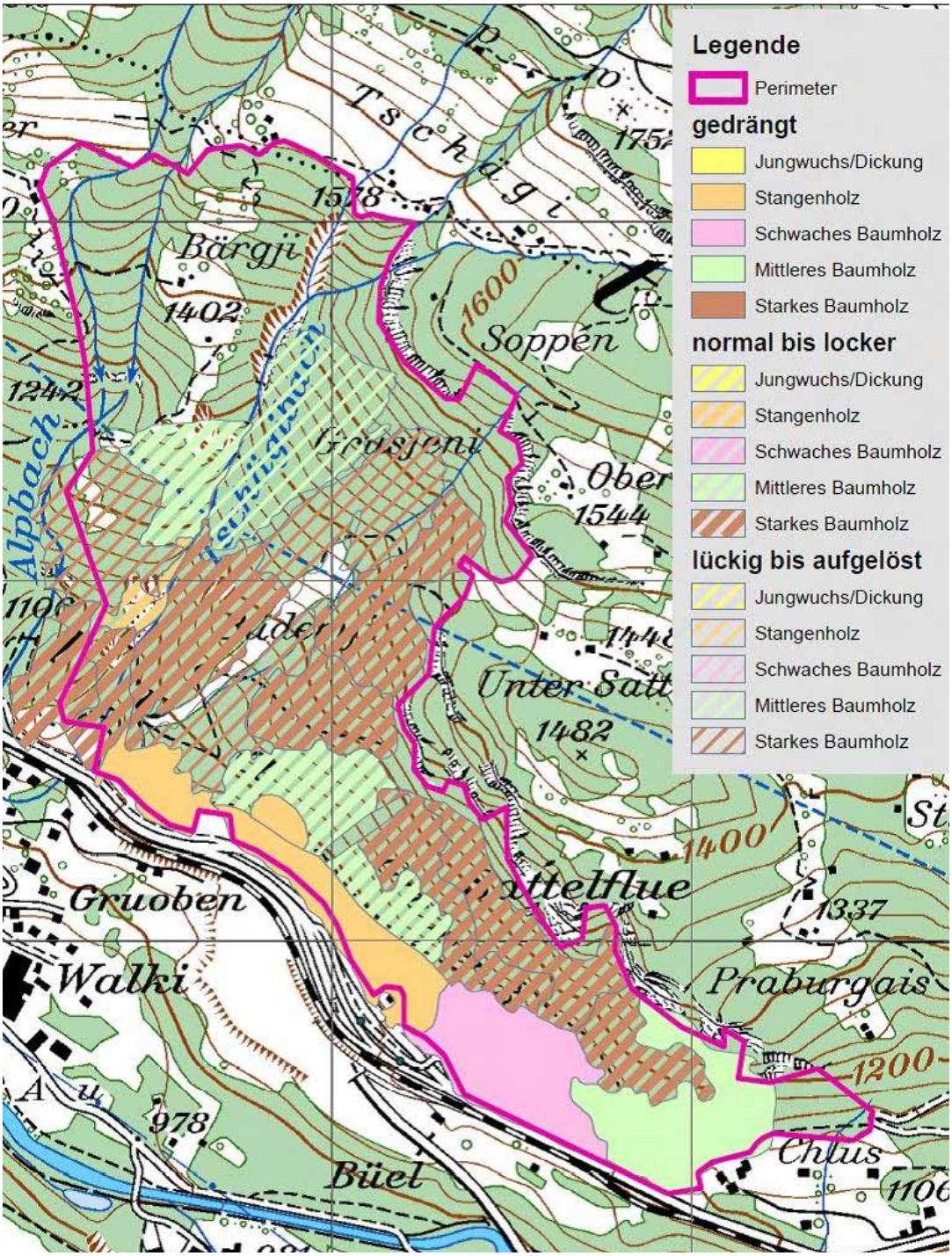


Abb. 3: Bestandeskarte: Entwicklungsstufen und Struktur. Abbildung aus WW Gruobenwald, Vorstudie, Amt für Wald Graubünden (2010). Der Waldaufbau ist nicht nachhaltig. Die Entwicklungsstufen Verjüngung und Dickung fehlen. Das starke Baumholz ist stark übervertreten.

2.3.2 Schutzverbauungen

Schutzdämme Nach den Ereignissen 1983 und 1989 bei Chlus wurde 1993 ein Schutzbauwerk in Form von zwei kleinen Dämmen errichtet. Die Dämme besitzen eine Höhe von 2 m bis 3 m. Es besteht kein Fallboden und der V-förmige Einschnitt ist mit Sturzmaterial bereits wieder leicht hinterfüllt. Zudem ist die bergseitige Böschung der Dämme mit einer Neigung von 2:3 relativ flach. Die Dämme könnten folglich relativ leicht überrollt werden. Die Dämme halten nur kleinere Steine zurück. Ihre Zuverlässigkeit ist folglich eingeschränkt.

Steinschlag-schutzwände In den Jahren 1988 und 1989 wurde oberhalb der Strasse im Gruobenwald auf einer Länge von 520 m eine rund 2 m hohe Schutzwand erstellt. Es handelt sich um eine starre Konstruktion aus Doppel-T-Trägern und Kastanienrundhölzer. Es wird geschätzt, dass die Anlage Energien von bis zu 50 kJ aushalten kann. Herunterkullernde Steine werden gestoppt. Bei gröberem Blockschlag ist die Tragsicherheit der Anlage jedoch nicht ausreichend. Ihre Zuverlässigkeit ist folglich eingeschränkt.

Fallböden Im Gruobenwald wurden in den Jahren 1986 bis 1989 direkt unterhalb der Felswand, auf rund 1220 m ü. M., ein rund 50 m langer Fallboden erstellt. Dieser Fallboden steht in steilem Gelände und besteht aus einer Terrasse aus Steinkörben und einem rund 1,5 m hohem Netz, welches an Eisenbahnschienen montiert ist. Die Schutzbaute wurde 2006 wieder Instand gestellt. Dabei mussten einzelne Steinkörbe und das Schutznetz ersetzt werden. Die Schutzbaute weist jedoch bereits wieder kleine Schäden auf. Das Schutznetz wurde durch einen kleinen Stein mit rund 40 cm Durchmesser beschädigt und weist ein Loch auf. Bei gröberem Blockschlag ist die Tragfähigkeit des Bauwerks nicht mehr gegeben. Neben Blockschlag können auch Terrainbewegungen, Schneerutsche und kleine Lawinen das Bauwerk gefährden. Im schlimmsten Fall können Mauerteile und das hinterfüllte Material abstürzen und einen Steinhagel auslösen. Die Zuverlässigkeit der Anlage ist gering; ihre Wirkung im Extremfall sogar negativ.

3 Grobbeurteilung Steinschlag

Inhalt

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

- Prozessquelle (Lage, Stein- und Blockgrössen)
- Schutzwald (Entwicklungsstufen, Deckungsgrad, Baumarten, Hindernisse)
- Schadenpotential (Lage, Typ)

Grundlagen

Alle für die Grobbeurteilung notwendigen Informationen können aus bestehenden Grundlagen zusammengetragen werden. Falls Grundlagen fehlen, kann die Grobbeurteilung vom Gegenhang aus gemacht werden. Aufwändige Felderhebungen sind vorerst nicht notwendig. In der Regel können auf folgende Grundlagen zurückgegriffen werden:

- topographische Karten
- Luftbilder
- Gefahrenhinweiskarte, Gefahrenkarte
- Schutzwaldkarte
- forstliche Planung (WEP, WP, Bestandeskarte, Inventur)

Vorgehen

Die Grobbeurteilung erfolgt anhand eines einfachen Schemas, anhand dessen die Relevanz der Schutzwirkung von Wäldern plausibel abgeschätzt werden kann. Es wird abgeklärt, ob eine relevante Wirkung des Einzelsystems Wald oder im Verbund mit technischen Massnahmen erwartet werden kann. Mit wenig Aufwand kann die Notwendigkeit einer aufwändigen Massnahmenbeurteilung abgeklärt werden.

Vorschlag aus Phase I

In der Phase I wurde auf der Grundlage der Parameter Steingrösse, Länge der bewaldeten Transitstrecke und Waldzustand folgendes Schema zur Grobbeurteilung entworfen (siehe Abb. 4). Grundvoraussetzung ist, dass nur Wälder als relevant erscheinen dürfen, wo stürzende Steine oder Blöcke das Schadenpotential erreichen könnten (Pauschalgefälle mind. 30°).

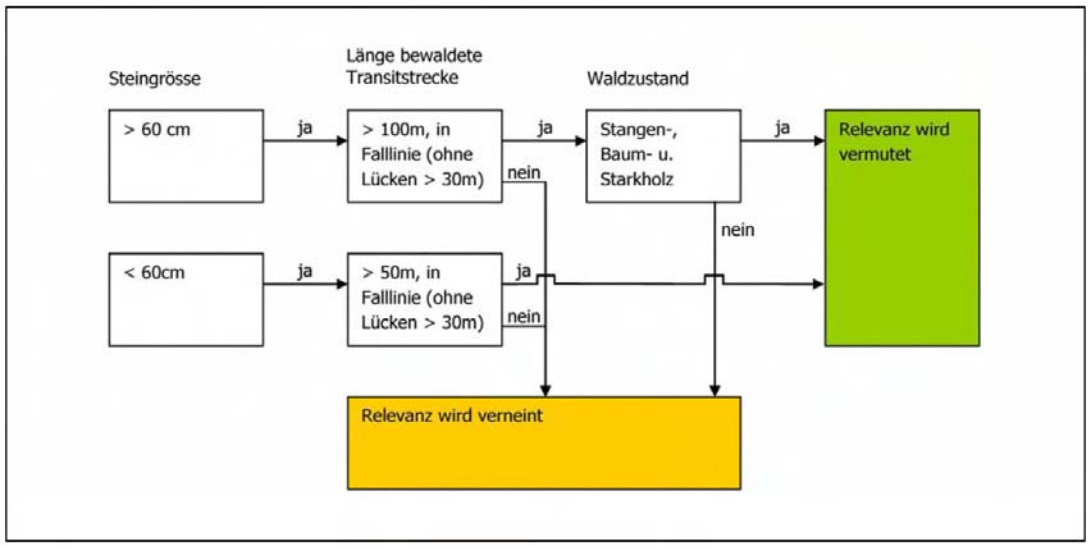


Abb. 4: Grobbeurteilung Sturz: Vorschlag für die Grobbeurteilung des Sturzprozesses aus Phase I.

3.1 Diskussion Grobbeurteilung

Herausforderung Die Waldwirkung wird beim Steinschlagprozess durch viele verschiedene Faktoren beeinflusst. Über diese Faktoren sind vielfach nur qualitative Angaben bekannt. Expertisen und wissenschaftliche Arbeiten, insbesondere statistische Auswertungen der Einflussfaktoren auf die Waldwirkung gegenüber Steinschlag, sind nach wie vor rar. Eine pragmatische Vorgehensweise ist bei der Wahl der Faktoren für die Grobbeurteilung und bei der Definition derer Grenzwerte daher unabdingbar. Es ist eine grosse Herausforderung, die „richtige" Parameterkombination für eine plausible Abschätzung der Relevanz zu finden.

Steingrösse Die Steingrösse wird in aller Regel durch den Durchmesser definiert und steht in enger Beziehung zu grundlegenden Prozessparametern wie Gesteinsmasse und -energie. Kleine Steine treten in aller Regel häufiger auf als grosse Steine. Die Festlegung auf eine Grösse ist daher nicht eindeutig und auch von der Situation abhängig, auf welche der Schutzwald ausgerichtet wird. Für bewegliches Schadenpotential wie Fussgänger oder Autos sind oft die kleinen, aber häufigen Steine ein Problem, bei einem Haus eher die grossen, seltenen Steine. Da grössere Steine die grössere Reichweite besitzen, ist zusätzlich auch die Lage des Schadenpotentials zu beachten.

Länge bewaldete Transitstrecke Je länger die bewaldete Transitstrecke, desto grösser ist die Wahrscheinlichkeit von Kollisionen mit Bäumen, Strünken oder liegenden Stämmen. Mit Steinschlagmodellen können Angaben zu Transitstrecken und Lückenlängen hergeleitet werden. Die minimale Transitstrecke, um eine relevante Wirkung zu erzielen, ist abhängig von der Grösse der Sturzkörper, der Geländeneigung und -beschaffenheit sowie vom Waldzustand. Je grösser die Steine, je steiler das Gelände, je geringer die Baumdurchmesser und Stammzahlen, desto grösser ist die erforderliche Transitstrecke.

Waldzustand Der Waldzustand definiert die Waldwirkung. Je grösser die Stammzahl desto wahrscheinlicher sind Baumtreffer und je grösser die Baumdurchmesser desto grösser die potentielle Energievernichtung bei Baumtreffern. Durchmesser- und Stammzahlverteilung von Waldbeständen sind selten verfügbar. In der forstlichen Praxis sind beschreibende Bestandes- und Einzelbaummerkmale wie Entwicklungsstufe oder Deckungsgrad gebräuchlicher. In NaiS werden Mischung, Gefüge, Stabilitätsträger und Verjüngung zur Charakterisierung der Schutzwaldbestände beschrieben.

3.2 Angepasste Grobbeurteilung Steinschlag

Vorgehen

Die Grobbeurteilung aus Phase I wird nur geringfügig vereinfacht. Die Relevanz von Schutzwäldern wird anhand der Steingrösse, der Länge der bewaldeten Transitstrecke und des Waldzustandes abgeschätzt (siehe Abb. 5). Vorausgesetzt wird die Grundvoraussetzung, dass nur Wälder berücksichtigt werden, wo stürzende Steine und Blöcke auch tatsächlich Schadenpotential gefährden.

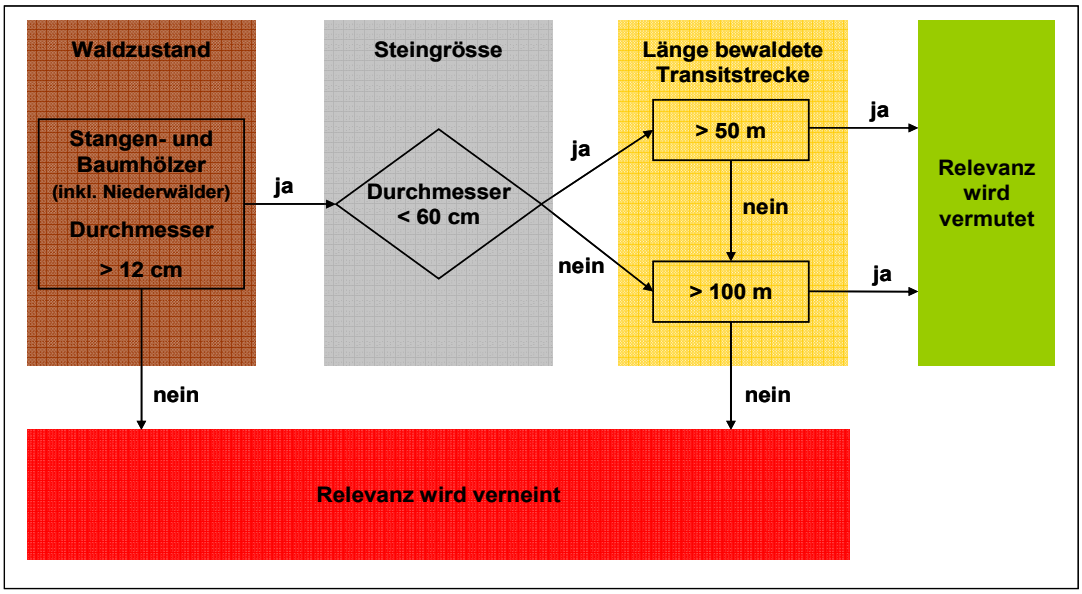


Abb. 5: angepasste Grobbeurteilung Sturz: In Abhängigkeit des Waldzustandes, der Steingrösse und der bewaldeten Transitstrecke wird die Relevanz von Schutzwäldern abgeschätzt.

Grundvoraussetzung

Grundvoraussetzung ist das Vorhandensein eines potentiell gefährdeten Schadenpotentials. Das Pauschalgefälle, der Winkel zwischen Schadenpotential und Ausbruchgebiet, muss grösser als 28° sein, damit ein Schadenpotential durch Stein- und Blockschlag gefährdet sein kann.

Waldzustand

Bereits Steinschlagereignisse mit kleinen Steinen besitzen Energien, welche das Energievernichtungsvermögen eines Jungwaldes um ein Mehrfaches übersteigen. Eine relevante Schutzwirkung gegenüber Steinschlag kann folglich nur von Stangen- und Baumhölzer (inkl. Niederwälder) 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. Dabei werden die Häufigkeit des Prozesses und die Verletzlichkeit des Schadenpotentials in Betracht gezogen.

Transitstrecke

Unter der bewaldeten Transitstrecke wird die kumulierte bewaldete Länge in Falllinie zwischen Ausbruchgebiet und Schadenpotential bezeichnet. Öffnungen in der Falllinie unter 20 m können zur bewaldeten Transitstrecke gezählt werden, wenn darin genügend intakte liegende Stämme und 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.

Grobbeurteilung Fallbeispiel

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

4 Massnahmenbeurteilung Steinschlag

Ziel

Ziel der Massnahmenbeurteilung ist die Bestimmung der Zuverlässigkeit eines Schutzwaldes im Hinblick auf seine Wirkung gegenüber Stein- und Blockschlag.

Systemabgrenzung

Im Grundsatz erfolgt die Beurteilung für den ganzen Prozessraum mit den zu erwartenden Prozessen und ihren Interaktionen mit dem Schutzwald. Muss davon ausgegangen werden, dass Bestandeslücken wie zum Beispiel durchgehende Runsen zu einer erhöhten Gefährdung des Schadenpotentials führen, werden diese separat beurteilt. Damit wird verhindert, dass aufgrund einzelner Problemstellen die Zuverlässigkeit des ganzen Waldes in Frage gestellt wird.

Gefährdungsbilder

Die Gefährdungsbilder beschreiben Situationen in denen Teile eines Schutzwaldes zerstört werden können. Sie definieren die Einwirkungen auf einen Schutzwald. In die Beurteilung sind nicht nur jene Prozesse szenarienbezogen einzubeziehen, gegen die der Wald eine Schutzwirkung haben sollte, sondern auch untypische Gefährdungsbilder wie zum Beispiel Waldbrand oder Sturm. Bei deren Beurteilung sind die Häufigkeit der Ereignisse, die Grösse der zu erwartenden Schadensflächen und die Regenerationsfähigkeit des Waldes entscheidend.

4.1 Methode Massnahmenbeurteilung

Vorgehen

Analog zur Massnahmenbeurteilung für technische Schutzmassnahmen gemäss PROTECT wird der Schutzwald anhand der Kriterien Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit beurteilt. Sind alle Kriterien erfüllt, wird von einer hohen Zuverlässigkeit des Schutzwaldes ausgegangen. Ist ein Kriterium nicht oder nur ungenügend erfüllt, wird die Wirksamkeit von Schutzwaldpflegemassnahmen oder unterstützenden Massnahmen geprüft. Je nach Wirksamkeit der Massnahmen wird eine hohe, eingeschränkte oder eine geringe Zuverlässigkeit attestiert.

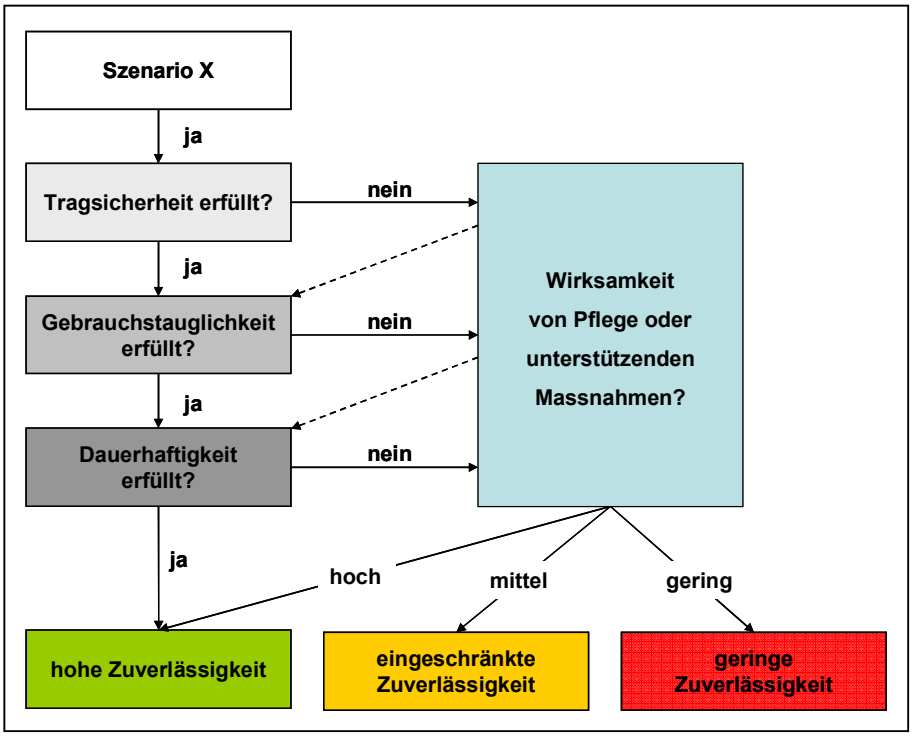


Abb. 6: Massnahmenbeurteilung: Die Massnahmenbeurteilung erfolgt anhand der Tragsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit. Sind diese erfüllt, besitzt der Schutzwald eine hohe Zuverlässigkeit. Ist einer dieser Faktoren nicht erfüllt, hängt die Zuverlässigkeit von der Wirksamkeit der Pflege oder unterstützenden Massnahmen ab.

Tragsicherheit

Die Tragsicherheit ist gewährleistet, wenn die Einwirkungen die Tragfähigkeit der Bestände nicht übersteigen. Folgende Kriterien werden zur Beurteilung der Tragsicherheit verwendet:

Tragsicherheit erfüllt?

- **Grundfläche**

→ kumulierte Grundflächen der Bestände
→ Gesteinsgrösse/-energie
→ Baumart

Die zu erwartenden Gesteinsenergien beschreiben die Einwirkungen. Sie sind im Wesentlichen von den Gesteinsgrössen und den Geländeverhältnissen abhängig. Das massgebende Kriterium zur Beurteilung der Tragfähigkeit eines Schutzwaldes in Bezug auf Steinschlag ist die kumulierte Bestandesgrundfläche. Diese Grösse widerspiegelt das Energievernichtungsvermögen der Schutzwaldbestände. Sie wird aus der Grundfläche der Bestände und der bewaldeten Transitstrecke entlang von Hangprofilen ermittelt. Dabei wird die Grundfläche pro Hektare durch 100 dividiert und mit der bewaldeten Transitstrecke multipliziert.

Angaben zur Tragfähigkeit von Steinschlagschutzwäldern in Abhängigkeit ihrer Bestandesgrundfläche sind Gegenstand von aktuellen Forschungsarbeiten. In der vorliegenden Arbeit werden auf der Grundlage der Wirkungsbeurteilung erste Vorschläge für die Einführung dieses Kriteriums gemacht:

kumulierte Bestandesgrundfläche:

- < 5, Tragsicherheit ungenügend
- 5 – 10, Tragsicherheit mässig, für Steine < 60 cm Tragsicherheit erfüllt
- 10 – 30, Tragsicherheit gut, auch für Steine > 60 cm Tragsicherheit erfüllt
- > 30, Tragsicherheit sehr gut

Gebrauchstauglichkeit

Die Gebrauchstauglichkeit beschreibt die Funktionstüchtigkeit eines Waldes in Bezug auf seine Schutzwirkung. Währenddem die Tragsicherheit anhand von einzelnen Profilen ermittelt wird, beschreibt die Gebrauchstauglichkeit auch die Situation zwischen den einzelnen Profilen. Dabei gilt es folgende Strukturanforderungen zu beachten:

Gebrauchstauglichkeit erfüllt?

- **Strukturanforderungen**

→ Länge bewaldete Transitstrecke
→ Lückengrösse nach NaiS
→ keine durchgehenden Runsen

Neben der Länge der bewaldeten Transitstrecke werden auch allfällige Lücken beurteilt. Besitzen durchgehende Öffnungen zwischen Ausbruchsgebiet und Schadenpotential wie Steinschlagrunsen, welche dauerhaft unbestockt sind, einen wesentlichen Einfluss auf die Gefährdung des Schadenpotentials, werden diese separat beurteilt (siehe Systemabgrenzung).

Dauerhaftigkeit

Die Anforderungen an die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit sollen permanent verfügbar sein. Entscheidend für die Dauerhaftigkeit sind der aktuelle Waldzustand und dessen Entwicklung in den nächsten 50 Jahren. Die Dauerhaftigkeit des Waldes wird anhand folgender Kriterien beurteilt:

Dauerhaftigkeit erfüllt?

- **Verjüngung**

→ Anforderungen an Verjüngung nach NaiS
→ Nachhaltigkeit des Bestandesaufbau
→ Gefährdungsbilder

Die Anforderungen nach NaiS an die Verjüngung müssen erfüllt sein. Zudem muss der Bestandesaufbau nachhaltig sein, um die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit nicht zu beeinträchtigen. In die Überlegungen zur zukünftigen Entwicklung sind neben walddynamischen Faktoren auch alle möglichen Gefährdungsbilder mit einzubeziehen. Sind Gefährdungsbilder ausserordentlich selten oder muss nur mit geringen Schäden gerechnet werden, kann anhand von Risikoüberlegungen die Gefahr als nicht relevant beurteilt werden.

Pflege und unterstützende Massnahmen

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 vielfach unerlässlich. Dadurch kann die Dauerhaftigkeit und die permanente Erfüllung der Schutzwirkung gewährleistet werden. Ist die natürliche Verjungung der Waldbestände nicht erfolgreich, kann mit Pflanzungen oder Wildschutzmassnahmen das Aufkommen der Verjüngung dennoch gesichert werden.

Wirksamkeit von Pflege oder unterstützenden Massnahmen?

- **Pflegeeingriffe**

→ Verbesserung der Dauerhaftigkeit

- **unterstützende Massnahmen**

→ Liegendes Holz, hohe Stöcke und Asthaufen können Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit erhöhen

Auch wenn die im Bestand verbleibenden Bäume auf Pflegeeingriffe mit einem gesteigerten Dickenwachstum reagieren, kann die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit zumindest kurz und mittelfristig nicht verbessert werden. Durch Baumentnahmen reduziert sich die Schutzwirkung gegenüber Steinschlag sogar. Auch längerfristig nimmt die Bestandesgrundfläche durch Pflegeeingriffe eher ab als zu. Die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit von Steinschlagschutzwäldern lässt sich folglich nur mithilfe von unterstützenden Massnahmen verbessern.

Nicht jede Massnahme ist in gleichem Masse wirksam. Zum Beispiel können Verjüngungsmassnahmen in unteren Lagen innerhalb kurzer Zeit zu stabilen Aufwüchsen führen, während Verjüngungsmassnahmen bei hohem Wilddruck nur eine geringe Wirkung haben. Die Beurteilung der Zuverlässigkeit der Schutzwälder erfolgt deshalb in Abhängigkeit der prognostizierten Wirkung der Massnahmen.

4.2 Massnahmenbeurteilung Fallbeispiel „Gruobenwald“

Systemabgrenzung

Im Gruobenwald sind im oberen Bereich einzelne unbestockte Runsen vorhanden. Neben Steinschlag ist in solchen Runsen mit Schneegleiten und regelmässigen kleinen Schneerutschen zu rechnen. Diese verhindern dauerhaft das Aufkommen der Verjüngung. Die Runsen sind jedoch schmal und nicht bis zum Schadenpotential durchgehend. Unterhalb der Runsen befindet sich noch eine bewaldete Transitstrecke von mindestens 75 m. Der Einfluss der Runsen auf die Gefährdung des Schadenpotentials wird als gering eingeschätzt. Deshalb wird bei der Massnahmenbeurteilung auf eine separate Beurteilung der Problembereiche „Runsen“ verzichtet. Aufschluss über deren Einfluss liefert die Wirkungsbeurteilung. Diese bildet auch die Grundlage für eine allfällige Massnahmenplanung.

Gefährdungsbilder

Beim vorliegenden Fallbeispiel konzentrieren sich die Gefährdungsbilder auf den Steinschlagprozess. Das Prättigau ist gegenüber Sturm und Waldbrand nur sehr schwach exponiert. Waldbrände sind aufgrund des feuchten Klimas im Prättigau äussert selten. Auch gegenüber Stürmen ist das Tal gut abgeschirmt. In den buchenreichen Beständen des Gruobenwaldes können sich Lawinen lösen und durch den Wald fliessen. Diese Waldlawinen verursachen jedoch meist nur geringe Waldschäden. Die Schutzfunktion gegenüber Steinschlag wird folglich auch durch Lawinen nicht beeinträchtigt. Die untypischen Gefährdungsbilder sind für den Gruobenwald somit als nicht relevant einzustufen.

Tragsicherheit

Der Nachweis der Tragsicherheit basiert auf den Grundflächen der Bestände. Entlang von Hangprofilen werden die bewaldete Transitstrecke und die kumulierte Bestandesgrundfläche ermittelt. Abbildung 7 enthält diese Angaben für den Waldzustand nach Pflege. Die meisten Hangprofile weisen eine sehr gute Tragsicherheit auf, ausgenommen sind die Profilen 5 und 9. Diese Profile befinden sich entlang von unbestockten Runsen, weshalb sie eine kurze bewaldete Transitstrecke und eine geringere kumulierte Bestandesgrundfläche aufweisen. Profil 5 hat mit einer kumulierten Grundfläche von 20 noch eine gute Tragsicherheit, während Profil 9 mit einer kumulierten Grundfläche von 6 eine mässige Tragsicherheit aufweist. Die Tragsicherheit ist folglich nur für Steine mit einem Durchmesser bis 60 cm erfüllt. Die Tragsicherheit ist für das seltene bis sehr seltene Szenario nicht erfüllt. Dieses Profil repräsentiert jedoch nur eine sehr kleine Fläche des Gruobenwaldes. Die Runse ist nur von geringer Breite und erhöht das Risiko nur geringfügig. Die Tragsicherheit des Gruobenwaldes als Ganzes kann dennoch für alle Szenarien als erfüllt betrachtet werden.

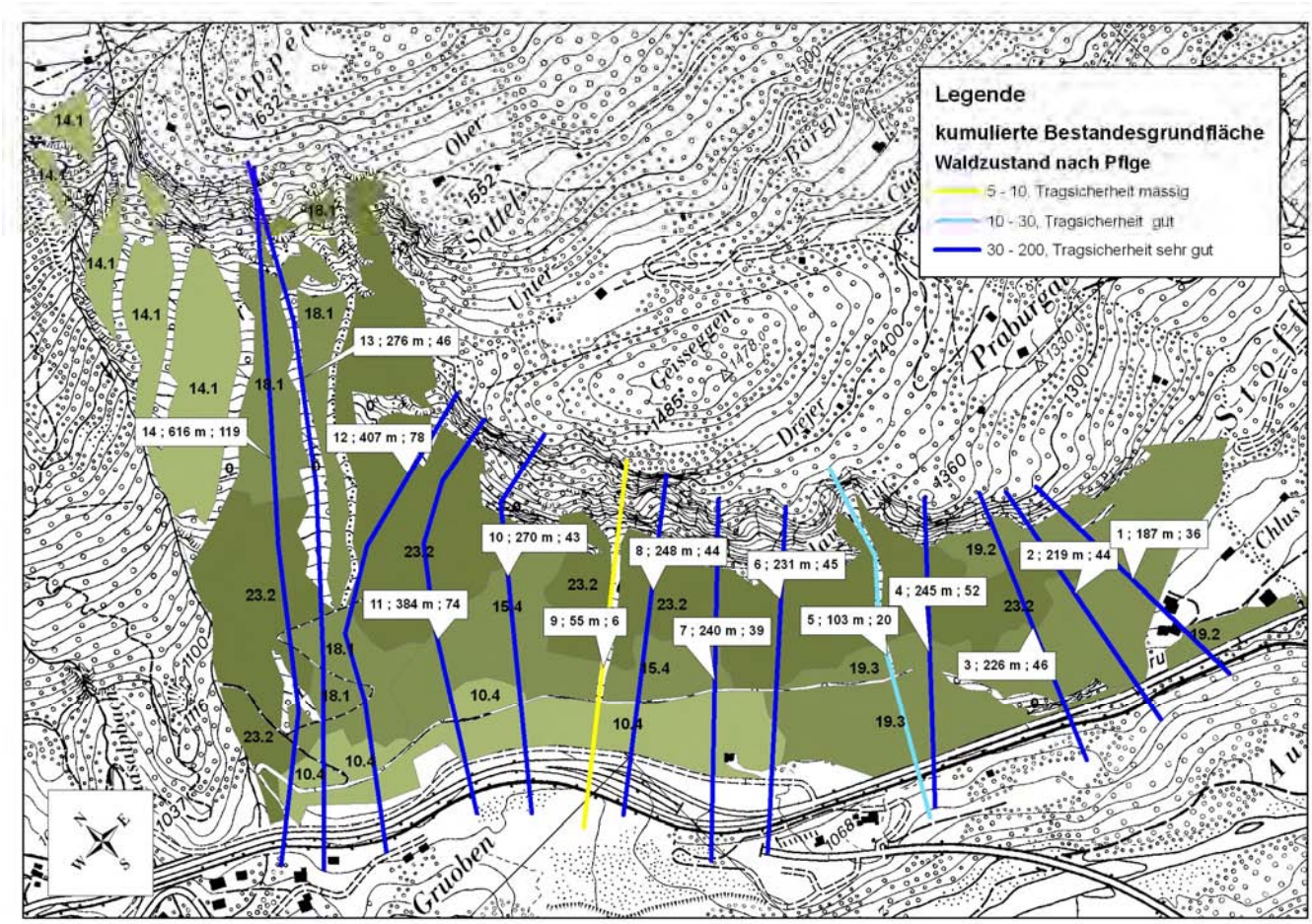


Abb. 7: Nachweis der Tragsicherheit: Auf Basis der Grundflächen der Bestände (schwarze Zahlen) wird entlang von Profilen die kumulierte Bestandesgrundfläche ermittelt. Angaben in den weissen Kästchen: Profilnummer, bewaldete Transitstrecke, kumulierte Bestandesgrundfläche.

Gebrauchstauglichkeit

Im vorliegenden Beispiel wurden bei der Tragsicherheit zahlreiche Hangprofile analysiert, welche auch die im Wald bestehenden Runsen abdecken. Weitere Lücken und Blössen sind im Wald nicht vorhanden. Die minimalen Anforderungen bezüglich des Standortstyps an Mischung, Gefüge und Stabilitätsträger nach NaiS sind minimal erfüllt, weshalb auch die Gebrauchstauglichkeit als erfüllt zu betrachten ist.

Dauerhaftigkeit

Ohne waldbauliche Massnahmen dürften die Stammzahlen und die Durchmesserstreuung zukünftig sinken. Stellenweise muss sogar mit einem Zusammenbrechen der überalterten Bestände gerechnet werden. Die Erfüllung der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit sind folglich mittel- bis langfristig in Frage gestellt.

Die Anforderungen an die Verjüngung kann in keiner Weise erfüllt werden. Grösstenteils ist gar keine Verjüngung vorhanden. Im Gruobenwald ist auch nach Ausführung der Schutzwaldpflegemassnahmen mit Verjüngungsproblemen wegen Wildverbiss zu rechnen. Auf der Grundlage eines Wald-Wild-Konzeptes müssen deshalb Massnahmen zur Verbesserung der Verjüngungssituation getroffen werden. Geplant ist die Pflanzung von Tannen und Fichten innerhalb von kleinen Wildschutzzäunen. Das Aufkommen der Verjüngung muss innerhalb und ausserhalb der Zäune laufend kontrolliert, die Wirksamkeit der Massnahmen analysiert und bei Bedarf müssen zusätzliche Massnahmen getroffen werden.

Für die Aufrechterhaltung der Tragsicherheit und der Gebrauchstauglichkeit sind, zumindest stellenweise, zusätzliche Massnahmen notwendig. Liegendes Holz soll in Bestandeslücken die Wirkung gegenüber Steinschlag verbessern. Auch wenn die Wüchsigkeit des Standortes gut ist, dauert es sehr lange bis die in den Bestandeslücken aufkommenden Jungbäume in der Lage sind, wirksam vor Steinschlag zu schützen. Da liegendes Holz relativ schnell vermodert, muss fortwährend für Ersatz gesorgt werden.

Da die Dauerhaftigkeit der Schutzwirkung nicht erfüllt ist, muss die Wirksamkeit der Massnahmen beurteilt werden. Der Aufwand für die Pflege und die unterstützenden Massnahmen ist gross. Die Massnahmen müssen zudem über längere Zeit aufrecht erhalten und allenfalls angepasst werden. Die Wirksamkeit der Massnahmen wird als mittel eingestuft.

Abschliessende Beurteilung

Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sind erfüllt, die Dauerhaftigkeit jedoch nicht. Die Wirkung von Pflege und unterstützende Massnahmen wird als mittel beurteilt. Gemäss dem Vorgehen zur Massnahmenbeurteilung (Abb. 6) resultiert eine eingeschränkte Zuverlässigkeit und dies nur, wenn die Verjüngungsmassnahmen tatsächlich erfolgreich sind.

5 Wirkungsbeurteilung

Modellierung Steinschlag

Die Wirkung der Schutzwälder wird anhand von Steinschlagmodellierungen mit Rockyfor 3D (Dorren 2011) analysiert. Rockyfor 3D ist ein probabilistisches, prozessbasiertes, räumliches Simulationsmodell und basiert auf räumlichen Rastern. Räumliche Strukturen wie Blössen oder Runsen können genauso explizit und realistisch modelliert werden wie Baumkontakte.

Waldbestand

Auf der Grundlage der Bestandeskarte werden für jeden Bestand mittlere Durchmesser, Stammzahl pro Hektar und deren Standardabweichung ermittelt und daraus eine Baumliste, welche Koordinaten und Durchmesser enthält, generiert. Alle Modellierungen werden mit derselben Baumliste durchgeführt. Für die Simulation eines Pflegeeingriffs werden aus der Baumliste Bäume gestrichen. Dies erfolgt im GIS, wobei Seillinien realitätsnah nachgestellt werden können.

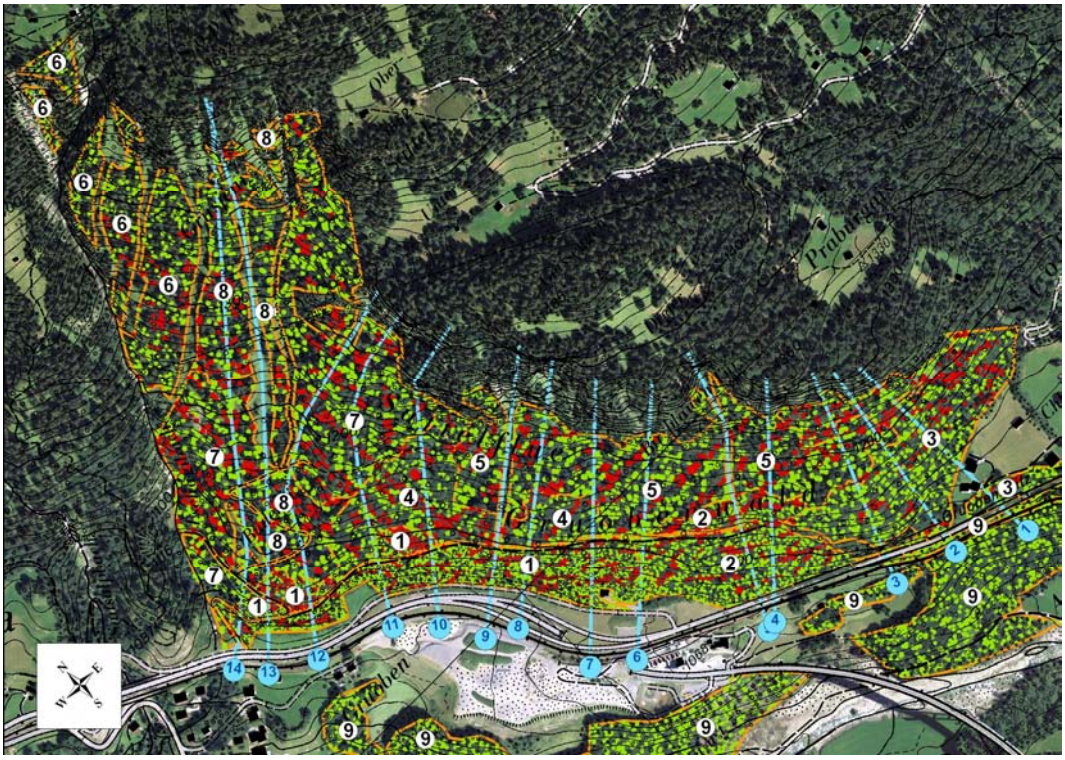


Abb. 8: Waldbestand: Bei der Steinschlagmodellierung berücksichtige Waldbestände, Pflegeeingriffe und Hangprofile. Grün: verbleibender Bestand, rot: ausscheidender Bestand, orange: Bestandesgrenzen mit Bestandesnummern (weiss), hellblau: Hangprofile mit Nummer (blau).

Tab. 2: Waldbestände: Waldzustand und simulierter Pflegeeingriff. Um ein Überschätzen der Waldwirkung zu verhindern, wurden eher konservative Annahmen getroffen.

Nr.	Entwicklungsstufe	Schlussgrad	BHD	Ausgangsbestand			verbleibender Bestand			Eingriffsstärke
				Stz/ha	G/ha	Vorrat/ha	Stz/ha	G/ha	Vorrat/ha	
1	Stangenholz	gedrängt	16	781	16.0	182	516	10.6	124	32.0%
2	Schwaches Baumholz	gedrängt	30	393	27.9	323	273	19.4	225	30.4%
3	Mittleres Baumholz	gedrängt	44	177	27.4	327	126	19.5	235	28.3%
4	Mittleres Baumholz	normal bis locker	44	159	23.9	288	101	15.2	183	36.4%
5	Starkes Baumholz	normal bis locker	60	119	33.6	408	82	23.0	281	30.9%
6	Mittleres Baumholz	lückig bis aufgelöst	44	115	17.4	208	93	14.0	168	19.3%
7	Starkes Baumholz	normal bis locker	60	117	32.8	398	79	22.0	268	32.5%
8	Starkes Baumholz	lückig bis aufgelöst	60	98	27.7	332	64	18.2	218	34.2%
9	Mittleres Baumholz	normal bis locker	44	158	24.0	287	158	24.0	287	0.0%

Simulationen

Um Aussagen über die Wirkung des Waldes machen zu können werden folgende Walzustände miteinander verglichen:

- ohne Wald
- Waldzustand heute
- Waldzustand nach starkem Pflegeeingriff

Analysiert wird die Waldwirkung anhand von drei Szenarien (siehe Kap. 2.1). Die Szenarien besitzen verschiedene Jährlichkeiten und Blockgrössen:

- sehr häufig (0- bis10-jährlich): Blockgrösse 0,4 m (0.05 m^3)
- häufig (10- bis 30-jährlich): Bockgrösse 0,6 m (0.2m^3)
- selten bis sehr selten (30- bis 300-jährlich): Bockgrösse 1,3 m (2 m^3)

Im Gesamten wurden folglich neun Berechnungen mit Rockyfor 3D durchgeführt. Gerechnet wurde auf der Basis von Rastern mit einer Rasterweite von 2 m. Pro Startzelle wurden 20 Ausbrüche simuliert. Daraus resultierten pro Berechnungsdurchgang rund 375'000 simulierte Steine. Die grosse Anzahl an Steinen und das feinmaschige Raster garantieren hochauflösende Resultate, welche auch Aussagen zu Wahrscheinlichkeiten zulassen.

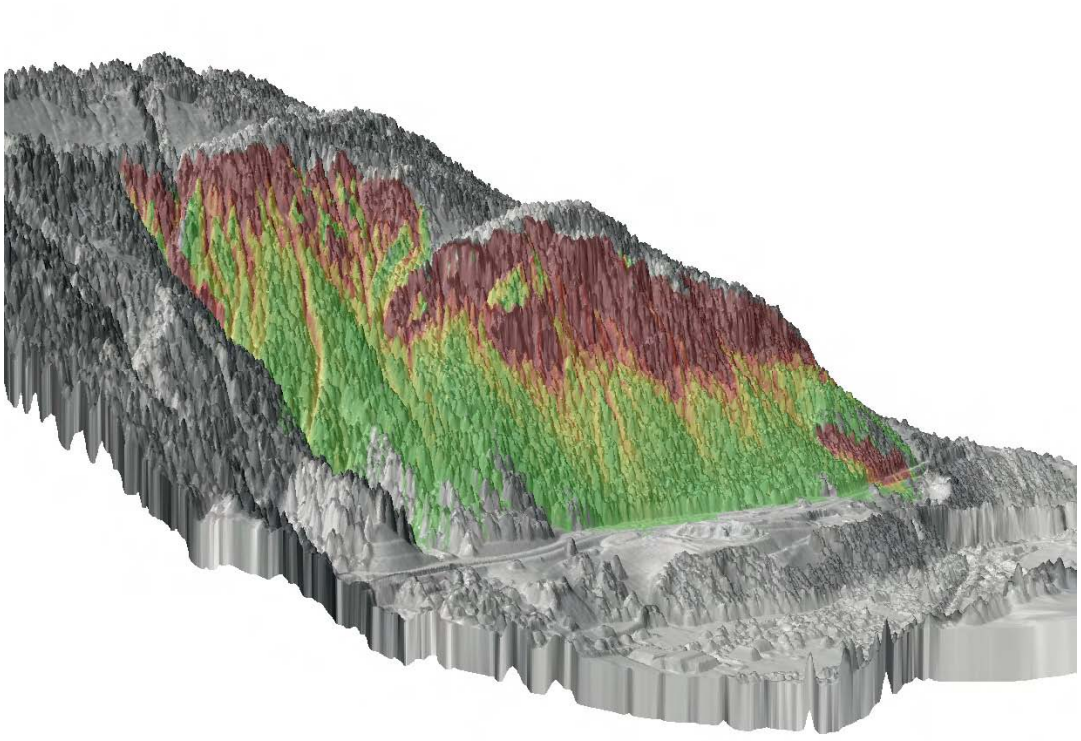


Abb. 9: Modellierung mit Rockyfor 3D: Ergebnisse einer Steinschlagsimulation berechnet mit digitalem Terrainmodell, hier dargestellt auf dem Oberflächenmodell. Rot: hohe Wahrscheinlichkeit für Steinschlag (Ausbruchgebiete), grün: geringe Wahrscheinlichkeit von Steinschlag.

5.1 Resultate

Ergebnisse

Alle Ergebnisse sind im Anhang A detailliert aufgeführt. An dieser Stelle werden kurz die wichtigsten Resultate zusammengefasst und dargestellt.

Pauschalgefälle

Das Pauschalgefälle bezeichnet den Winkel zwischen Ausbruchs- und Ablagerungsstelle. Im Mittel ist das Pauschalgefälle mit Wald wesentlich steiler als ohne Wald. Dies bedeutet, dass die durchschnittlichen Auslaufstrecken mit Wald kürzer sind als ohne. Ein weiterer Einflussfaktor ist die Blockgrösse. Je grösser die Steine, desto flacher das Pauschalgefälle. In der folgenden Abbildung 10 sind die Mittelwerte der Pauschalgefälle aller modellierten Szenarien ersichtlich. Sie befinden sich alle in einem Bereich zwischen 40° und 33°. Es gilt jedoch zu beachten, dass die einzelnen Werte der Szenarien eine starke Streuung besitzen.

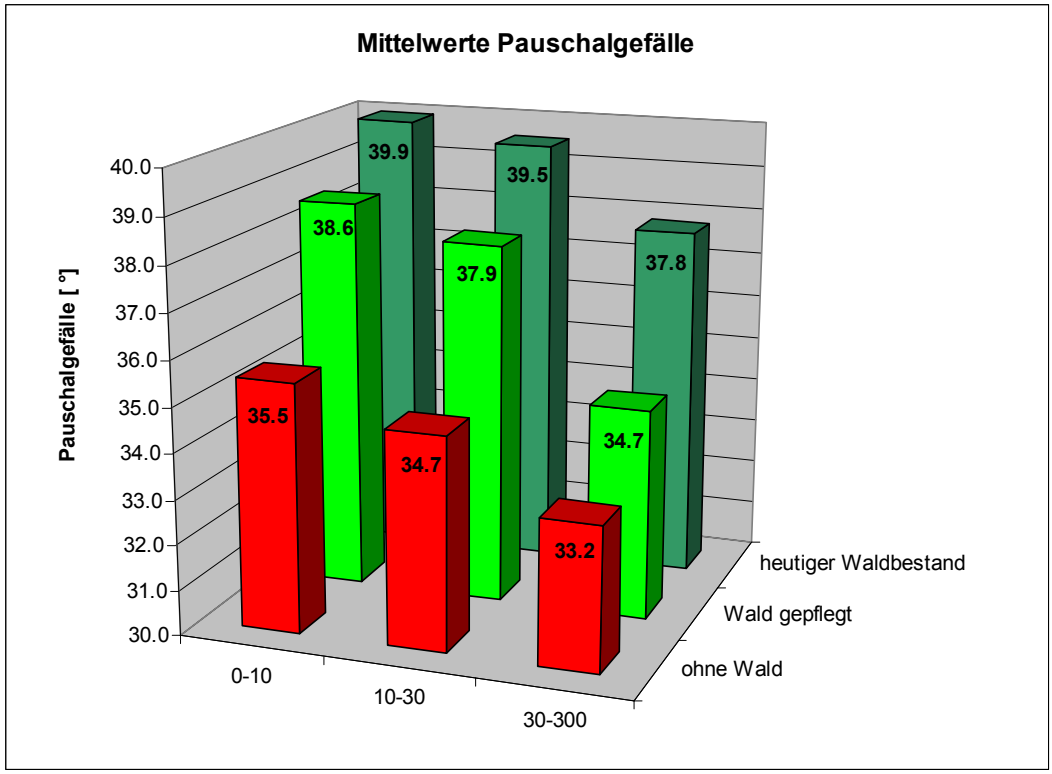


Abb. 10: Pauschalgefälle: Mittelwerte der Pauschalgefälle aller Szenarien. Das Pauschalgefälle bezeichnet den Winkel zwischen Ausbruchs- und Ablagerungsstelle.

Energie

Die maximalen kinetischen Energien variieren stark mit der Blockgrösse, nicht aber mit dem Waldzustand (siehe Kap. 5.2: Analyse der Waldwirkung). 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.

Durchgangsfrequenzen

Die Anzahl der modellierten Blockdurchgänge charakterisieren die Durchgangsfrequenz. Diese kann unter Berücksichtigung der Anzahl Ursprungsorte (Ausbruchsstellen) auch als Wahrscheinlichkeit ausgedrückt werden. Die Abbildung 11 zeigt die Wahrscheinlichkeit von Steinschlag für häufige Ereignisse ohne Wald. Erkennbar ist die erhöhte Steinschlagexposition aufgrund des Reliefs.

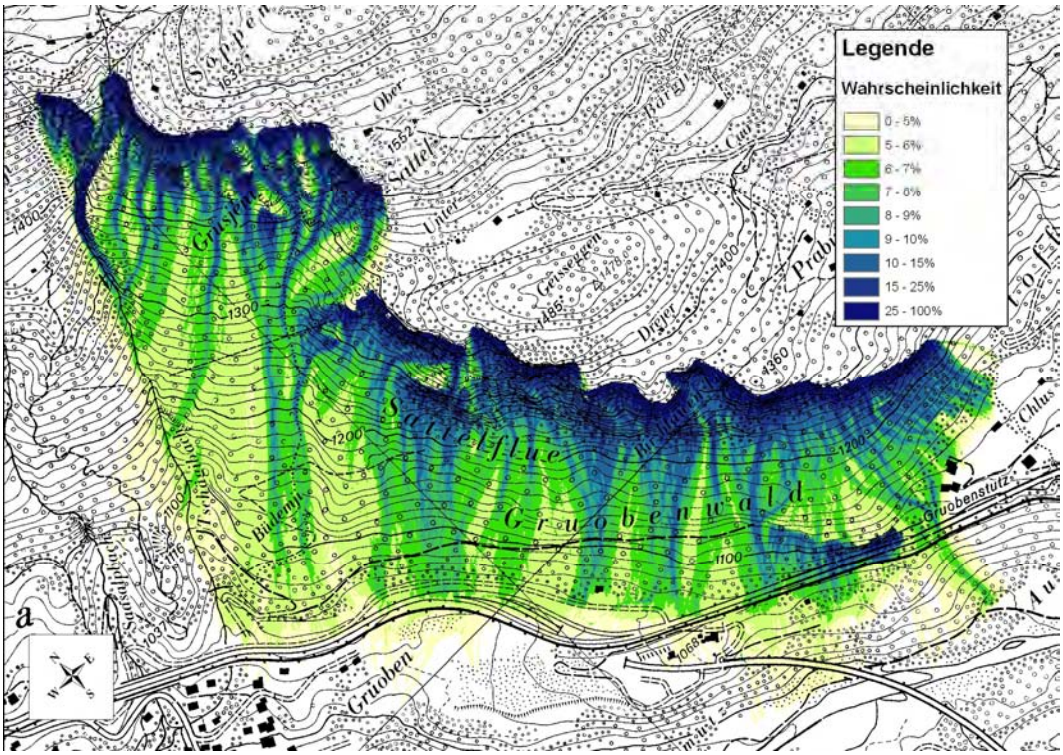


Abb. 11: Steinschlagaktivität: Modellierte Wahrscheinlichkeit von Steinschlag für das häufige Szenario ohne Wald. Je dunkler die Farben desto wahrscheinlicher ist das Auftreten von Steinschlag.

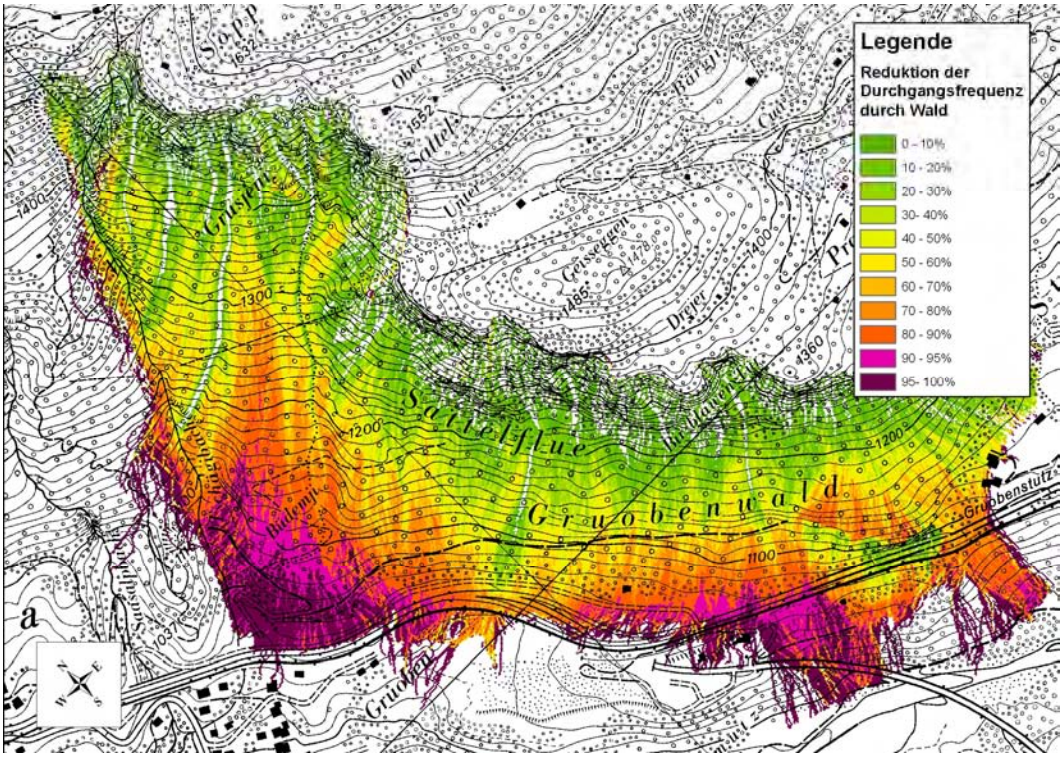


Abb. 12: Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald: Reduktion der Durchgangsfrequenz durch „gepflegten Wald“ in Prozent zur Durchgangsfrequenz „ohne Wald“ für das häufige Szenario.

Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald

Der Wald hält Steine zurück und reduziert so die Anzahl der Steindurchgänge. Im Vergleich der modellierten Durchgangsfrequenz der bewaldeten mit den unbewaldeten Szenarien wird der Einfluss des Waldes deutlich. In Abbildung 12 ist die Reduktion der Durchgangsfrequenz des häufigen Szenarios durch Wald nach ausgeführter Pflege im Verhältnis zum entsprechenden Szenario ohne Wald dargestellt. Deutlich erkennbar sind die unbewaldeten Runsen, welche keinen Einfluss auf die Reduktion der Steinschlagaktivität haben.

5.2 Analyse der Waldwirkung

Hangprofile

Die Wirkung des Waldes wird im Untersuchungsgebiet anhand von 14 Hangprofilen analysiert (siehe Abb. 8). Neben der Wirkung des Waldes auf die Reduktion der Durchgangsfrequenz wird die Reduktion der maximalen Energien und Sprunghöhen unter die Lupe genommen. Dabei wurden die Ergebnisse modelliert „mit Wald“ in Relation zu den Ergebnissen „ohne Wald“ gesetzt.

Energie und Sprunghöhe

Die maximalen Werte für die Energie und Sprunghöhe werden durch Wald nur schwach beeinflusst. Ebenso reduziert sich die maximale Auslaufdistanz der Steine durch die Waldbestockung nur geringfügig. Abbildung 13 zeigt die modellierten Energien und Sprunghöhen mit und ohne Wald.

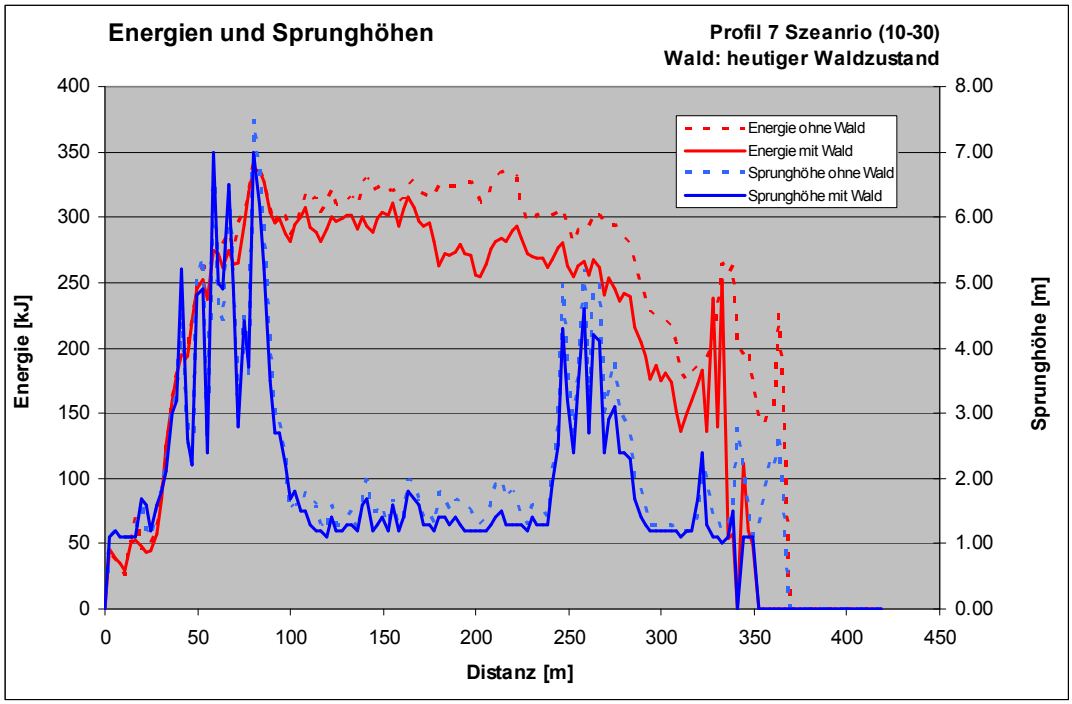


Abb. 13: Reduktion der Energie und Sprunghöhen durch Wald: Die maximalen Werte (95% Quantil) für die kinetische Energie und die Sprunghöhe werden durch Wald nur geringfügig reduziert. Bewaldet ist der Abschnitt zwischen 75 m und 315 m.

Durchgangsfrequenz

Die folgende Abbildung 14 zeigt die Anzahl der modellierten Sturzkörper entlang eines typischen Hangprofils. Im Waldbereich, zwischen 75 m und 315 m werden Steine abgelagert. Dadurch reduziert sich die Durchgangsfrequenz mit zunehmender Strecke. Die maximale Auslaufstrecke der Steine wird hingegen nur sehr geringfügig verkürzt.

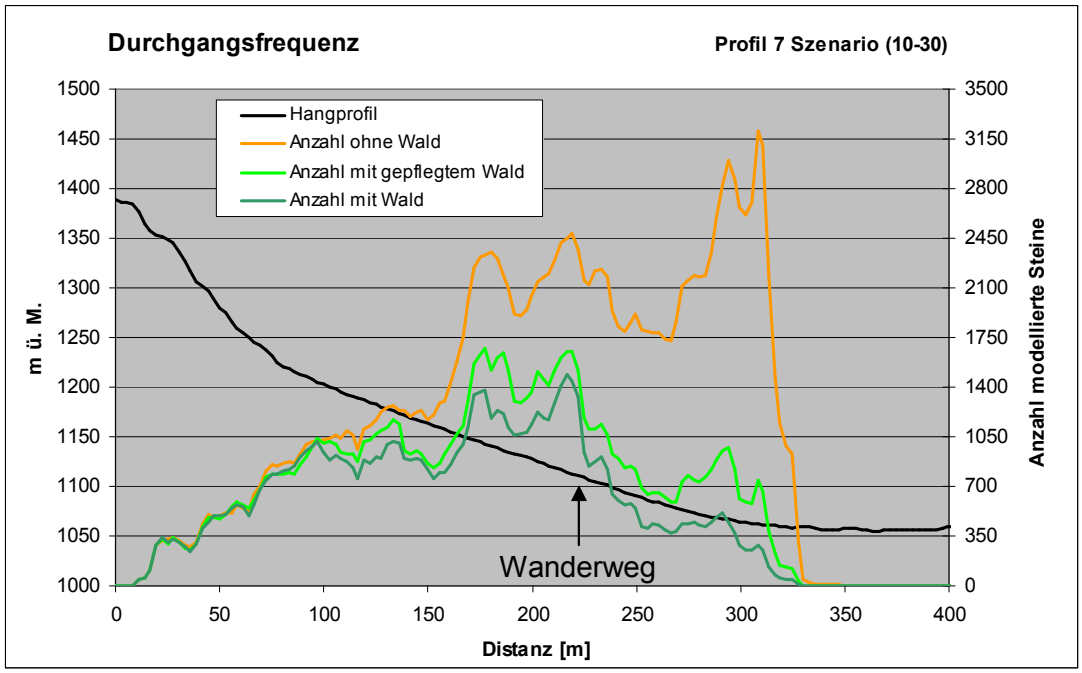


Abb. 14: Durchgangsfrequenzen: Bewaldet ist der Abschnitt zwischen 75 m und 315 m. Durch Wald wird die Durchgangsfrequenz stark reduziert. Wie im Feld zu beobachten, werden auch im Modell viele Steine auf dem Wanderweg abgelagert. (Das Profil befindet sich in einer Mulde, deshalb nimmt die Anzahl der modellierten Steine auch unterhalb der Ausbruchsgebiete zu. Die räumliche Modellierung berücksichtigt auch Steine, welche seitlich in die Mulde stürzen).

Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald

Die Differenz zwischen den bewaldeten und unbewaldeten Durchgangsfrequenzen beziffert die durch den Wald zurückgehaltenen Steine. Diese Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald wird in Prozent zur modellierten Durchgangsfrequenz ohne Wald ausgedrückt. Abbildung 15 zeigt die Waldwirkung, des heutigen Waldes und nach Pflegeeingriffen, auf die Reduktion der Durchgangsfrequenz. Bereits bis zum Wanderweg, nach einer bewaldeten Transitstrecke von rund 150 m, wird durch Wald rund die Hälfte der Steine zurückgehalten. Auf dem Wanderweg lagern sich Steine ab. Mit Wald tritt dieser Effekt verstärkt in Erscheinung. Durch Wald werden die Geschwindigkeiten und die Sprunghöhen vieler Steine reduziert. Dadurch tritt die Wirkung natürlicher Hindernisse verstärkt in Erscheinung.

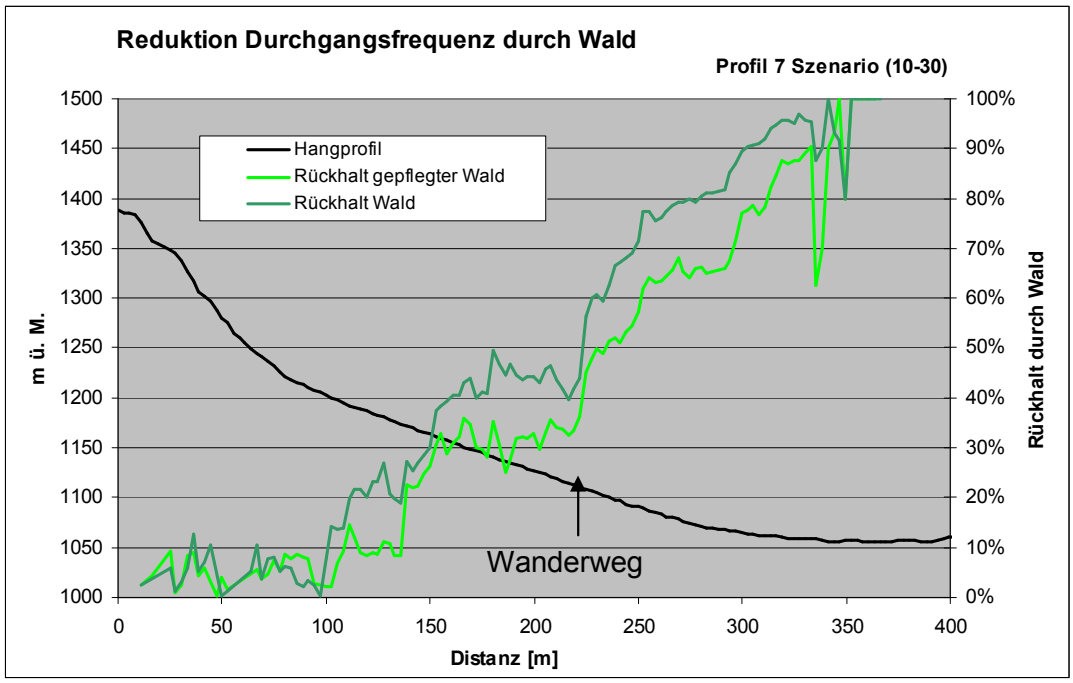


Abb. 15: Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald: Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald in Prozent zur Durchgangsfrequenz ohne Wald. Bewaldet ist der Abschnitt zwischen 75 m und 320 m.

Einfluss Waldzustand

Um den Einfluss der Bestockung auf die Reduktion der Durchgangsfrequenz zu analysieren, wurden die Ergebnisse den entsprechenden Waldzuständen zugeordnet. Analysiert wurde der prozentuale Rückhalt von Steinen pro Laufmeter Wald. In der Tabelle 3 sind die Werte pro Bestand zusammengefasst.

Tab. 3: Waldzustand und Waldwirkung: Die Waldwirkung auf die Reduktion der Durchgangsfrequenz wird angegeben in Prozent pro Laufmeter. Ein Wert von 0,5% bedeutet, dass bei einer Transitstrecke von 100 m (horizontal) die Hälfte der Steine zurückgehalten wird.

Nr.	Entwicklungsstufe	Schlussgrad	Neigung [°]	heutiger Waldzustand			Waldzustand nach Pflege		
				0-10	10-30	100-300	0-10	10-30	100-300
1	Stangenholz	gedrängt	33.7	0.49%	0.54%	0.37%	0.53%	0.55%	0.24%
2	Schwaches Baumholz	gedrängt	33.1	0.70%	0.81%	0.25%	0.55%	0.80%	0.22%
3	Mittleres Baumholz	gedrängt	30.7	0.89%	0.71%	0.40%	0.65%	0.84%	0.37%
4	Mittleres Baumholz	normal bis locker	38.8	0.36%	0.28%	0.00%	0.31%	0.18%	0.03%
5	Starkes Baumholz	normal bis locker	36.5	0.66%	0.51%	0.31%	0.53%	0.31%	0.19%
7	Starkes Baumholz	normal bis locker	37.4	0.53%	0.54%	0.41%	0.43%	0.46%	0.33%
8	Starkes Baumholz	lückig bis aufgelöst	28.3	0.21%	0.23%	0.28%	0.22%	0.22%	0.20%
Mittelwert			**34.1**	**0.55%**	**0.52%**	**0.29%**	**0.46%**	**0.48%**	**0.22%**

Neben dem Waldbestand und dem Szenario besitzt die Hangneigung einen grossen Einfluss auf die Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald. Je steiler, desto geringer ist der Rückhalt an Steinen durch Wald. Die Bestandesdichte spielt vor allem bei häufigen Szenarien mit kleineren Sturzkörpern einen grossen Einfluss. Dies widerspiegelt sich bei den Unterschieden zwischen dem heutigen Waldzustand und dem gepflegten Waldzustand, aber auch beim Bestand Nr. 8, welcher aufgrund von geringen Stammzahlen nur eine geringe Reduktion der Durchgangsfrequenz bewirkt. Aufgrund der wenigen Daten ist eine statistische Auswertung aller Einflussfaktoren nicht möglich.

Zusammenhang zwischen kumulierter Grundfläche und Reduktion der Durchgangsfrequenz

Entlang der Hangprofile wurde zwischen Ausbruchsgebiet und unterem Waldrand die kumulierte Grundfläche und beim unteren Waldrand die Reduktion der Durchgangsfrequenz bestimmt. Abbildung 16 zeigt den positiven Zusammenhang zwischen der Reduktion der Durchgangsfrequenz und der kumulierten Grundfläche. Je grösser die modellierten Steine, desto geringer ist der Waldeinfluss auf die Reduktion der Durchgangsfrequenz.

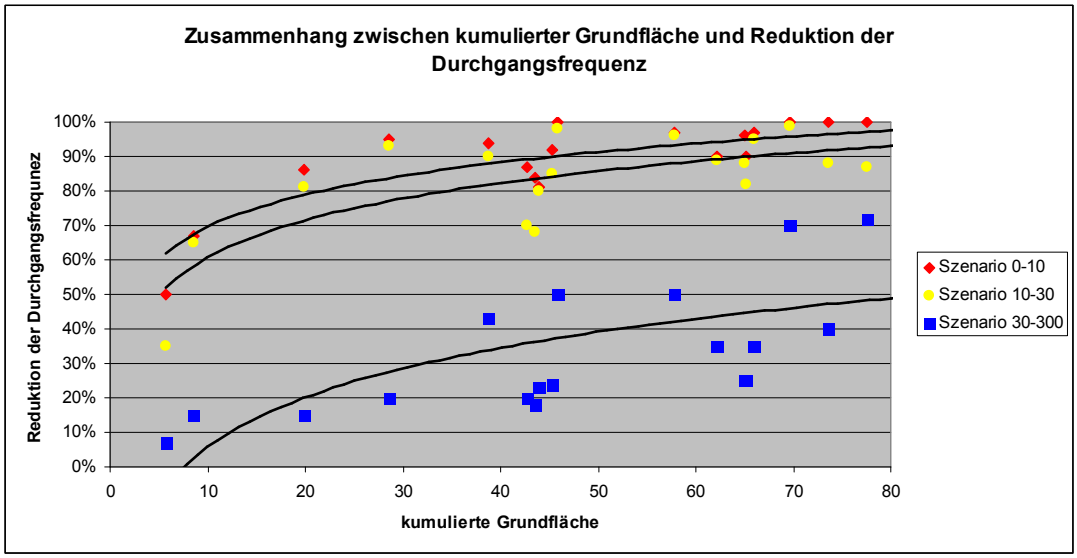


Abb. 16: Zusammenhang zwischen kumulierter Grundfläche und Reduktion der Durchgangsfrequenz: Die Wirkung des Waldes nimmt mit der kumulierten Grundfläche zu. Je grösser die modellierten Steine, desto geringer der Waldeinfluss auf die Reduktion der Durchgangsfrequenz.

6 Risikoanalyse

Ziel und Vorgehen

Ziel der Risikoanalyse ist die Bewertung der Wirkung des Schutzwaldes in Bezug auf Steinschlag. Eine exakte Erfassung der Risikosituation innerhalb des Untersuchungsgebiets ist nicht gefordert, weshalb Teile des Schadenpotentials und gewisse Risikosituationen unberücksichtigt bleiben. Berücksichtigt werden nur Personenschäden in Fahrzeugen auf der National- und Kantonsstrasse durch Direkttreffer bei normaler Verkehrslage. Allfällige Sperrungen, Stausituationen, Auffahrunfälle, Sachschäden und weitere Schadensbilder werden nicht berücksichtigt.

Grundlagen

Die Risikoanalyse basiert auf dem Leitfaden Risikokonzept für Naturgefahren (RIKO). Grundlage für die Risikoberechnung sind die Intensitätskarten (Anhang B). Um die Wirkung des Waldes angemessen zu berücksichtigen, musste die Risikoberechnung leicht angepasst werden. Die Reduktion der Steinschlagaktivität durch Wald wird bei der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit mitberücksichtigt.

Risiko

Das Risiko pro Szenario R_j setzt sich aus der Häufigkeit p_j eines gefährlichen Szenarios *j* und dem wahrscheinlichen Schadenausmass A_j zusammen. Das Gesamtrisiko ergibt sich aus der Summe der einzelnen Risiken und bezeichnet die Möglichkeit, dass ein Schaden eintreten kann.

$$R = \sum_j R_j = \sum_j p_j \cdot A_j \qquad (1)$$

Häufigkeit Szenario p_j

Die Häufigkeit des Szenario p_j wird angenähert als Differenz der Überschreitenswahrscheinlichkeit zweier benachbarten Szenarien.

$$p_j = P_j - P_{j+1} \qquad (2)$$

Schadensausmass A_j

Das Schadensausmass pro Szenario A_j besteht aus der monetarisierten Summe der Schadensausmasse unterschiedlicher Expositionssituationen *k* von Personen in Fahrzeugen entlang von Strassen durch Direkttreffer $Aw(PS)_{j,k.}$

$$A_j = 5 \cdot 10^6 \cdot \sum_k Aw(PS)_{j,k} \quad \text{[CHF]} \qquad (3)$$

Schadensausmass Personen in Fahrzeugen „Direkttreffer“ $Aw(PS)_{j,k}$

Die Anzahl sich im Prozessraum aufhaltender Fahrzeuge richtet sich nach der durchschnittlichen täglichen Verkehrsfrequenz *DTV* [Fahrzeuge/Tag], der Geschwindigkeit der Fahrzeuge *v* [km/h] und der Länge des gefährdeten Streckenabschnitts *g* [m]. 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 Besetzungsgrad der Fahrzeuge *β* und des Letalitätsfaktors *λ*, welcher von der Prozessintensität abhängt, berechnet.

$$Aw(PS)_{j,k} = p(rA)_j \cdot \frac{DTV_k \times g_j}{v \times 24'000} \lambda_j \cdot \beta_k \qquad (4)$$

räumliche Auftretens Wahrscheinlichkeit p_{rA}

Unter der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit *p(rA)* versteht man allgemein die Wahrscheinlichkeit, dass ein bestimmter Punkt im Beurteilungsperimeter bei Eintritt eines Gefahrenprozesses erreicht wird. Beim Steinschlagprozess berechnet sich die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit *p(rA)* aus der Anzahl das Schadenpotential treffender Steine *n(St)*, deren Durchmesser *d(St)* und der Breite des Prozessraumes *b(Pr)*.

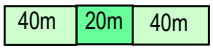
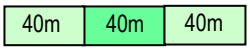
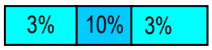
$$p(rA)_j = n(St)_j \times \frac{d(St)_j}{b(Pr)_j} \qquad (5)$$

Die modellierte Durchgangswahrscheinlichkeit *p(Modell)* ist proportional zur räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit *p(rA)*. Ist die modellierte Durchgangswahrscheinlichkeit *p(Modell)* mit Wald doppelt so hoch wie ohne Wald, dann ist der Wald in der Lage die Hälfte der Stein zurückzuhalten. Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit *p(rA)* und das Risiko verdoppeln sich folglich ohne Wald. Anhand bekannter Ereignisse wird die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit *p(rA)* berechnet und der modellierten Durchgangswahrscheinlichkeiten *p(Modell)* gegenübergestellt werden. Daraus lässt sich der Umrechnungsfaktor *f* bestimmen, welcher zur Berechnung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit *p(rA)* anderer modellierten Waldzustände und Szenarien mit derselben Blockgrösse dient.

$$f_j = \frac{p(rA)_j}{p(Modell)_j} \qquad (6)$$

Da für die Risikoberechnung die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit pro Intensitätsstufe bestimmt werden muss, ist die Herleitung nicht ganz trivial. Ein kleines Beispiel soll Aufschluss geben.

Tab. 4: Berechnungsbeispiel räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit: Von einem bekannten Ereignis (mit Wald) wird die mittlere räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit *p(mrA)* bestimmt. Aus welchem sich durch Division mit dem Mittelwert der modellierten Durchgangswahrscheinlichkeiten *p(mModell)* der Umrechnungsfaktor *f* bestimmt werden kann. Dieser dient zur Umrechnung der modellierten Wahrscheinlichkeiten *p(Modell)* in die räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeiten *p(rA)*.

	Situation mit Wald	**Situation ohne Wald**
Gesteinsdurchmesser ***d(St)***	0.5 m	0.5 m
Breite Prozessraum ***b(Pr)***	100 m	120 m
Anzahl Steine pro Ereignis und Szenario	**1** (aus Ereigniskataster)	
Mittlere räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit ***p(mrA)***	1*0.5/100 **=0.005**	
Strassenabschnitt Intensitätskarte (hellgrün: mittlere Intensität, dunkelgrün: starke Intensität)		
Modellierte Durchgangswahrscheinlichkeiten ***p(Model)*** und deren Mittelwert ***p(mModell)***	 Mittelwert = ((80m*3%)+(20m*10%))/100 **=4,4%**	
Umrechnungsfaktor ***f*** f=p(rA)/p(Modell)	0.005/4,4% **=0.1136**	
räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit starke Intensität ***p(rA)stark*** (p(rA)=f*p(Model))	0.1136*10% **=0.01136**	0.1136*20% **=0.02272**
räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit mittlere Intensität ***p(rA)mittel*** (p(rA)=f*p(Model))	0.1136*3% **=0.00341**	0.1136*10% **=0.01136**

6.1 Ergebnisse Risikoanalyse

Risiko

Bei einem seltenen bis sehr seltenen Ereignis sind ohne schützenden Wald 650 m der National- und 730 m der Kantonsstrasse steinschlaggefährdet. Risikorelevant sind jedoch die häufigeren Ereignisse. Diese betreffen zwar nur ein Teil der gefährdeten Streckenabschnitte, besitzen jedoch weit das grössere jährliche Risiko als die seltenen bis sehr seltenen Ereignisse. Ohne Wald beträgt das Steinschlagrisiko von Personenschäden in Fahrzeugen durch Steinschlagtreffer pro Jahr rund Fr. 55'000.-. Mit dem heutigen Schutzwald beträgt das Risiko aktuell lediglich rund Fr. 5'000.- pro Jahr. Durch die geplanten Schutzwaldpflegemassnahmen reduziert sich die Schutzwirkung des Waldes und das Risiko steigt auf rund Fr. 11'500.- pro Jahr an. Die folgende Tabelle 5 verschafft einen Überblick über die Resultate der Risikoberechnung, welche im Anhang C detailliert aufgeführt ist.

Tab. 5: Risiko „Direkttreffer“: Jährliches Risiko von Personenschäden in Fahrzeugen auf der National- und Kantonsstrasse durch Steinschlag.

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**

Risikoreduktion durch Wald

Der Schutzwald besitzt einen massgebenden Einfluss auf das Steinschlagrisiko. Der heutige Waldbestand vermag das Steinschlagrisiko im Vergleich zur unbewaldeten Situation, um über 90% zu reduzieren. Auch nach erfolgter Schutzwaldpflege beträgt die Risikoreduktion noch knapp 80%. Wie aus der Tabelle 6 ersichtlich, wirkt der Wald besonders gut gegenüber häufigen und sehr häufigen Ereignissen.

Tab. 6: Risikoreduktion durch Wald: Risikoreduktion durch aktuellen Waldbestand und nach beabsichtigter Schutzwaldpflege.

Risdikoreduktion	Waldzustand heute		Waldzustand nach Pflege	
	[Fr.-/a]	[%]	[Fr.-/a]	[%]
sehr häufig (0-10)	39'998	94%	34'689	81%
häufig 10-30	9'486	84%	8'557	76%
selten - sehr selten (30-300)	1'102	67%	878	54%
Total	**50'586**	**91%**	**44'124**	**79%**

Nutzen-Kosten Vergleich

Der Gruobenwald hat eine Fläche von rund 40 ha und schützt hervorragend vor Steinschlag. Die Reduktion des jährlichen Schadenerwartungswertes durch Wald beträgt zwischen Fr. 44'000.- und Fr. 50'000.-. Dies ergibt pro Hektar Schutzwald und Jahr einen Nutzen von über Fr. 1'100.-. Demgegenüber stehen die Kosten für die Schutzwaldpflege. Diese betragen pro Eingriff und Hektare rund Fr. 12'500.-. Um einen nachhaltigen Bestandesaufbau und eine hohe Schutzwirkung zu erreichen, erfolgt die Schutzwaldpflege kontinuierlich. Das Pflegeintervall beträgt durchschnittlich rund 15 Jahre. Folglich betragen die durchschnittlichen jährlichen Kosten rund Fr. 34’000.- oder Fr. 850.- pro Hektare und Jahr. Das Verhältnis zwischen Nutzen und Kosten ist mit einem Faktor von 1,3 positiv. Dies, obschon nur das Steinschlagrisiko von Personenschäden in Fahrzeugen durch Direkttreffer in die Betrachtungen eingeflossen sind. Würde man die Risikoberechnung auf das ganze Schadenpotential (RhB, Gebäude) ausdehnen, Auffahrunfälle, Sachschäden, indirekte Schäden und andere Naturgefahrenprozesse wie Lawinen mitberücksichtigen, dann wäre der Nutzen des Waldes um ein Vielfaches höher.

7 Diskussion, Empfehlungen

Protect-Bio

Die Grundlagen und Vorgehensweise zur Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen nach PROTECT können für den Prozess Stein- und Blockschlag ohne grosse Anpassungen auf den Schutzwald übertragen werden.

Grobbeurteilung

Die Grobbeurteilung ist einfach und klar. Sie dient als Triage zur Ausscheidung von nicht relevanten Wäldern.

Massnahmenbeurteilung

Das Prinzip der Massnahmenbeurteilung ist ebenfalls einfach. Die Kriterien Tragsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit sind auch im Zusammenhang mit der Beurteilung von Steinschlagschutzwäldern verständlich. Die Verknüpfung dieser Kriterien mit den Anforderungsprofilen nach NaiS ist nicht immer eindeutig umsetzbar. Die Anforderungsprofile nach NaiS sind sehr restriktiv. Auch im Schutzwaldkomplex mit einer hohen Zuverlässigkeit findet man Bereiche, in welchem die Strukturanforderungen nach NaiS nicht erfüllt werden können. Anhand der Wirkungsbeurteilung und der Risikoanalyse des vorliegenden Fallbeispiels wurde aufgezeigt, dass der Gruobenwald auch nach erfolgtem starkem Pflegeeingriff die Risiken auf der Strasse um 80% reduzieren vermag. Die Schutzwirkung ist folglich gross, obwohl die Strukturanforderungen nach NaiS, aufgrund der geringen Stammzahlen/ha und der vielen Lücken über 20 m, auf dem grössten Teil der Fläche nicht erfüllt werden. Dieser Umstand ist sicherlich auf die lange bewaldete Transitstrecke und die daraus resultierenden hohen kumulierten Grundflächen des Fallbeispiels zurückzuführen. Die Länge der bewaldeten Transitstrecke und die kumulierte Grundfläche sind deshalb wichtige Kriterien bei der Beurteilung von Steinschlagschutzwäldern.

Wirkungsbeurteilung

Die Wirkungsbeurteilung von Steinschlagschutzwäldern ist dank den neuentwickelten räumlichen Steinschlagmodellen, welche in der Lage sind die Waldwirkung realistisch zu modellieren, mit vertretbarem Aufwand möglich. Die Resultate sind hochauflösend und bieten eine Vielzahl an Auswertungsmöglichkeiten.

Neben dem Wald können die Steinschlagprogramme auch die Wirkung von technischen Schutzmassnahmen wie Netze und Dämme modellieren. Für eine allfällige Massnahmenplanung und die Dimensionierung der Schutzmassnahmen ist die Analyse über das Zusammenwirken von Wald mit technischen Massnahmen sehr hilfreich.

Risikobeurteilung

Im Fallbeispiel konnte gezeigt werden, dass der Wald die Durchgangsfrequenzen stark, die maximalen Steinschlagintensitäten und Auslaufstrecken aber nur gering beeinflusst. Deshalb reichen Intensitätskarten als Grundlage für die Risikoanalyse nicht aus. Die Reduktion der Durchgangsfrequenzen durch Wald muss in die Risikoberechnung einfliessen, damit die Waldwirkung angemessen berücksichtigt werden kann. Dazu muss die Risikoanalyse nach (RIKO) leicht angepasst werden. Im Fallbeispiel wurde die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der modellierten Durchgangswahrscheinlichkeit angepasst.

Die angepasste Risikoberechnung ist vor allem dort notwendig, wo verschiedene Waldzustände miteinander verglichen werden sollen. Bei der Planung von - vielfach überfälligen – Pflegemassnahmen in Steinschlagschutzwäldern, stellt sich die Frage, ob nach dem Pflegeeingriff die Schutzwirkung noch ausreichend sei, oder ob ergänzende technische Schutzmassnahmen in Betracht gezogen werden müssen. Solche Fragestellungen können mit der im Fallbeispiel aufgezeigten Methodik analysiert und so die optimale Lösung für die betreffende Situation gefunden werden.

Empfehlungen

Für die Weiterentwicklung von Protect-Bio und das Anforderungsprofil des Waldes bezüglich Steinschlag in NaiS wird vorgeschlagen, anstelle von Mindestdurchmesser und Stammzahl, die Verwendung der Bestandesgrundfläche als Kriterium zu prüfen. In der vorliegenden Arbeit wurde für den Nachweis der Tragsicherheit eine über die gesamte bewaldete Transitstrecke kumulierte Grundfläche verwendet. In einer einzigen Zahl können so geschickt die Kriterien Durchmesser, Stammzahl/ha und bewaldete Transitstrecke verknüpft werden. Restriktionen in Bezug auf Bestandeslücken und Runsen bleiben bestehen. Diese werden beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit geprüft.

Die forstliche Praxis ist sich der Umgang mit der Bestandesgrundfläche nicht geübt. Folglich muss deren Erhebung und Anwendung instruiert werden. Zudem müssen für das neue Kriterium der kumulierten Grundfläche, in Abhängigkeit der Gesteinsgrösse, minimale Anforderungen beziehungsweise Grenzwerte definiert werde. In der vorliegenden Arbeit wurde erst ein Vorschlag dazu erarbeitet. Diesen gilt es jedoch zu prüfen und allenfalls anzupassen.

Deshalb wird vorerst empfohlen, die bestehenden Anforderungen nach NaiS für die Massnahmenbeurteilung zu verwenden. Um eine zu negative Beurteilung der Schutzwälder zu vermeiden, wird empfohlen, vor allem für lange bewaldete Transitstrecken, die Anforderungen bezüglich der Stammzahl/ha bei der Massnahmenbeurteilung nicht all zu stark zu gewichten und nötigenfalls mit gesundem Menschenverstand nach unten zu korrigieren.

Bestehende Herausforderungen

Die Berücksichtigung von Bestandeslücken, Öffnungen und Runsen bei der Beurteilung von Steinschlagschutzwäldern ist noch nicht klar und deutlich ausformuliert. Blössen und Runsen gehören zu Steinschlagwäldern und müssen im Gesamtkontext betrachtet werden. Nicht nur die Grösse und Anzahl der Lücken ist für die Gefährdung des Schadenpotentials entscheidend, sondern auch deren Lage im Transitgebiet. Neben der eigentlichen Definition bereitet auch die sprachliche Ausformulierung des Sachverhalts Mühe. Ziel muss es sein, mit einer einfachen Beschreibung „unproblematische“ von „problematischen“ Öffnungen eindeutig zu unterscheiden.

Davos Dorf, 29.07.2011

Naturgefahrenmanagement - Ingenieurwesen - Forstwesen

www.tur.ch

tur gmbh, Promenade 129, CH-7260 Davos Dorf

M. Kalberer, Dr. rer. nat., dipl. Forsting. ETH,
Projektverfasser

A. Guler, dipl. Forsting. ETH,
Geschäftsleitung tur gmbh

Anhang A: Ergebnisse Modellierung Stein- und Blockschlag

- **Energien Block- und Steinschlag**
- **Durchgangsfrequenz, Anzahl Steine**
- **Durchgangswahrscheinlichkeit**
- **Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald**

Energien

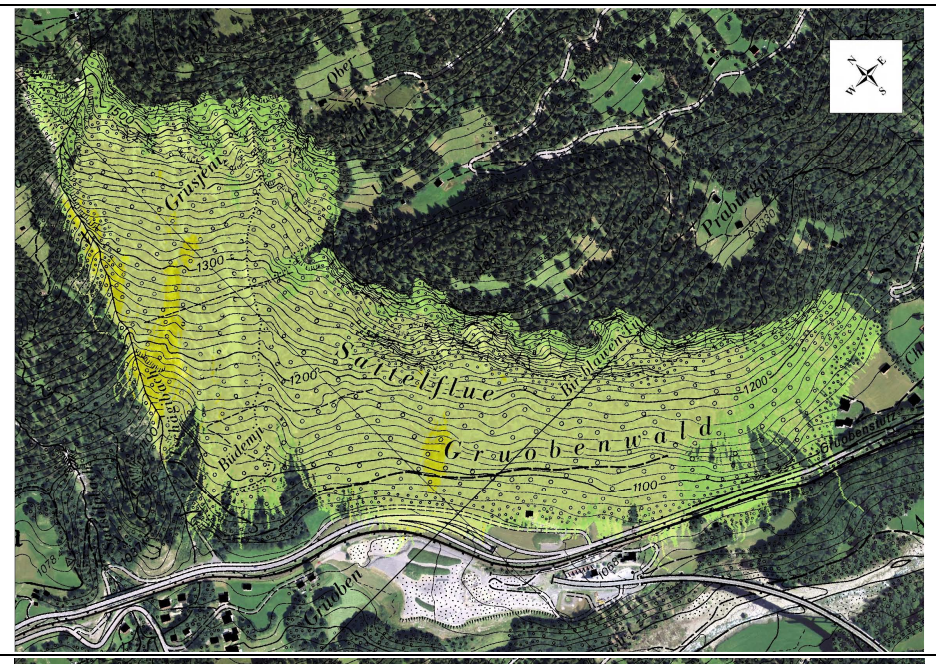
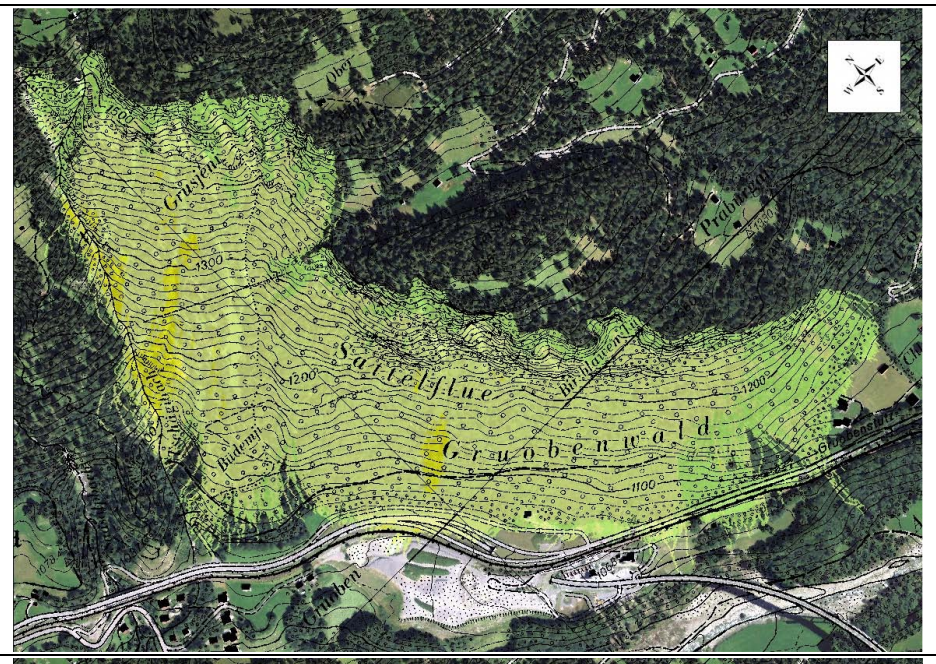
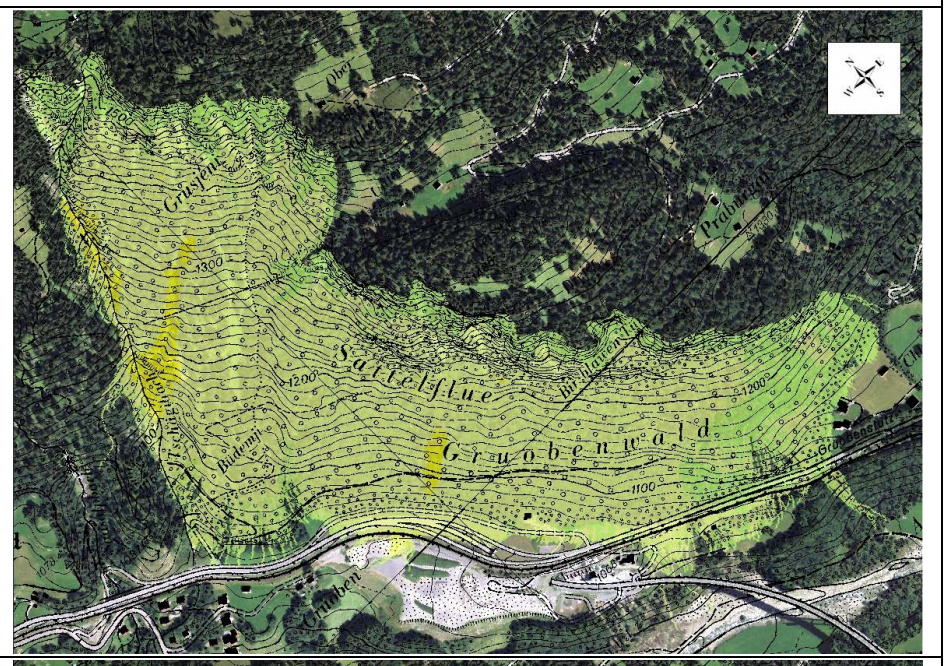
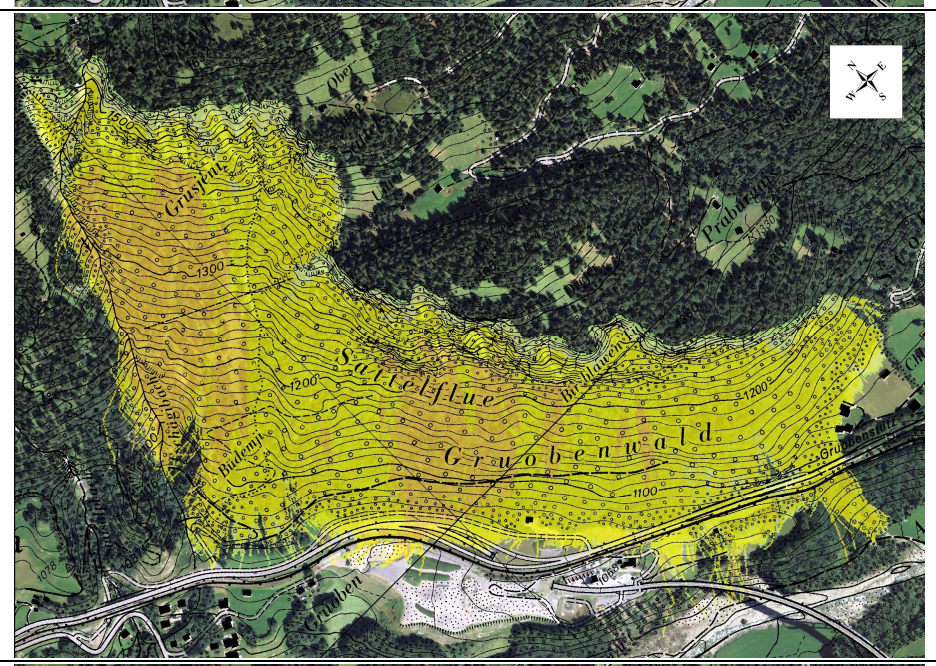
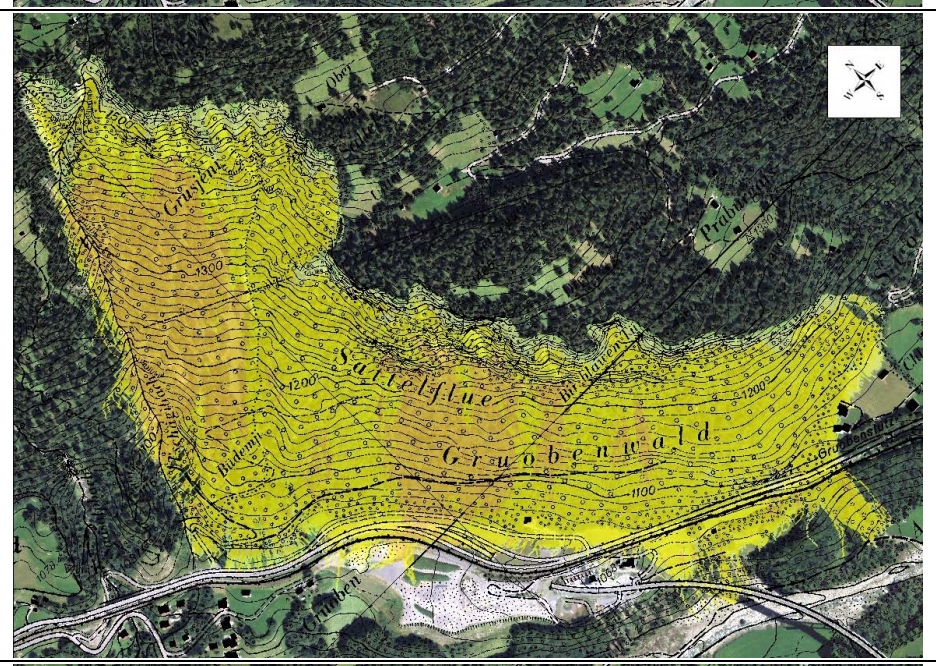
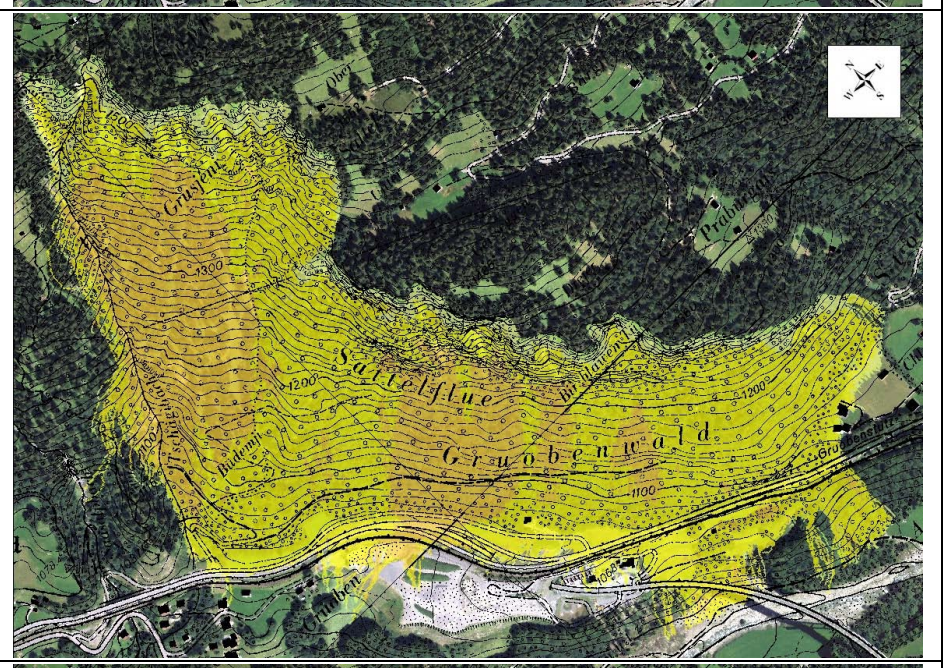
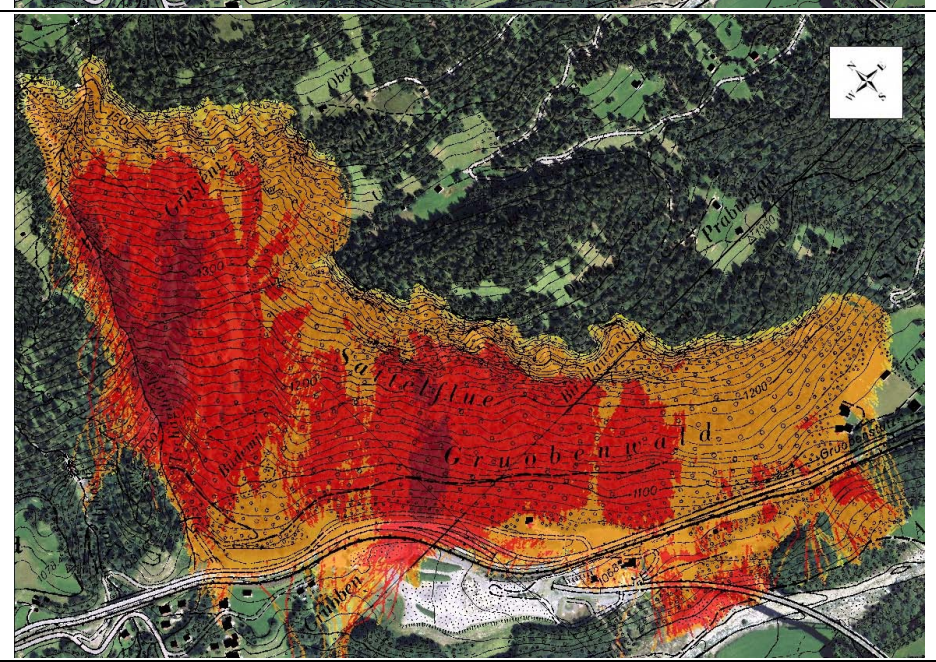
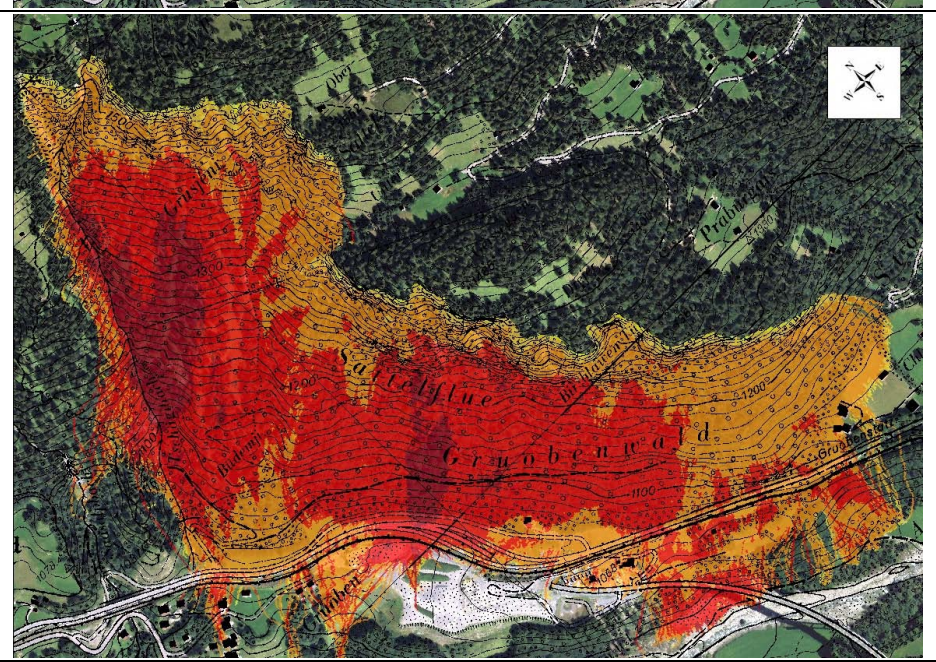
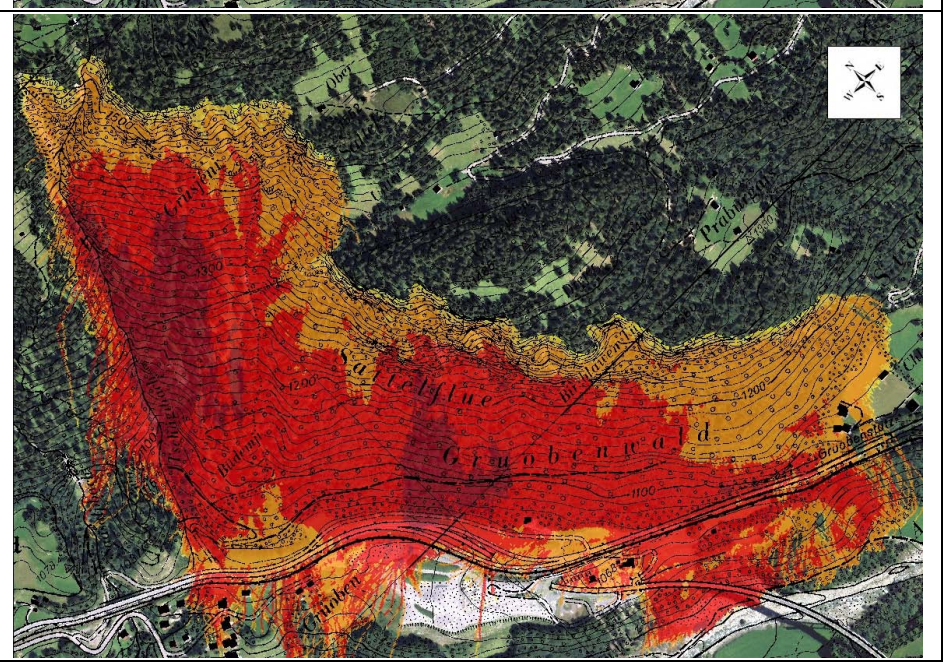
Block- und Steinschlag

Legende

Maximale kinetische Energie



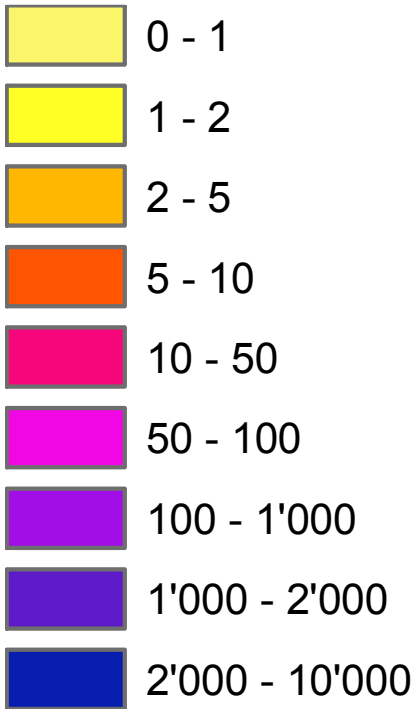
Die kinetische Energie setzt sich aus Translations- und Rotationsenergie zusammen. Als maximal versteht sich das 95%-Quantil aller Modellergebnisse.

	Waldzustand heute	Waldzustand nach starkem Pflegeeingriff	ohne Wald
Szenario 0 – 10 Jahre ($d_{St.}$: 0.4 m)			
Szenario 10 – 30 Jahre ($d_{St.}$: 0.6 m)			
Szenario 30 - 300 Jahre ($d_{St.}$: 1.3 m)			

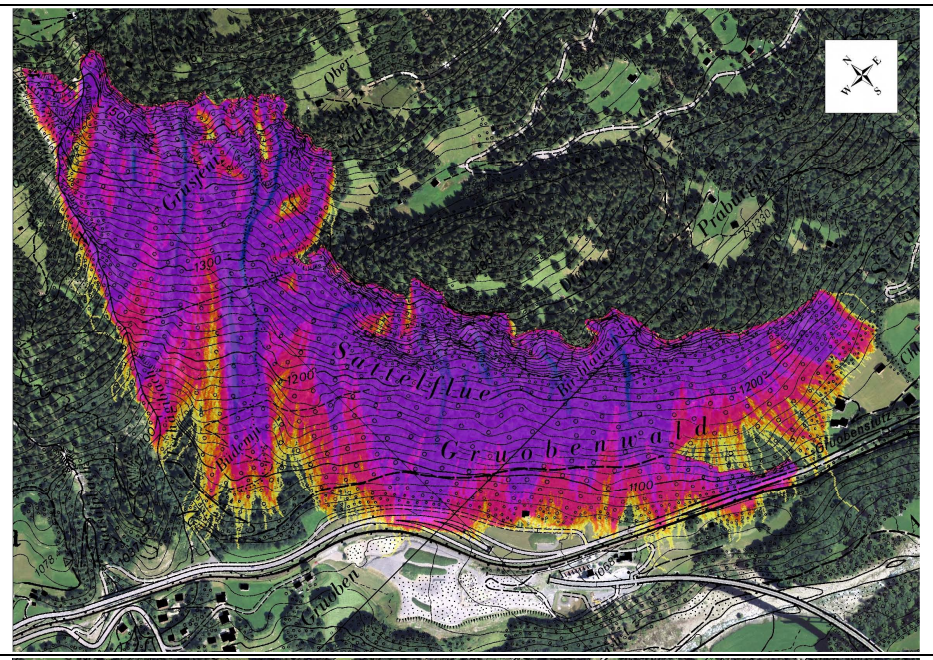
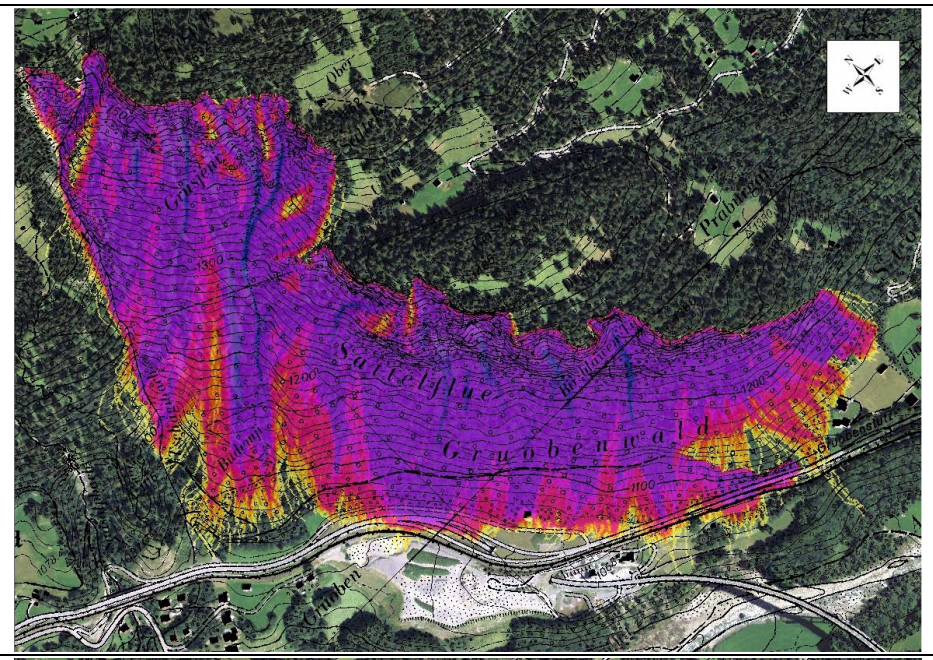
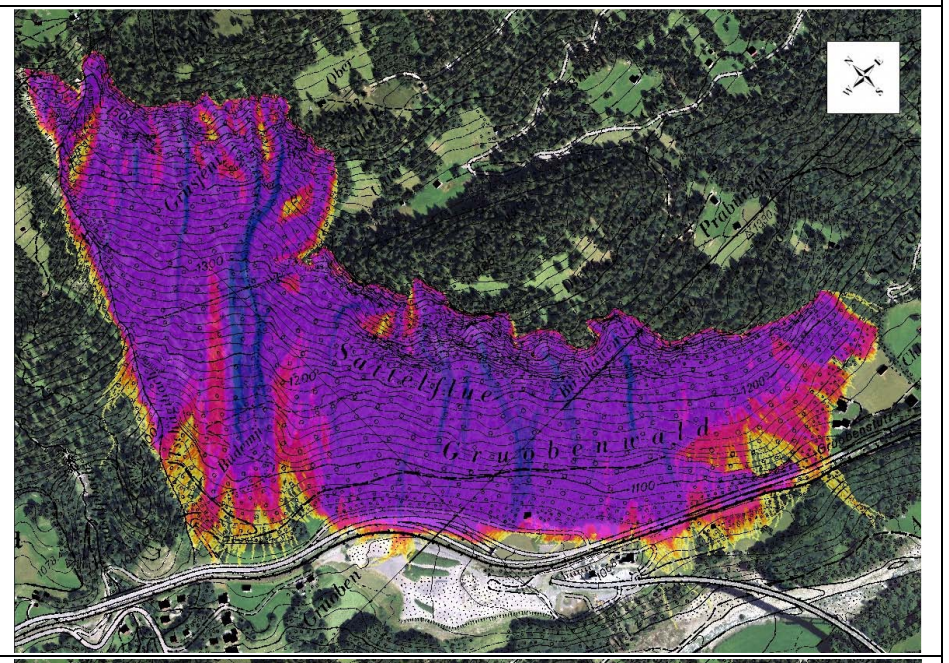
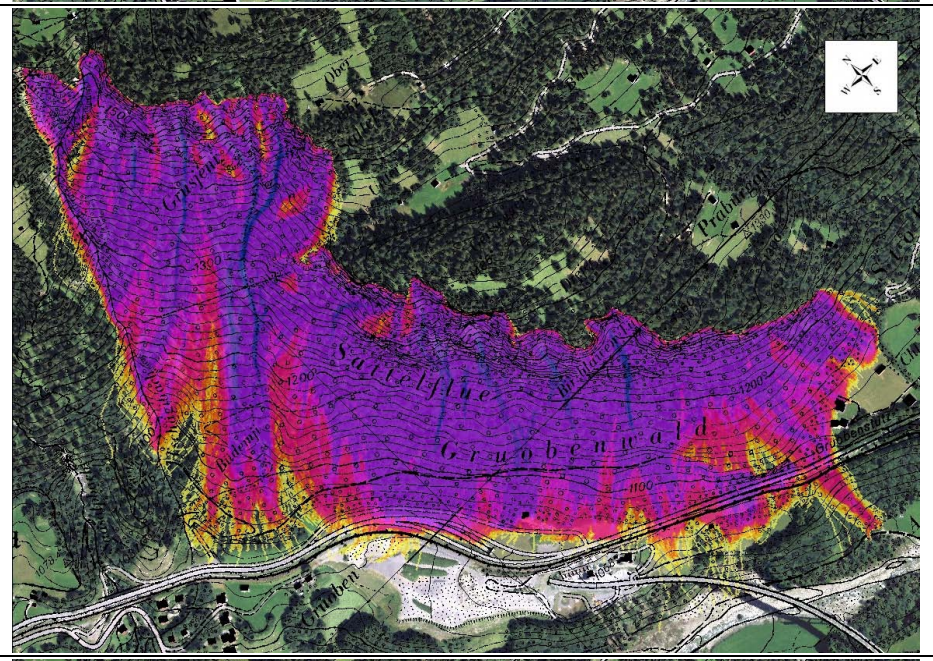
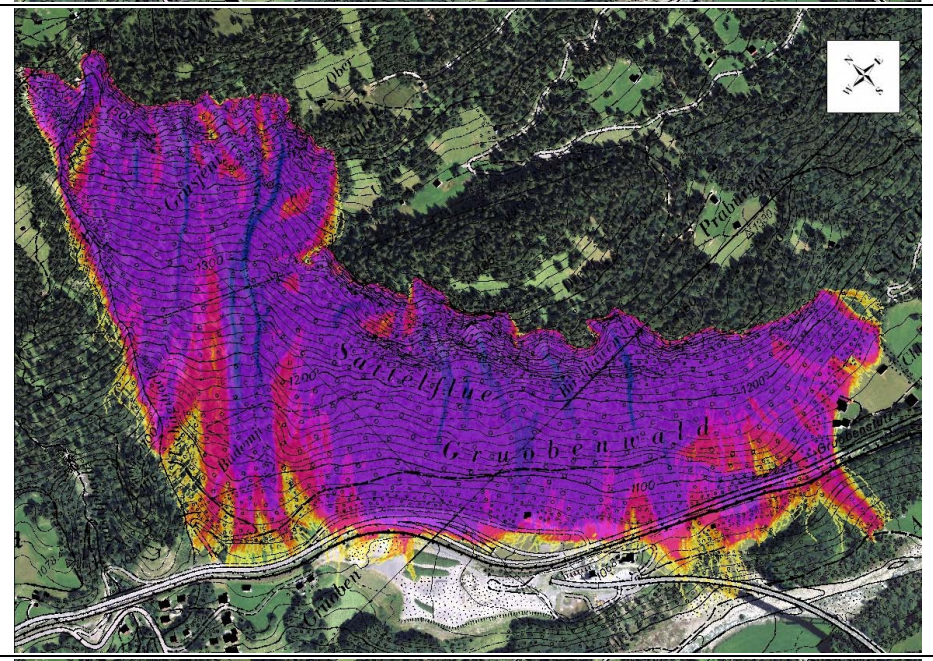
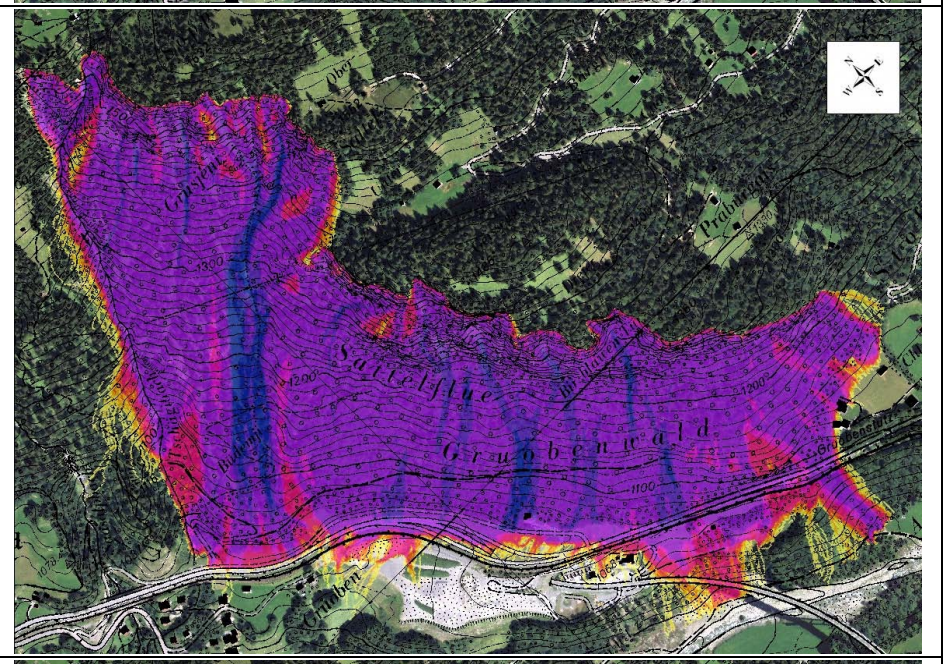
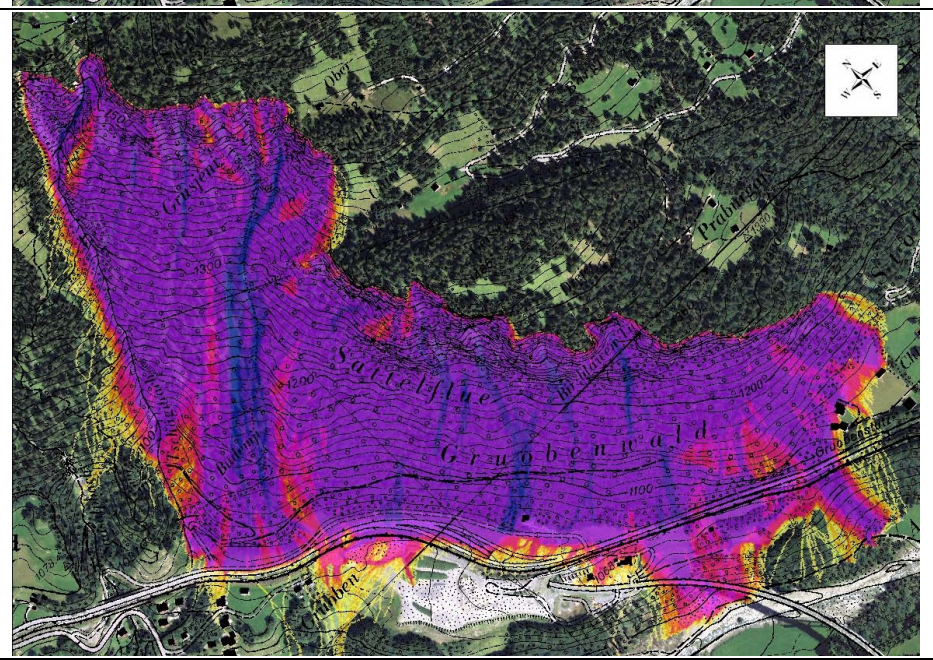
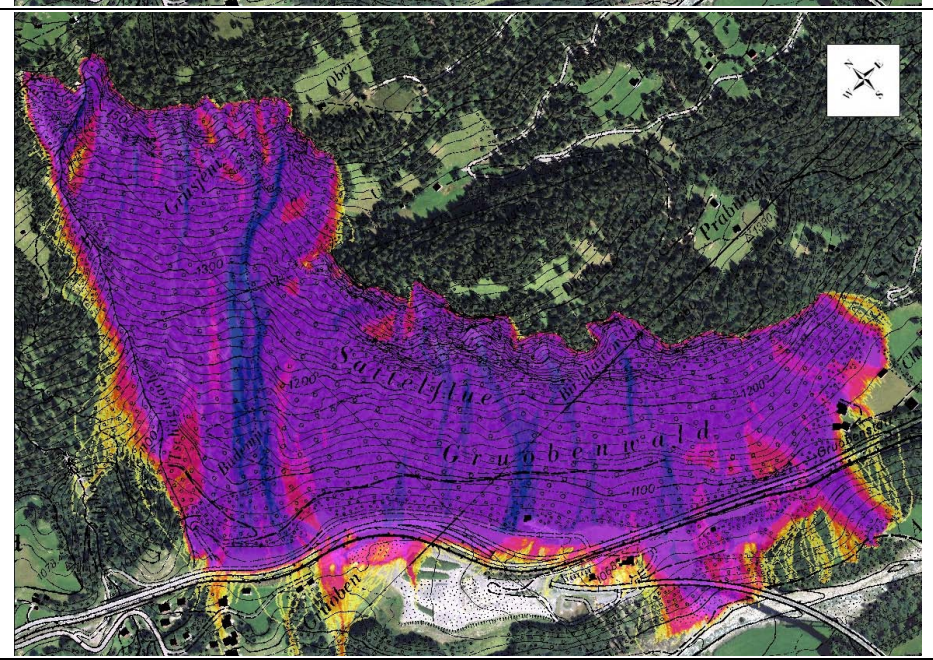
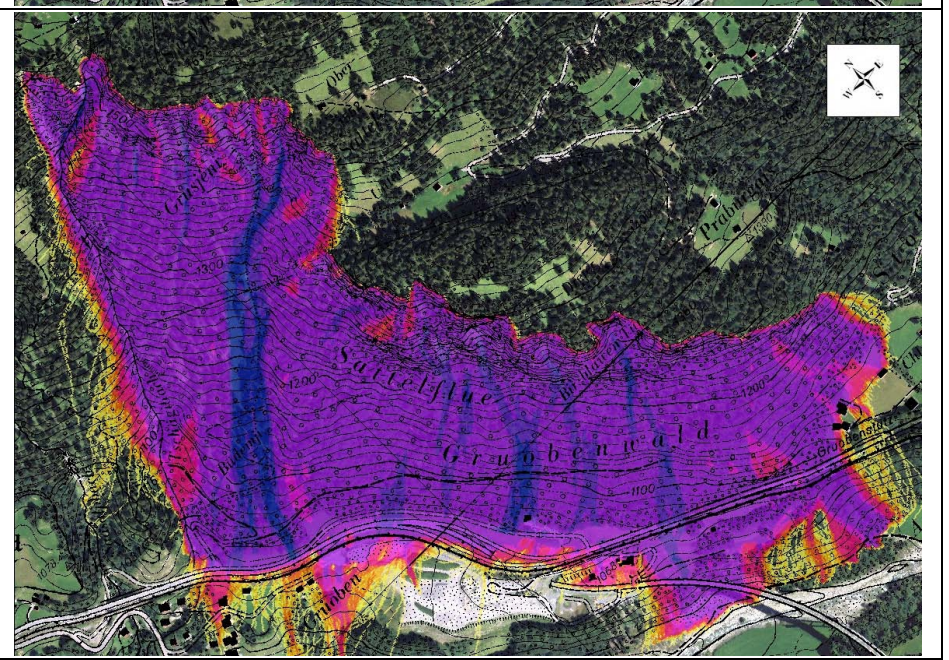
Durchgangsfrequenz

Legende

Anzahl Steine



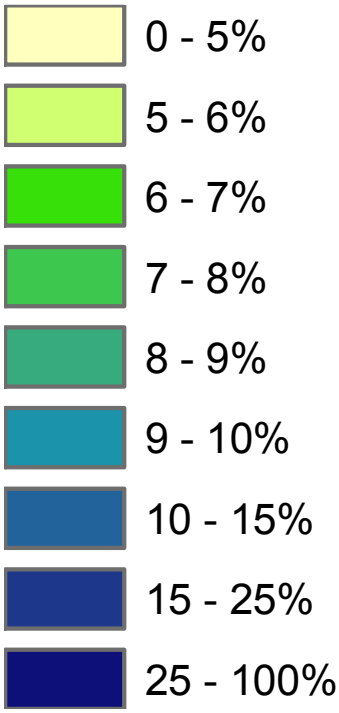
Die Durchgangsfrequenz beziffert pro Zelle die Anzahl modellierter Steine.

	Waldzustand heute	Waldzustand nach starkem Pflegeeingriff	ohne Wald
Szenario 0 – 10 Jahre ($d_{St.}$: 0.4 m)			
Szenario 10 – 30 Jahre ($d_{St.}$: 0.6 m)			
Szenario 30 - 300 Jahre ($d_{St.}$: 1.3 m)			

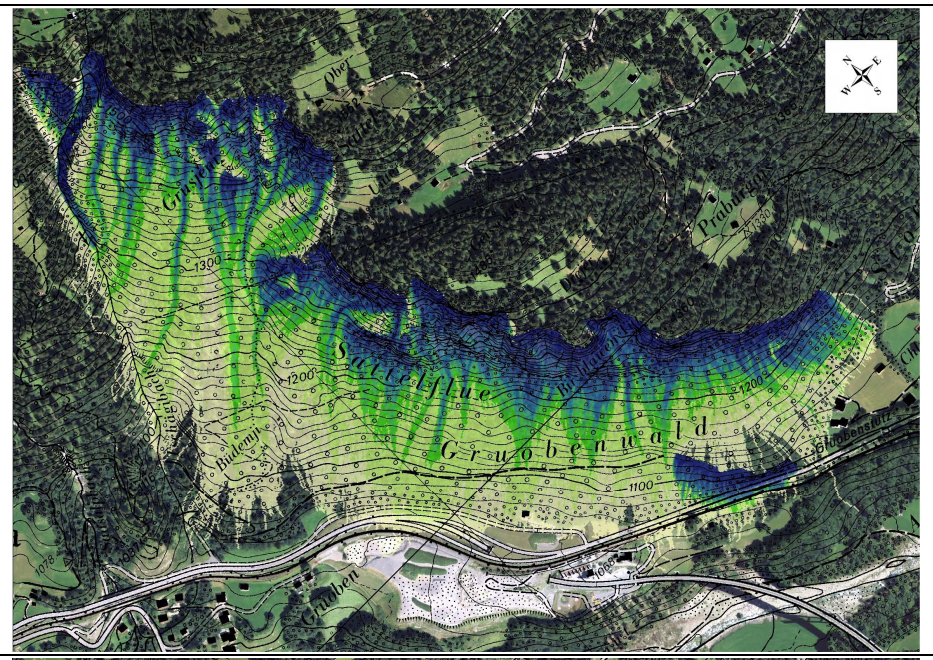
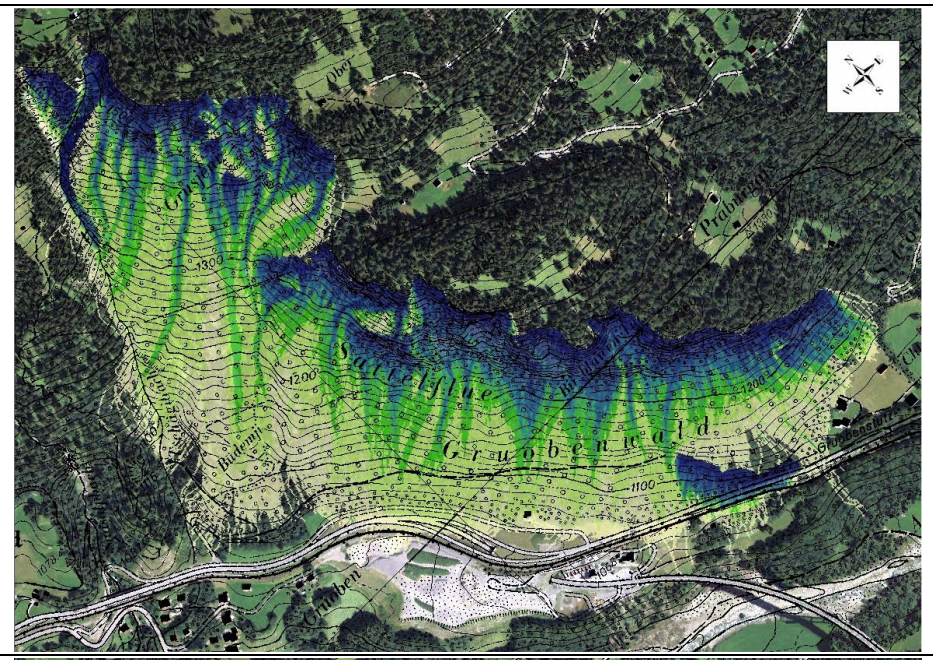
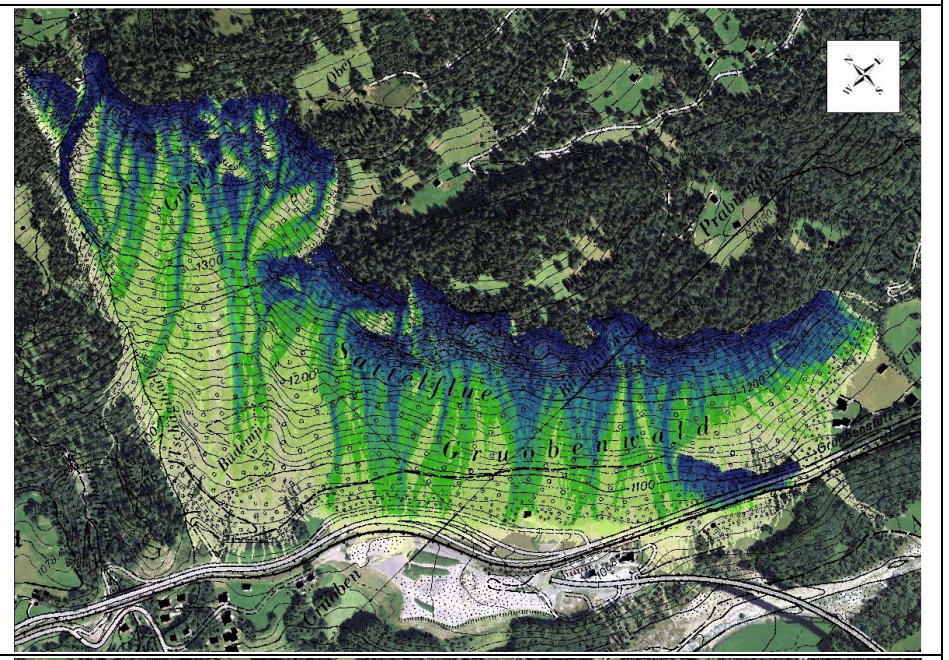
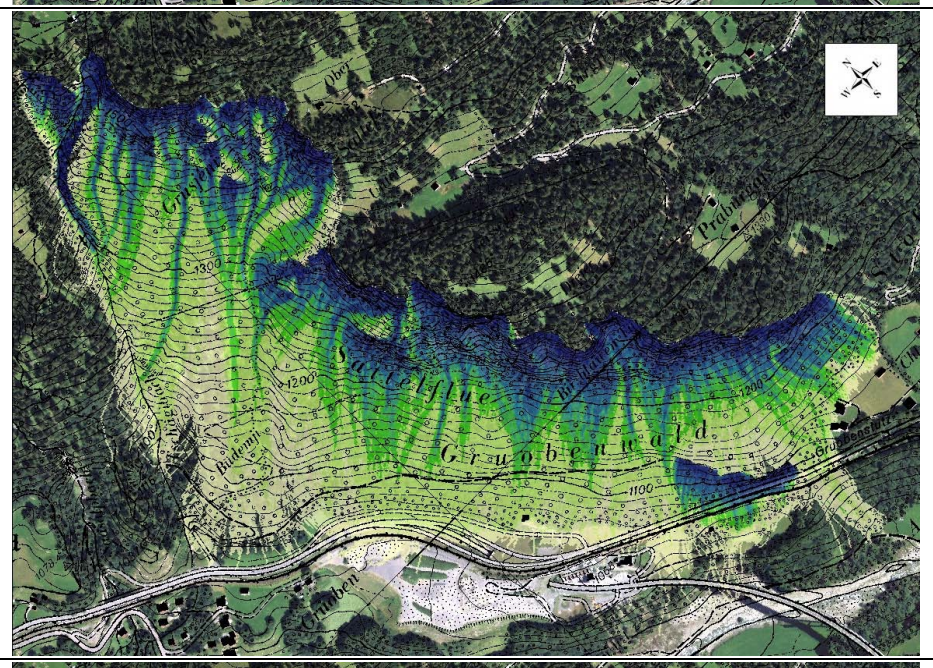
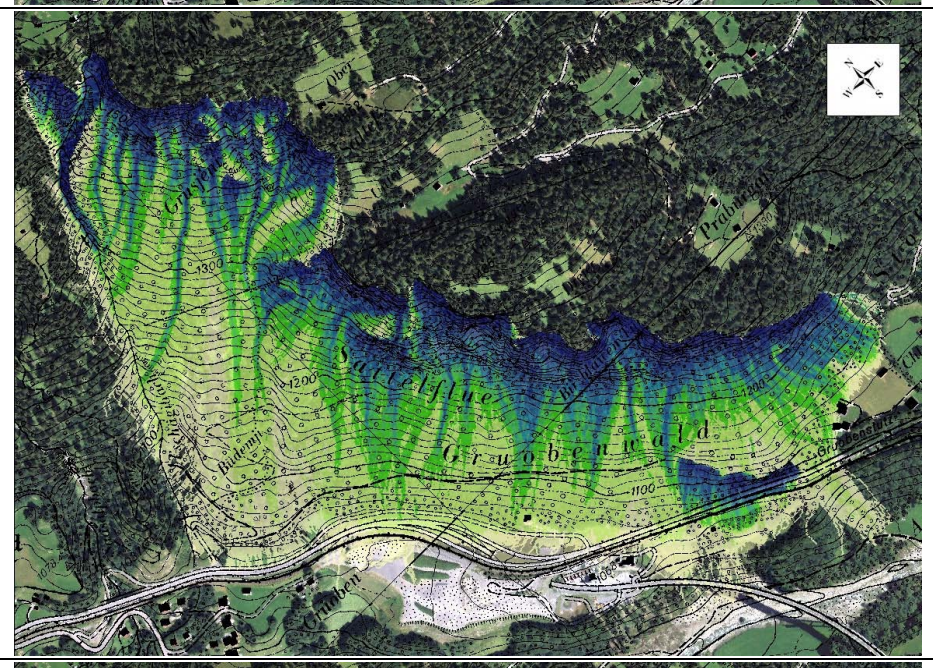
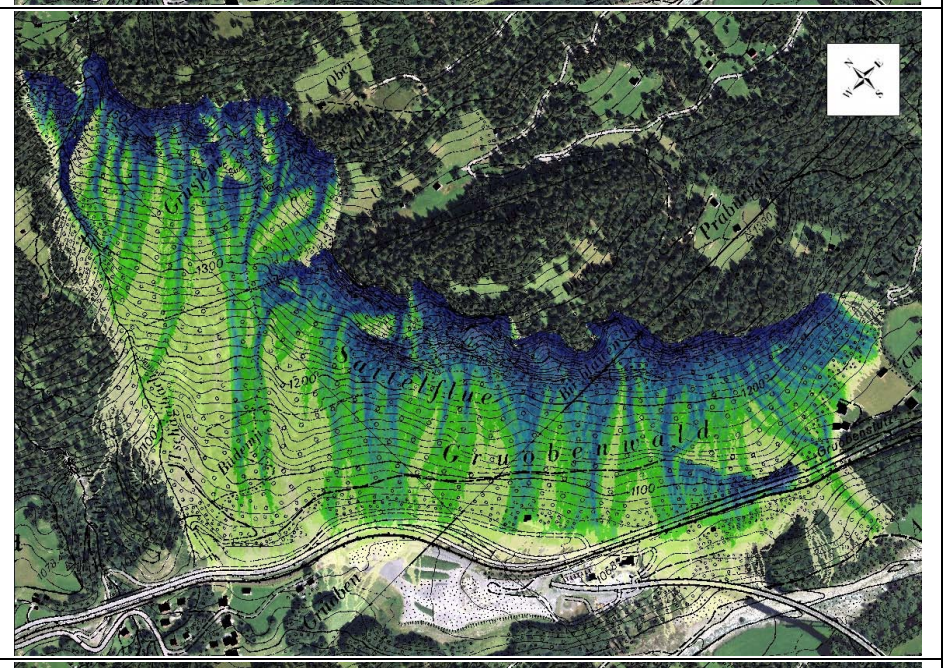
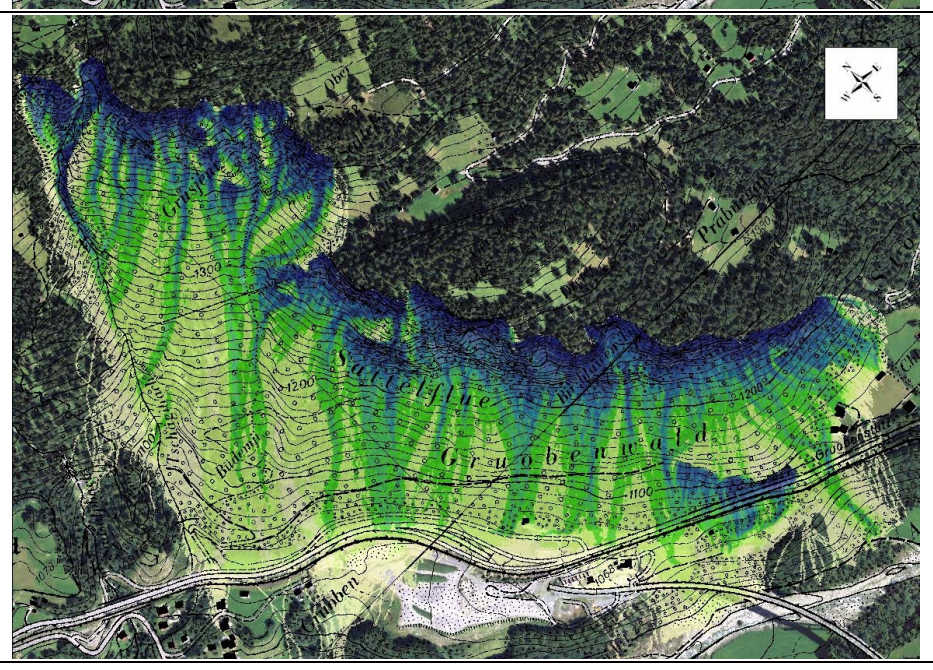
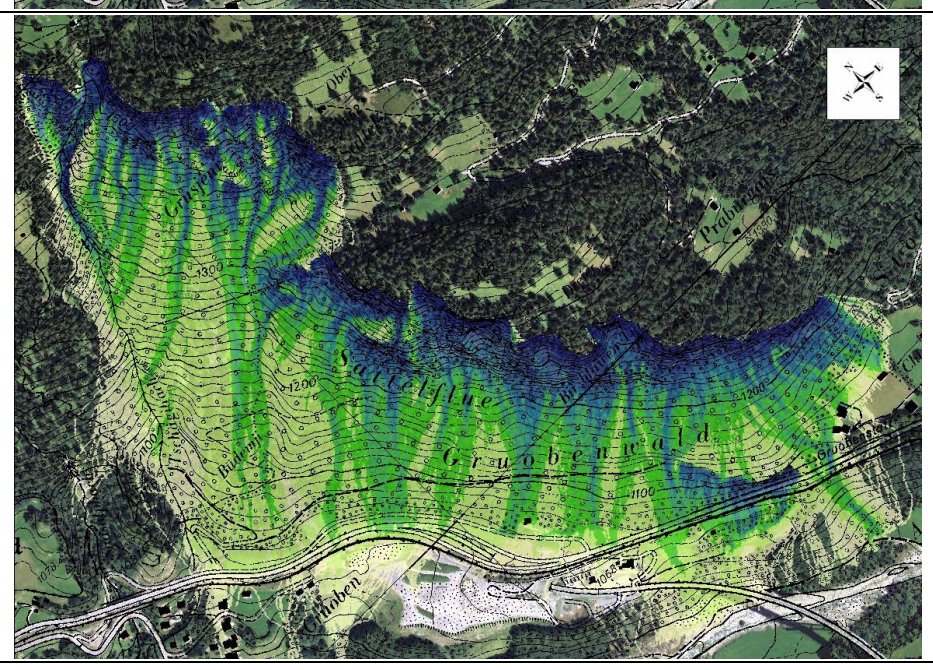
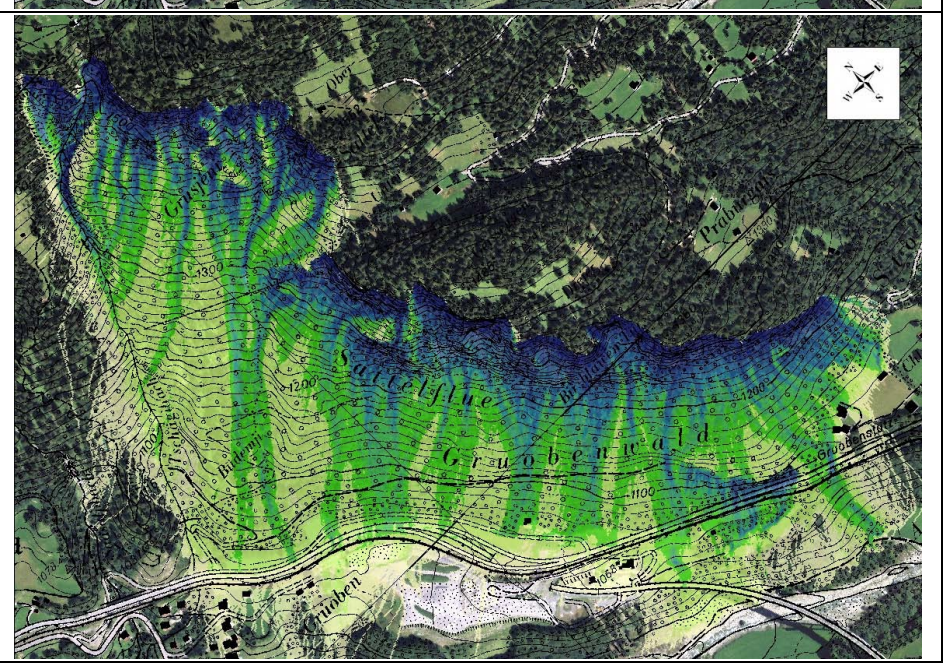
Durchgangswahrscheinlichkeit

Legende

Durchgangswahrscheinlichkeit



Die Durchgangswahrscheinlichkeit ergibt sich aus den Anzahl modellierter Steine pro Zelle dividiert durch die Anzahl aller Steine aus dem Liefergebiet.

	Waldzustand heute	Waldzustand nach starkem Pflegeeingriff	ohne Wald
Szenario 0 – 10 Jahre ($d_{St.}$: 0.4 m)			
Szenario 10 – 30 Jahre ($d_{St.}$: 0.6 m)			
Szenario 30 - 300 Jahre ($d_{St.}$: 1.3 m)			

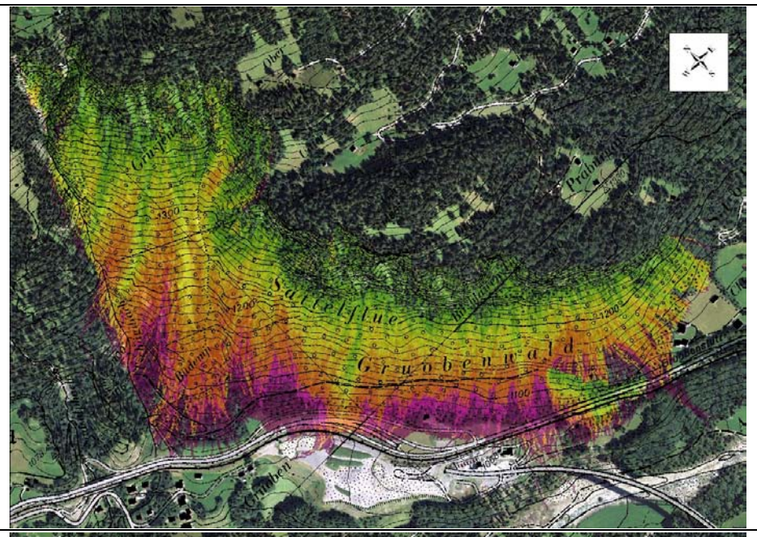
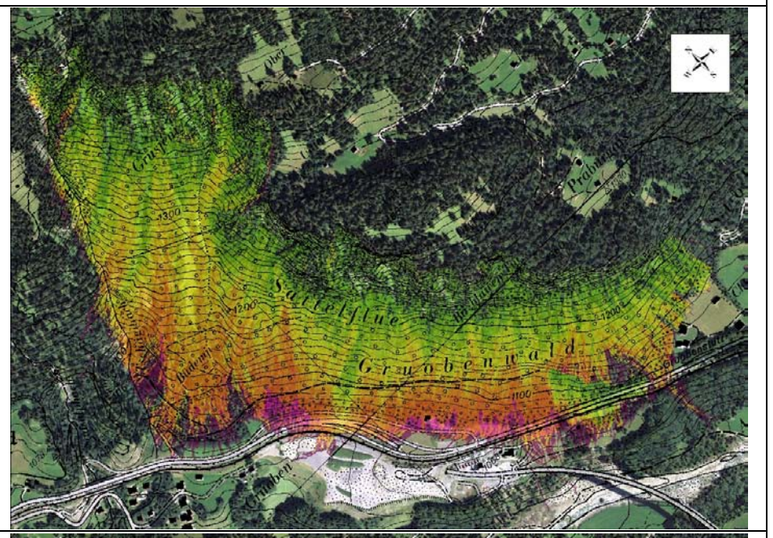
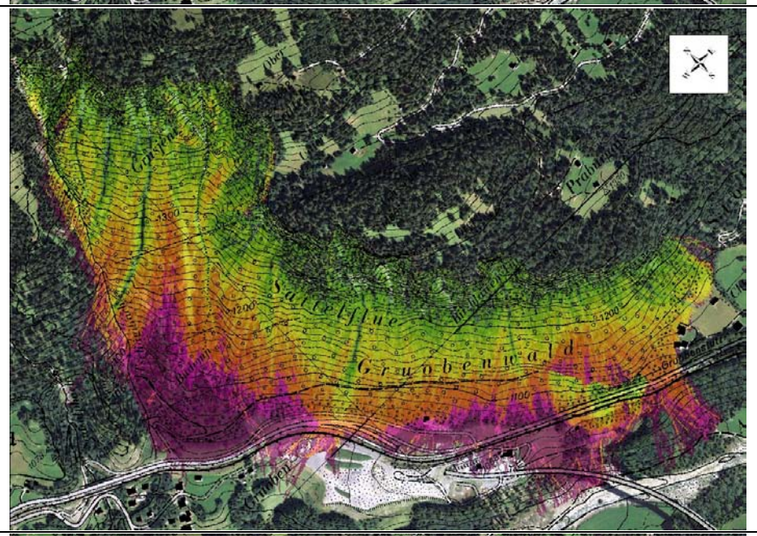
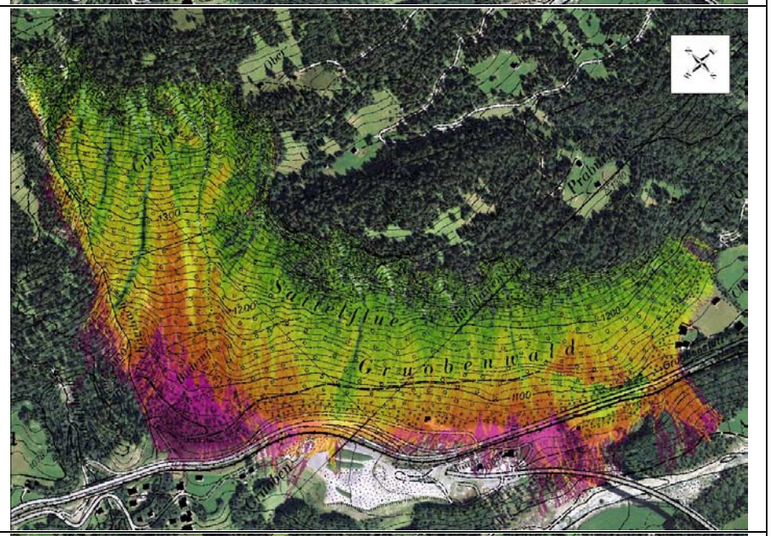
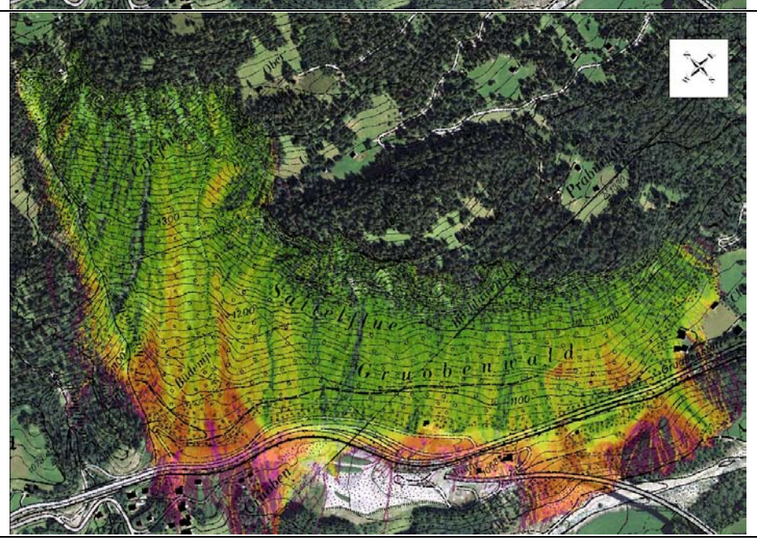
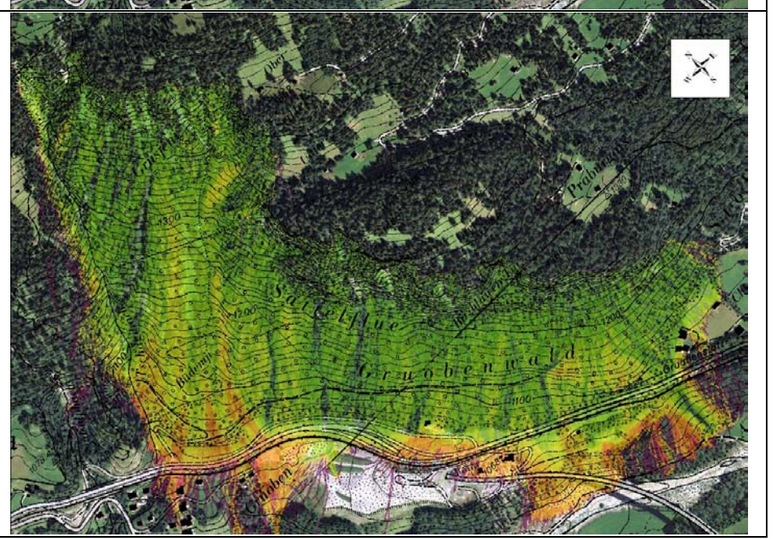
Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald

Legende

Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald

- 0 - 10%
- 10 - 20%
- 20 - 30%
- 30- 40%
- 40 - 50%
- 50 - 60%
- 60 - 70%
- 70 - 80%
- 80 - 90%
- 90 - 95%
- 95- 100%

Prozentualer Anteil der Reduktion der Durchgangsfrequenz durch Wald im Vergleich zur unbewaldeten Situation.
d.h. ((Anzahl Durchgänge ohne Wald – Anzahl Durchgänge mit Wald)/Anzahl Durchgänge ohne Wald)*100%

	Waldzustand heute	Waldzustand nach starkem Pflegeeingriff
Szenario 0 – 10 Jahre ($d_{St.}$: 0.4 m)		
Szenario 10 – 30 Jahre ($d_{St.}$: 0.6 m)		
Szenario 30 - 100 Jahre ($d_{St.}$: 1.3 m)		

Anhang B: Intensitätskarten

Intensitätskarten

Block- und Steinschlag

Legende

Intensität

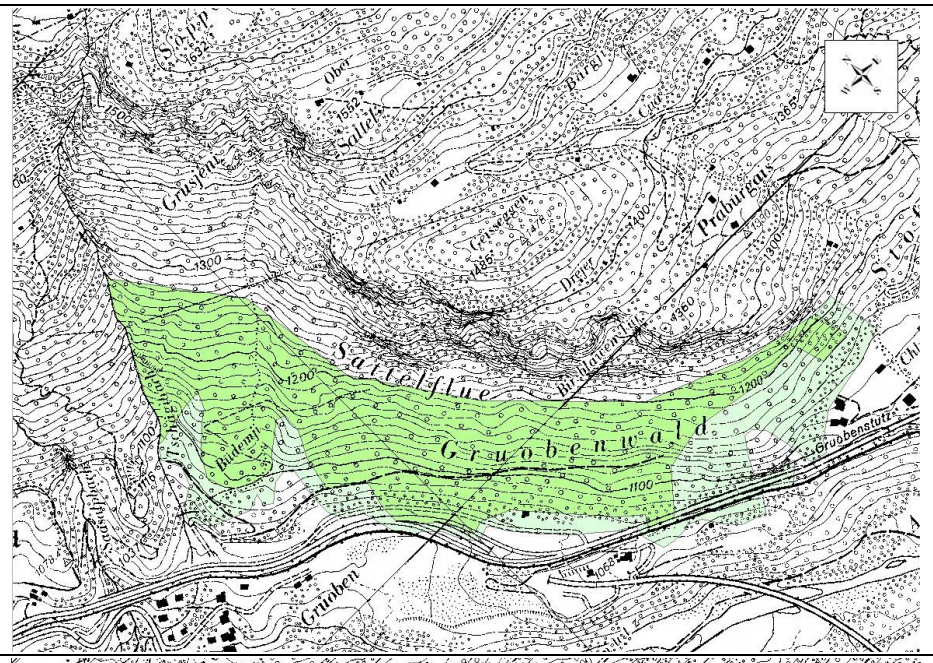
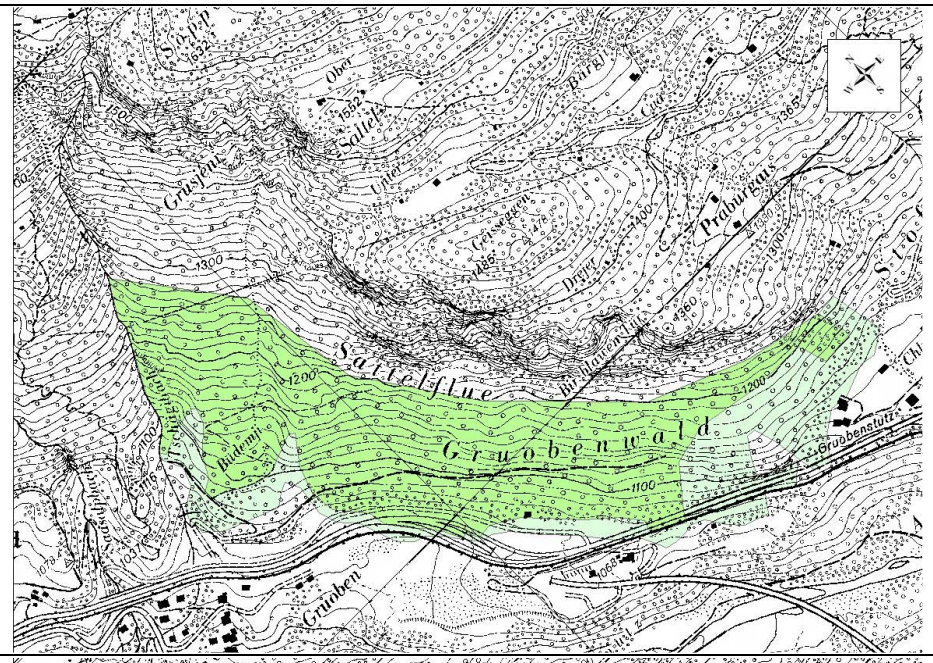
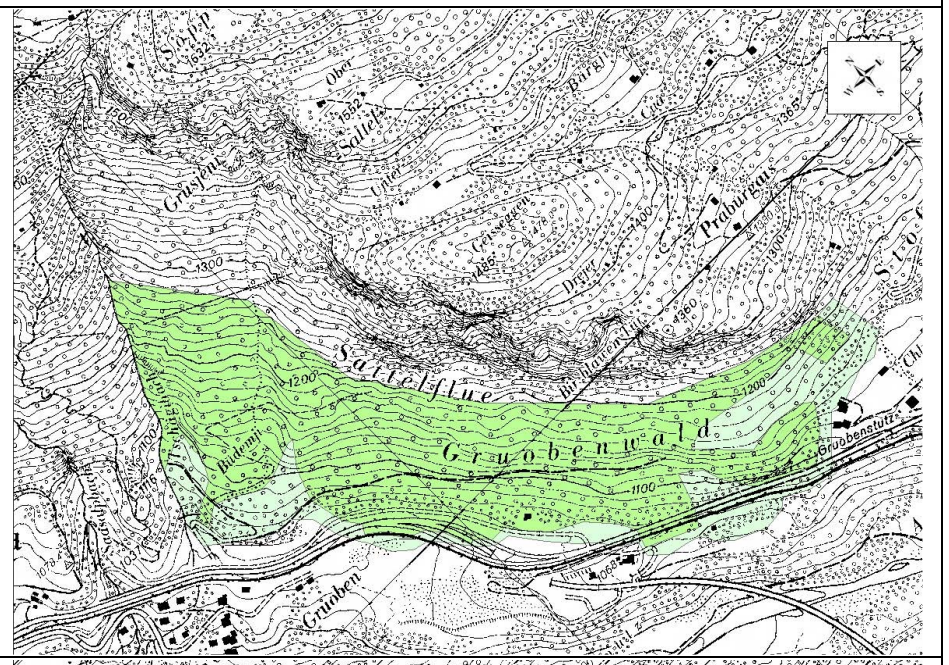
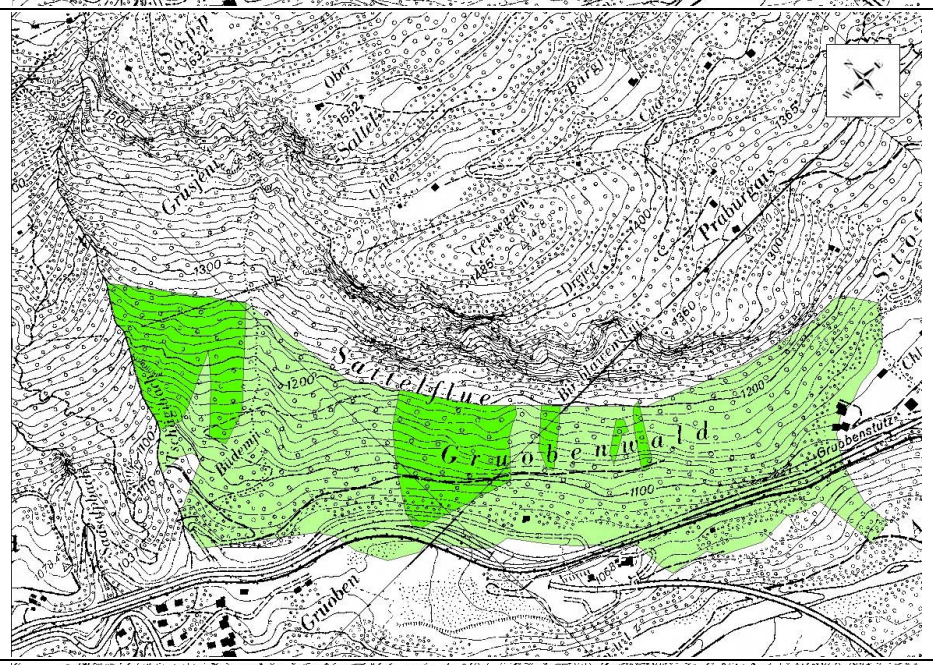
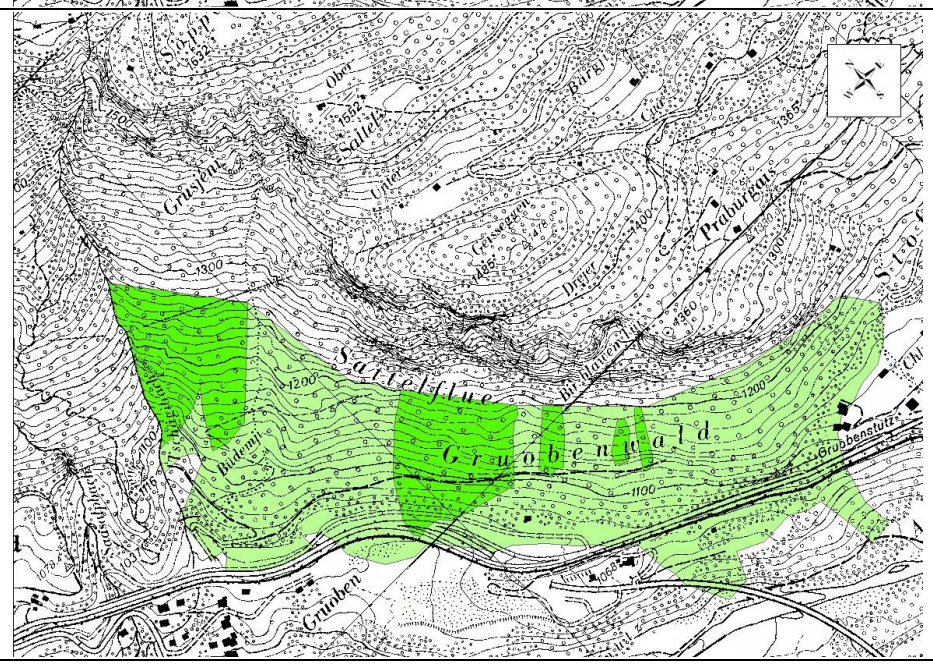
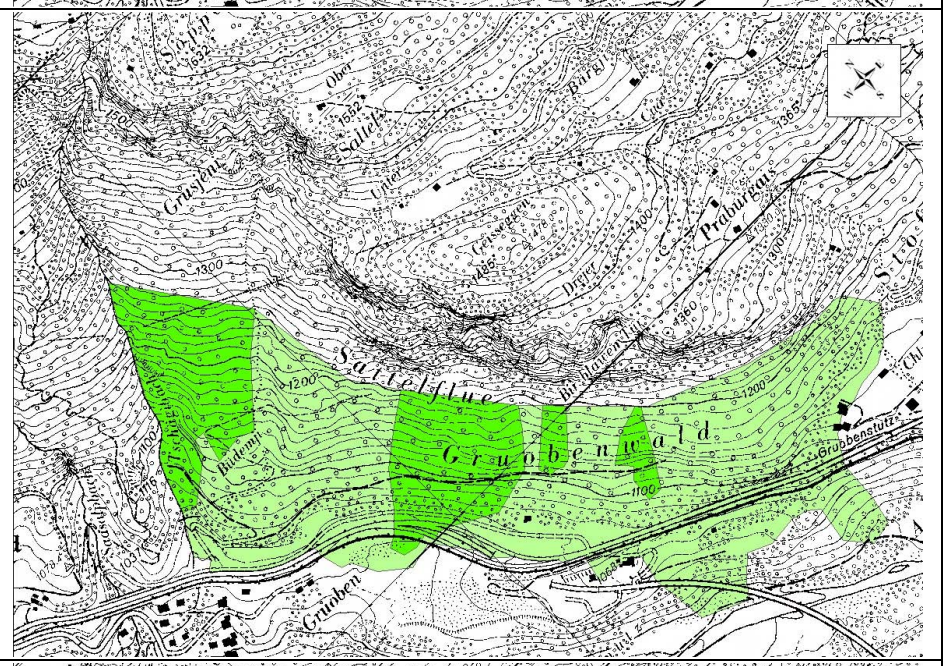
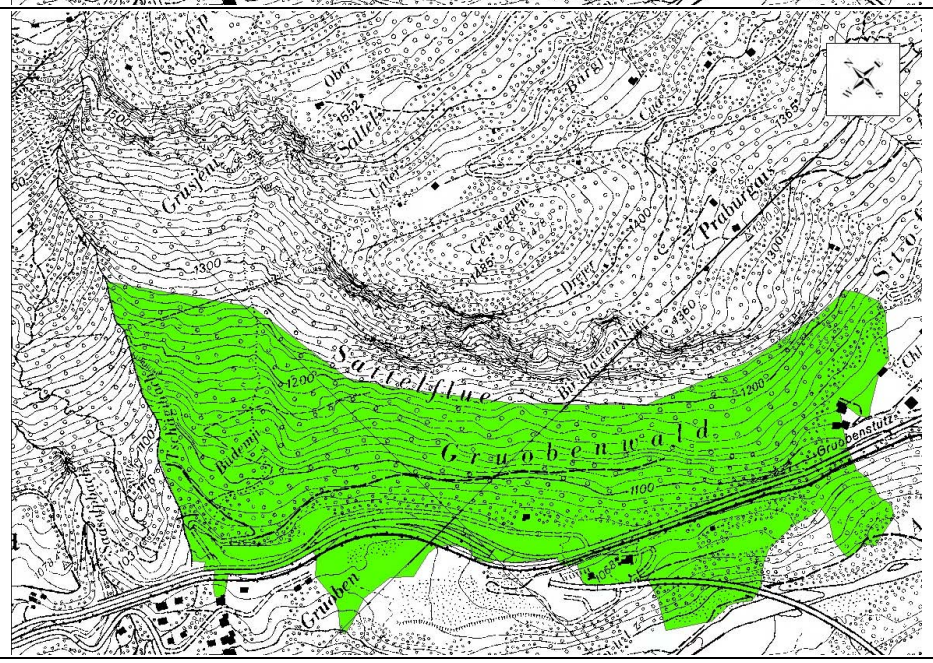
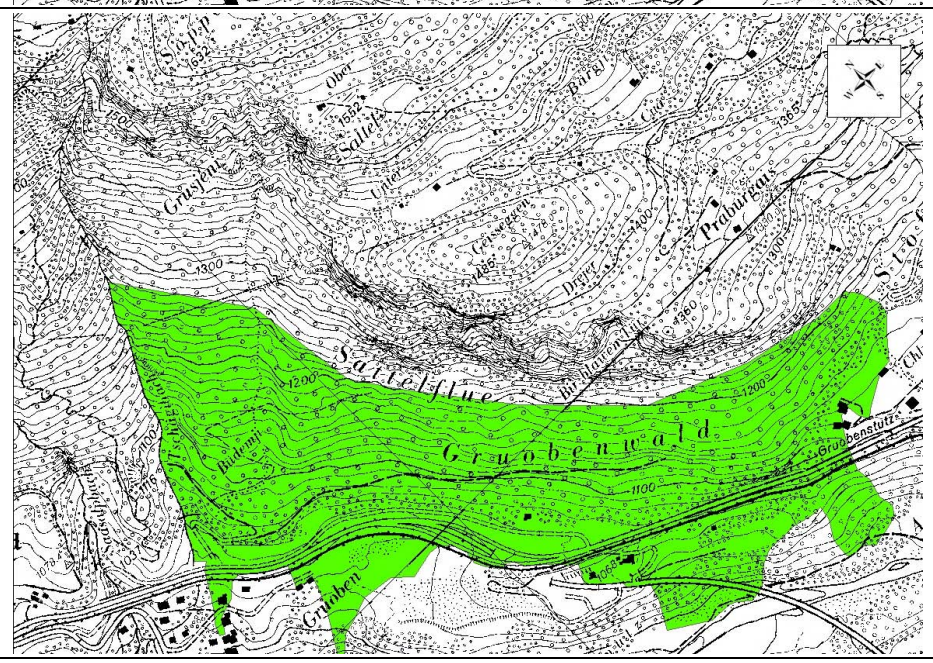
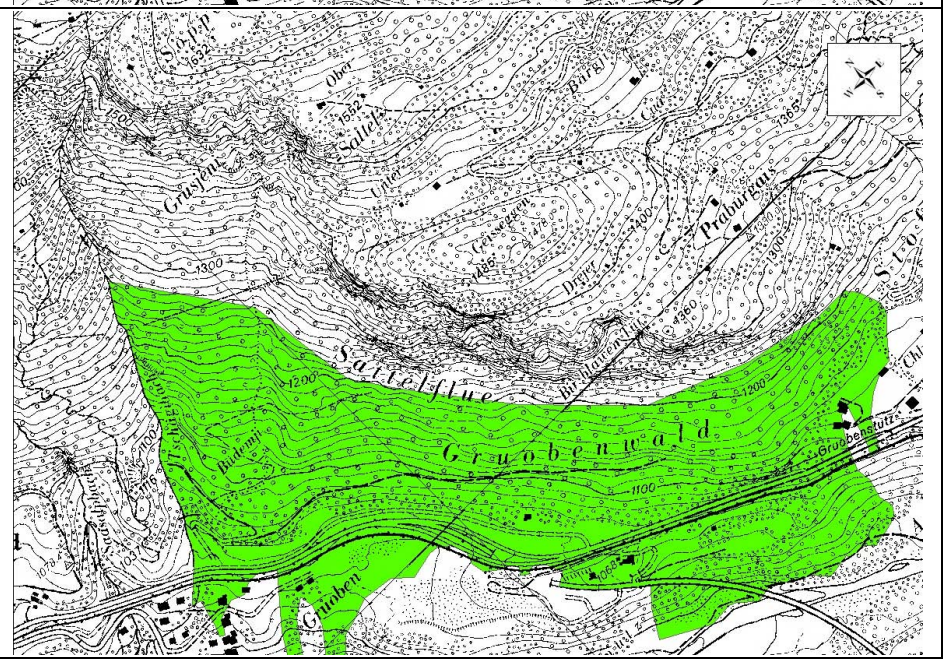


schwach (E: <30 kJ)

mittel (E: 30 - 300 kJ)

stark (E: > 300 kJ)

Mass für die Intensität ist die kinetische Energie *E* (Translation + Rotation)

	Waldzustand heute	Waldzustand nach starkem Pflegeeingriff	ohne Wald
Szenario 0 – 10 Jahre ($d_{St.}$: 0.4 m)			
Szenario 10 – 30 Jahre ($d_{St.}$: 0.6 m)			
Szenario 30 - 300 Jahre ($d_{St.}$: 1.3 m)			

Anhang C: Risikoberechnung

Risikoberechnung

$$R = \sum_j R_j = \sum_j p_j \cdot A_j$$

p_j: Häufigkeit des Szenario *j*
A_j: Schadensausmass des Szenario *j*

Häufigkeit der Szenarien

$$p_j = P_j - P_{j+1}$$

	J mittel	P_j	p_j
sehr häufig (0-10 Jahre)	5	0.2	**0.15**
häufig (10-30 Jahre)	20	0.05	**0.044**
selten (30-300 Jahre)	165	0.006	**0.006**

Schadensausmass

$$A_j = 5 \cdot 10^6 \cdot \sum_k Aw(PS)_{j,k}$$

A_j: monetarisiertes Schadensausmass
$Aw(PS)_{j,k}$: Schadensausmass Personen in Fahrzeugen "Direkttreffer"

$$Aw(PS)_{j,k} = p(rA)_j \cdot \frac{DTV_k \times g_j}{v \times 24'000} \lambda_j \cdot \beta_k$$

DTV_k: durchschnittliche tägliche Verkehrsfrequenz
g_j: Länge des gefährdeten Streckenabschnitts
***v:* Geschwindigkeit der Fahrzeuge**
λ_j: Letalitätsfaktor
β_k: durchschnittlicher Besetzungsgrad der Fahrzeuge
$p(rA)_j$: räumkliche Auftretenswahrscheinlichkeit

$$p(rA)_j = n(St)_j \times \frac{d(St)_j}{b(Pr)_j}$$

$n(St)_j$: Anzahl der Schadenpotential treffenden Steine
$d(St)_j$: Durchmesser der Steine
$b(Pr)_j$: Breite des Gefahrenprozess

Parameter

DTV Nationalstrasse	**9000**
DTV Kantonsstrasse	**2500**
***v* Nationalstrasse**	**80**
***v* Kantonsstrasse**	**80**
β Besetzunggrad	**1.76**
λ Intensität Schwach	**0.1**
λ Intensität Mittel	**0.8**
λ Intensität Stark	**1**

*** die Modellierungen wurden mit 20 Steinen pro Ausbruchszelle durchgeführt. Die modellierten Durchgangswahrscheinlichkeiten besitzen daher eine geringe Auflösung (Auflösung unter 5% nicht möglich). Dies ist für die Bestimmung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit ungenügend. Für die Bestimmung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit wurde desahlb die Durchgangsfrequenz prozentual zu ohne Wald (100% - Reduktion der Durchgangsfrequenzen durch Wald) herangezogen. Es wurde angenommen, dass ohne Wald die räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeiten über die verschieden Intensitätsstufen konstant sind. Pro Szenario wurde bei heutigem Waldzustand mit einem Stein gerechnet, ausser beim sehr häufigen Szenario. Bei diesem wird angenommen, dass die bestehenden Schutzbauten einzelne Steine, welche die Strasse erreicht hätten, zurückgehalten haben.**

Szenarien	Waldzustand heute			verbleibender Bestand nach Pflege			ohne Wald		
	0-10w	**10-30w**	**30-300w**	**0-10g**	**10-30g**	**30-300g**	**0-10**	**10-30**	**30-300**
Blockdurchmesser [m]	0.4	0.6	1.3	0.4	0.6	1.3	0.4	0.6	1.3
Häufigkeit p_j	0.15	0.044	0.006	0.15	0.044	0.006	0.15	0.044	0.006
Risiko Nationalstrasse									
Intensitätskarte Abschnitte g	**165**	**245**	**480**	**190**	**250**	**530**	**240**	**310**	**650**
Schwach	100			50			60		
Mittel	65	220		140	210		180	230	
Stark		25	480		40	530		80	650
p(St)* Durchgangsfrequenz prozentual zu ohne Wald	**14%**	**17%**	**35%**	**21%**	**29%**	**50%**	**100%**	**100%**	**100%**
$p(St)_{(Schwach)}$	10.00%			10.00%			100.00%		
$p(St)_{(Mittel)}$	20.00%	15.00%		25.00%	25.00%		100.00%	100.00%	
$p(St)_{(Stark)}$		30.00%	35.00%		50.00%	50.00%		100.00%	100.00%
n(St) Total	**2**	**1**	**1**	**3.48**	**1.79**	**1.58**	**20.87**	**7.65**	**3.87**
***p(rA)* Total**	**0.0048**	**0.0024**	**0.0027**	**0.0073**	**0.0043**	**0.0039**	**0.0348**	**0.0148**	**0.0077**
$p(rA)_{(Schwach)}$	0.0035			0.0035			0.0348		
$p(rA)_{(Mittel)}$	0.0070	0.0022		0.0087	0.0037		0.0348	0.0148	
$p(rA)_{(Stark)}$		0.0044	0.0027		0.0074	0.0039		0.0148	0.0077
$Aw(PS)_{j,k}$ **: Schadensausmass Personen in Fahrzeugen "Direkttreffer"**									
$Aw(PS)_{(Schwach)}$	0.0003			0.0001			0.0017		
$Aw(PS)_{(Mittel)}$	0.0030	0.0032		0.0080	0.0051		0.0413	0.0225	
$Aw(PS)_{(Stark)}$		0.0009	0.0107		0.0024	0.0169		0.0098	0.0415
A_j **: monetarisiertes Schadensausmass**									
$A_{(Schwach)}$	SFr. 1'435			SFr. 717			SFr. 8'609		
$A_{(Mittel)}$	SFr. 14'922	SFr. 16'133		SFr. 40'174	SFr. 25'667		SFr. 206'609	SFr. 112'444	
$A_{(Stark)}$		SFr. 4'583	SFr. 53'625		SFr. 12'222	SFr. 84'587		SFr. 48'889	SFr. 207'478
***Rj:* Risiko**	**SFr. 2'453**	**SFr. 912**	**SFr. 322**	**SFr. 6'134**	**SFr. 1'667**	**SFr. 508**	**SFr. 32'283**	**SFr. 7'099**	**SFr. 1'245**
$R_{(Schwach)}$	SFr. 215			SFr. 108			SFr. 1'291		
$R_{(Mittel)}$	SFr. 2'238	SFr. 710		SFr. 6'026	SFr. 1'129		SFr. 30'991	SFr. 4'948	
$R_{(Stark)}$		SFr. 202	SFr. 322		SFr. 538	SFr. 508		SFr. 2'151	SFr. 1'245

Szenarien	Waldzustand heute			verbleibender Bestand nach Pflege			ohne Wald		
	0-10w	**10-30w**	**30-300w**	**0-10g**	**10-30g**	**30-300g**	**0-10**	**10-30**	**30-300**
Blockdurchmesser [m]	0.4	0.6	1.3	0.4	0.6	1.3	0.4	0.6	1.3
Häufigkeit p_j	0.15	0.044	0.006	0.15	0.044	0.006	0.15	0.044	0.006
Risiko Kantonsstrasse									
Intensitätskarte Abschnitte g	**345**	**510**	**715**	**425**	**520**	**715**	**490**	**700**	**730**
Schwach	235			290			310		
Mittel	110	510		135	520		180	680	
Stark			715			715		20	730
p(St)* Steinschlagaktivität prozentual zu ohne Wald	**40%**	**30%**	**55%**	**42%**	**35%**	**65%**	**100%**	**100%**	**100%**
p(St)* *(Schwach)	55.00%			55.00%			100.00%		
p(St)* *(Mittel)	7.50%	30.00%		15.00%	35.00%		100.00%	100.00%	
p(St)* *(Stark)			55.00%			65.00%		100.00%	100.00%
n(St) Total	**3**	**1**	**1**	**3.18**	**1.17**	**1.18**	**7.53**	**3.33**	**1.82**
***p(rA)* Total**	**0.0035**	**0.0012**	**0.0018**	**0.0030**	**0.0013**	**0.0021**	**0.0061**	**0.0029**	**0.0032**
p(rA)* *(Schwach)	0.0048			0.0191			0.0348		
p(rA)* *(Mittel)	0.0007	0.0044		0.0052	0.0052		0.0348	0.0148	
p(rA)* *(Stark)			0.0043			0.0050		0.0148	0.0077
***Aw(PS)* $_{j,k}$: Schadensausmass Personen in Fahrzeugen "Direkttreffer"**									
Aw(PS)* *(Schwach)	0.0003			0.0013			0.0025		
Aw(PS)* *(Mittel)	0.0001	0.0042		0.0013	0.0049		0.0115	0.0185	
Aw(PS)* *(Stark)			0.0070			0.0082		0.0007	0.0129
***A* $_j$: monetarisiertes Schadensausmass**									
A* *(Schwach)	SFr. 1'293			SFr. 6'357			SFr. 12'355		
A* *(Mittel)	SFr. 660	SFr. 20'778		SFr. 6'457	SFr. 24'716		SFr. 57'391	SFr. 92'346	
A* *(Stark)			SFr. 34'868			SFr. 41'207		SFr. 3'395	SFr. 64'726
***Rj:* Risiko**	**SFr. 293**	**SFr. 914**	**SFr. 209**	**SFr. 1'922**	**SFr. 1'088**	**SFr. 247**	**SFr. 10'462**	**SFr. 4'213**	**SFr. 388**
R* *(Schwach)	SFr. 194			SFr. 954			SFr. 1'853		
R* *(Mittel)	SFr. 99	SFr. 914		SFr. 968	SFr. 1'088		SFr. 8'609	SFr. 4'063	
R* *(Stark)			SFr. 209			SFr. 247		SFr. 149	SFr. 388

Risiko Direkttreffer Strassen

Szenarien	Waldzustand heute			verbleibender Bestand nach Pflege			ohne Wald		
	0-10w	**10-30w**	**30-300w**	**0-10g**	**10-30g**	**30-300g**	**0-10**	**10-30**	**30-300**
Blockdurchmesser [m]	0.4	0.6	1.3	0.4	0.6	1.3	0.4	0.6	1.3
Häufigkeit p_j	0	0	0	0	0	0	0	0	0
***R:* Nationalstrasse**		**SFr. 3'687**			**SFr. 8'308**			**SFr. 40'626**	
Rj: Nationalstrasse	SFr. 2'453	SFr. 912	SFr. 322	SFr. 6'134	SFr. 1'667	SFr. 508	SFr. 32'283	SFr. 7'099	SFr. 1'245
***R:* Kantonsstrasse**		**SFr. 1'416**			**SFr. 3'257**			**SFr. 15'063**	
Rj: Kantonsstrasse	SFr. 293	SFr. 914	SFr. 209	SFr. 1'922	SFr. 1'088	SFr. 247	SFr. 10'462	SFr. 4'213	SFr. 388
***R:* National- und Kantosstrasse**		**SFr. 5'103**			**SFr. 11'565**			**SFr. 55'689**	
Rj: National- und Kantonsstrasse	SFr. 2'746	SFr. 1'826	SFr. 531	SFr. 8'056	SFr. 2'755	SFr. 755	SFr. 42'745	SFr. 11'311	SFr. 1'633
Risikoreduktion durch Wald		**SFr. 50'586**			**SFr. 44'124**				

Anhang D: Fotodokumentation



Abb. 1: Gruobenwald: Gruobenwald zwischen Sattelflue und Verkehrwegen.

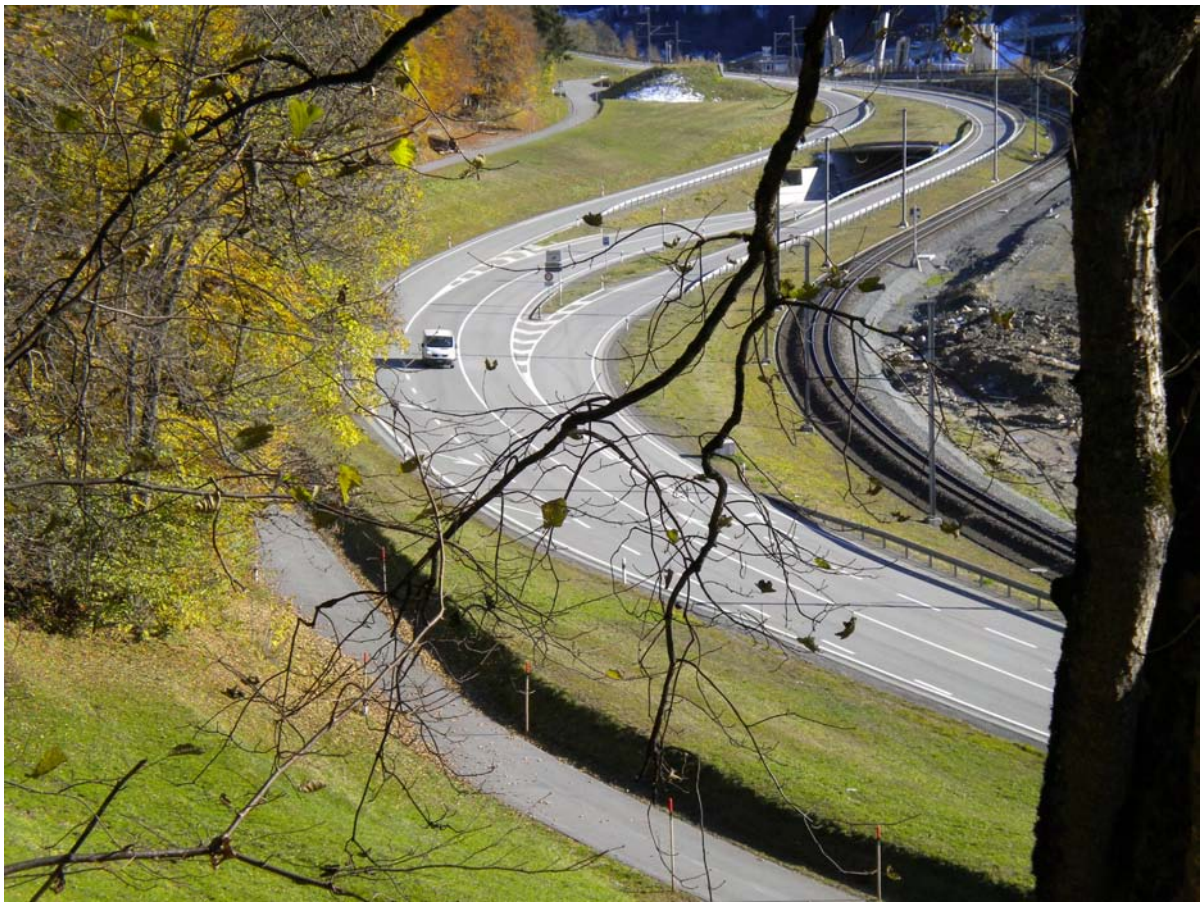


Abb. 2: Verkehr: Verzeigung National- und Kantonsstrasse sowie Trasse der RhB befinden sich unmittelbar unterhalb des Gruobenwalds.



Abb. 3: Ausbruchsgebiet: Unterschiedlich stark gebankte Kalke in Wechsellage mit zurückgewitterten Kalk- und Mergellagen verursachen eine hohe Steinschlagaktivität. Im Vordergrund massiger Sturzkörper, welcher unmittelbar unterhalb der Felswand abgelagert wurde.



Abb. 4: Fallböden: Schutzverbauung bestehend aus Steinkorbmauer und „Schutznetz“ besitzt eine geringe Zuverlässigkeit.

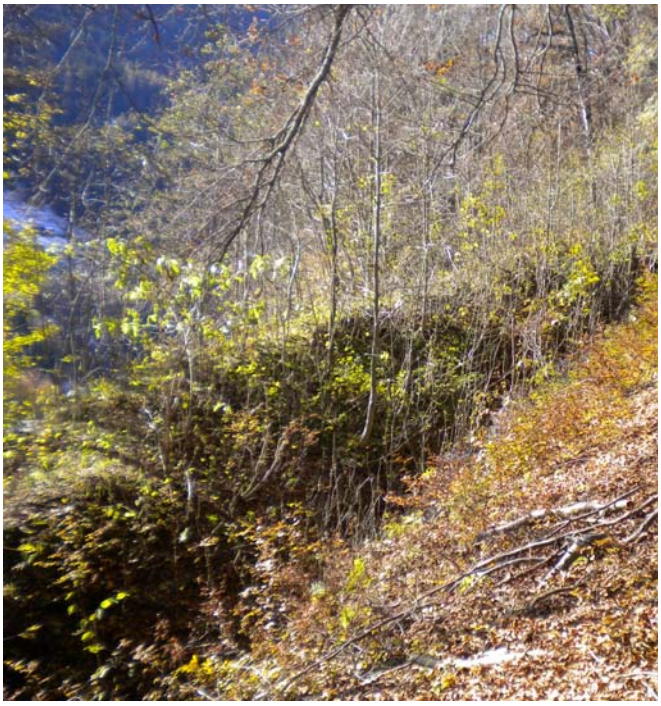


Abb. 5: Schutzdamm: Schutzdamm oberhalb Chus besitzt aufgrund der geringen Nutzhöhe und der bergseitigen flachen Böschung eine eingeschränkte Zuverlässigkeit.

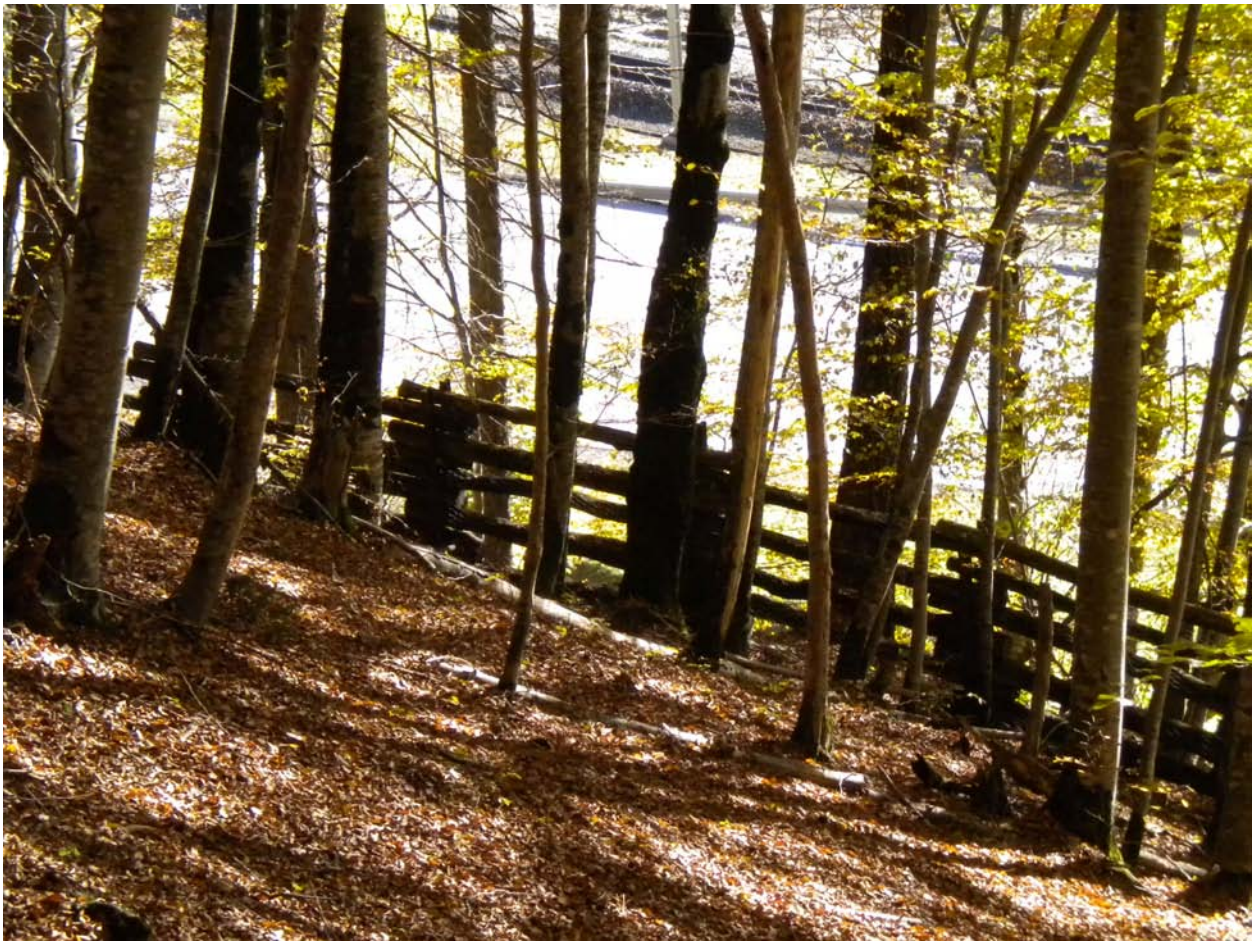


Abb. 6: Steinschlagschutzwand: Die Schutzwand bestehend aus Stahlprofilen mit Holzausfachung besitzt eine beschränkte Zuverlässigkeit. Sie hält Einwirkung bis ca. 50 kJ stand.



Abb. 7: Wanderweg: Auf und direkt unterhalb des Wanderwegs lagern sich gehäuft Steine ab.



Abb. 8: Stangenholz: Stangenholz mit aufgehaltenem Sturzkörper.



Abb. 9: Öffnungen: Bestandesöffnung im oberen bereich des Gruobenwalds.



Abb. 10: Lückiger Bestand: lückiegr Ahornbestand direkt unterhalb der Felswand.

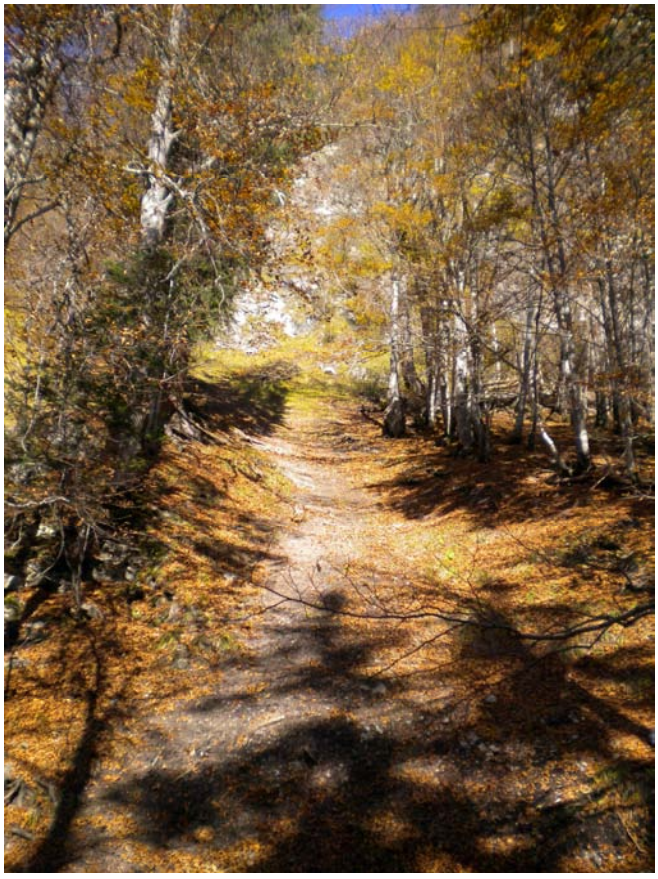


Abb. 11: Runse oben: Die Runse weist direkt unterhalb der Felswand frische „Schleifspuren „ auf.

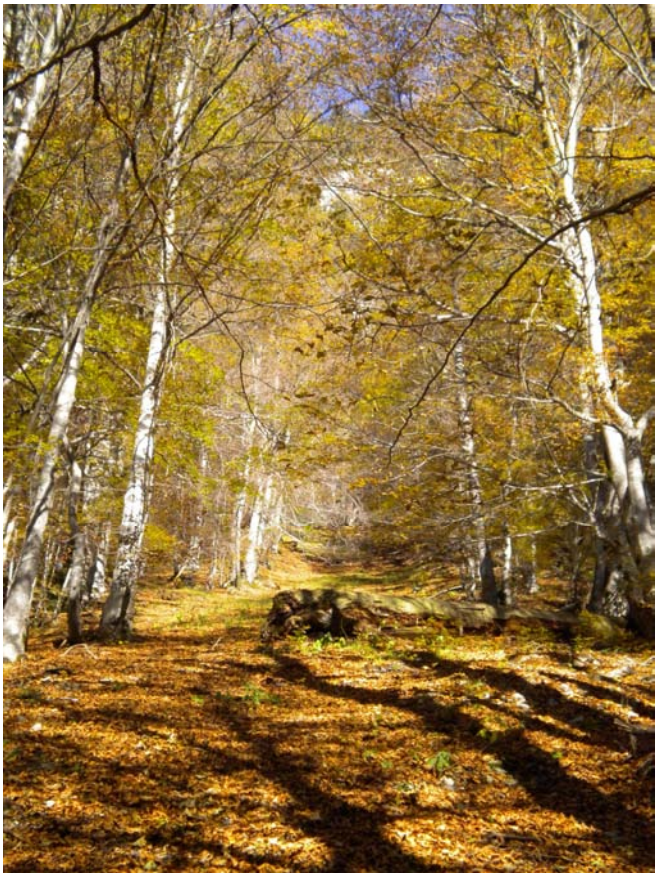


Abb. 12: Runse weiter unten: Im unteren Bereich der Runse treten Gleitprozesse seltener auf. Es sind keine frischen Spuren sichtbar.