

Bewertung der Schutzfunktion der Lawinenverbauungen aus Stein- und Materialterrassen auf der Schwager Gonde



Masterarbeit eingereicht von
Patrick Josef Siegele BSc.

Betreut von **Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Johannes Hübl**
und **Dipl.-Ing. Siegfried Sauer Moser**

am Institut für Alpine Naturgefahren
Department für Bautechnik und Naturgefahren



Wien, 5. Dezember 2016

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Danksagung	IV
Eidesstattliche Erklärung.....	V
Zusammenfassung.....	VI
Abstract	VII
Abkürzungsverzeichnis	VIII
1. Einleitung und Problemstellung.....	1
1.1 Historische Lawinenschutzbauten	1
1.1.1 Historische Entwicklung.....	1
1.1.2 Bauwerkstypen	2
1.1.3 Anfängliche Probleme und deren Lösungen.....	3
1.2 Ausgangslage im Projektgebiet	4
1.3 Durchgeführte Maßnahmen im Projektgebiet	5
1.3.1 Generelles Projekt aus dem Jahr 1953	5
1.3.2 Umgesetzte Maßnahmen in den Jahren 1954 bis 1958	6
1.3.3 Detailprojekt aus dem Jahr 1958 – Lawinen bei Glittstein	6
1.4 Problemstellung	7
2. Zielsetzung.....	9
3. Das Untersuchungsgebiet	10
3.1 Allgemein.....	10
3.1.1 Lage.....	10
3.1.2 Klima.....	11
3.1.3 Geologie	12
3.1.4 Vegetation	12

4.	Material und Methoden.....	13
4.1	Vorarbeiten	13
4.2	Grobbeurteilung.....	13
4.2.1	Zustand der Bauwerke.....	14
4.2.2	Relevantes Schadenspotential	16
4.3	Wirkungsbeurteilung der Bauwerke.....	17
4.3.1	Bestimmung der extremen Schneehöhe H_{ext}	17
4.3.2	Bestimmung und Beurteilung der effektiven Werkhöhe $H_{K,\text{eff}}$	18
4.3.3	Bestimmung der effektiven Werksabstände L'_{eff}	20
4.3.4	Erforderliche Werksabstände L' gemäß ONR 24806.....	21
4.3.5	Bestimmung der Anbruchmächtigkeit d_{OR} einer Oberlawine	22
4.3.6	Wirkung gegen Steinschlag und Hanginstabilitäten.....	24
4.3.7	Berechnung einer Jährlichkeit für die Verbauungsmaßnahmen	25
4.4	Beurteilung der Aufforstungsmaßnahmen	26
4.4.1	Längsprofil	26
4.4.2	Fixe Probekreise.....	27
4.4.3	Abgrenzung eines lawinenschutzwirksamen Waldes	28
4.5	Sanierungs- oder Ergänzungsmaßnahmen	29
4.5.1	Erschließungsvariante	29
4.5.2	Maßnahmen an beschädigten Steinterrassen	30
4.5.3	Ergänzungs- oder Ersatzmaßnahmen.....	31
4.5.4	Auswirkungen auf die Gefahrenzonenplanung	32
5.	Ergebnisse	34
5.1	Vorarbeiten	34
5.1.1	Eckdaten des Verbauungsprojektes	34
5.1.2	Auszüge aus der Lawinenchronik.....	36
5.2	Grobbeurteilung.....	37

5.2.1 Zustand der Bauwerke.....	38
5.2.2 Relevantes Schadenspotential	45
5.3 Wirkungsbeurteilung der Bauwerke	47
5.3.1 Bestimmung der extremen Schneehöhe H_{ext}	47
5.3.2 Bestimmung und Beurteilung der effektiven Werkhöhe $H_{\text{K,eff}}$	49
5.3.3 Bestimmung der effektiven Werksabstände L'_{eff}	50
5.3.4 Erforderliche Werkabstände L' gemäß ONR 24806	51
5.3.5 Bestimmung der Anbruchmächtigkeit d_{0R} einer Oberlawine	51
5.3.6 Wirkung gegen Steinschlag und Hanginstabilitäten.....	53
5.3.7 Berechnung einer Jährlichkeit für die Verbauungsmaßnahmen	54
5.3.8 Wirkungsbeurteilung der Abweisdämme	56
5.4 Beurteilung der Aufforstungsmaßnahmen	57
5.4.1 Längsprofil	57
5.4.2 Fixe Probekreise.....	58
5.4.3 Abgrenzung eines lawinenschutzwirksamen Waldes	60
5.5 Sanierungs- oder Ergänzungsmaßnahmen	64
5.5.1 Erschließungsvariante	64
5.5.2 Maßnahmen an beschädigten Steinterrassen	66
5.5.3 Ergänzungs- oder Ersatzmaßnahmen.....	70
5.5.4 Auswirkungen auf die Gefahrenzonenplanung	79
6. Diskussion und Ausblick.....	81
Anhang	IX
Abbildungsverzeichnis	XIX
Tabellenverzeichnis.....	XXI
Formelverzeichnis	XXII
Literaturverzeichnis.....	XXIII

Danksagung

Ich möchte mich bei allen Personen, die mich bei der Erstellung dieser Masterarbeit unterstützt haben, recht herzlich bedanken.

Ein großer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Siegfried Sauermoser für die Chance, im Rahmen meiner Masterarbeit, gemeinsam mit der Wildbach- und Lawinenverbauung, ein sehr interessantes Thema bearbeiten zu dürfen.

Ein weiterer Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. Walter Gebhard und allen Mitarbeiter/Innen der Gebietsbauleitung Oberes Inntal für die gute Zusammenarbeit und die laufende Unterstützung bei der Verfassung dieser Masterarbeit. Besonders bedanke ich mich bei Herrn Ing. Mathias Huber für die gemeinsame Begehung und Bewertung der Hochlagenaufforstung.

Des Weiteren bedanke ich mich bei den Mitarbeiter/Innen der Stabstelle für Schnee und Lawinen, besonders bei Herrn Ing. Mag. Christian Tollinger, für die Unterstützung bei der Durchführung der Lawinensimulationen und die Hilfe bei der Interpretation der Ergebnisse.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. nat. techn. Johannes Hübl für die laufende Hilfestellung, den fachlichen Input und die Betreuung der vorliegenden Masterarbeit.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Patrick Josef Siegele, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt und mich fremder Hilfe nicht bedient habe. Alle Stellen, die wörtlich oder sinngemäß veröffentlichtem oder nicht veröffentlichtem Schrifttum entnommen sind, wurden als solche kenntlich gemacht.

Wien, am 5. Dezember 2016

Patrick Josef Siegele

Zusammenfassung

Aufgrund der seit Jahrhunderten andauernden Entwaldung, sowie den Auswirkungen des Lawinenwinters 1950/51 wurde seitens der WLV ein Schutzprojekt zur Sanierung des vorderen Paznauntales ausgearbeitet. Im Gebiet der Schwager Gonde wurden von 1954 bis 1961 insgesamt 25 Stein- und 62 Materialterrassen, sowie 2 Abweisdämme gebaut. Zudem wurden 46 ha aufgeforstet und 5.160 m Kulturzaun errichtet.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde untersucht, ob die damals festgelegten Projektziele erreicht werden konnten, wie der bauliche Zustand und die Wirkung der Terrassen ist, wo die Hochlagenaufforstung bereits lawinenschutzwirksam ist und wie sich ein Ergänzungs- bzw. Ersatzkonzept auf die Gefahrenzonenplanung auswirken würde.

Die Ergebnisse zeigen, dass die 25 trockengemauerten Steinterrassen einigermaßen gut erhalten sind. Die 62 Materialterrassen befinden sich aufgrund von Setzungserscheinungen und Verformungen mehrheitlich in einem mangelhaften bzw. schlechten Zustand. Die Wirkungsbeurteilung zeigt, dass die Werkhöhen zu gering und die Werksabstände zu groß gewählt wurden.

Trotz dem in der Vergangenheit befürchteten Totalausfall hat sich die Hochlagenaufforstung auf den günstigen Standorten sehr gut entwickelt und unterhalb von 1.950 m Seehöhe besitzt der Wald bereits die volle Schutzfunktion. Die Aufforstung bis auf 2.350 m Seehöhe ist allerdings nicht gelungen.

Um ein Stück der Verbauungsgeschichte erhalten zu können, wurde eine Maßnahmenvariante zur Sanierung der 25 Mauerterrassen ausgearbeitet. Da sich dadurch die Lawinenschutzwirksamkeit nicht wesentlich verbessert, wurde zusätzlich ein Ersatzkonzept am Beispiel der Glittstein-Lawine geplant. Der Aufschließungsweg, die Verbauung mittels Stahlschneebrücken und die Aufforstung der Bestandeslücken verursachen dabei Kosten von rund 2,1 Mio. Euro. Nach Umsetzung dieser Verbauungsmaßnahmen wäre es möglich die Gefahrenzonen im Siedlungsraum zurückzunehmen.

Schlüsselwörter: Lawinenverbauung, Steinterrassen, Hochlagenaufforstung

Abstract

On account of the deforestation continuing since centuries, as well as the impact of the avalanche winter 1950/51 a protective project for the rehabilitation of the front section of Paznauntal valley was developed by the WLV. In the area of Schwager Gonde in total 25 stone terraces, 62 material terraces and 2 avalanche dams were built from 1954 to 1961. In addition 46 hectares were reforested and 5.160 m culture fence was installed.

Within the context of this master thesis it was examined if the former project aims could be achieved, how the structural condition and the protective effect of the terraces is, where the afforestation is already effective against avalanche release and how does a supplementary or replacement concept affects the hazard mapping.

The results show that 25 stone terraces are fairly well-preserved. The 62 material terraces are because of subsidence formation and deformation in a bad condition. The efficacy assessment shows that the construction heights are too low and the distances between the terraces were chosen too big.

Despite the feared total failure in the past the high situation reforestation has developed very well on the favorable locations. Below 1.950 m sea level the forest already owns the full protective function against avalanche release. However, a reforestation up to 2.350 m sea level has not succeeded.

To be able to keep a piece of the avalanche protection history, a concept on the restoration of the 25 stone terraces was drafted. Due to this restoration concept the avalanche protective effectiveness could not improve significantly therefore replacement measures for the example of the Glittstein avalanche were designed. The development of a road, the avalanche control structures and the reforestation cause costs of approximately 2,1 million Euros. After implementing this protective measures it would be possible to reduce the hazard zones.

Keywords: avalanche control structures, masonry terraces, high altitude afforestation

Abkürzungsverzeichnis

d_0	Anbruchmächtigkeit Oberlawine ohne Verbauung
d_0^*	Ausgangswert der Anbruchmächtigkeit
$d_0^*(150)_{28}$	gemittelte 150-jährliche, auf 28 ° Hangneigung bezogene 3-Tages-Neuschneezuwächse
DGM	Digitales Geländemodell
DOM	Digitales Oberflächenmodell
$f(\beta)$	Neigungskorrekturfaktor für d_0^*
GIS	Geographisches Informationssystem
GZP	Gefahrenzonenplan
HD	Hydrographischer Dienst
H_{ext}	extreme Schneehöhe
H_K	Werkhöhe
$H_{K^{\text{eff}}}$	effektive (reduzierte) Werkhöhe
H_{ref}	Referenzhöhe (1.600 m)
L'	Erforderlicher Werksabstand (nach ONR 24806)
L^{eff}	effektiver Werksabstand
WK	Wirkungsklasse
WLV	Wildbach- und Lawinenverbauung

1. Einleitung und Problemstellung

Dieses Kapitel soll einen kurzen Überblick über die historische Entwicklung von Lawinenanbruchverbauungen, über die am häufigsten verwendeten Bauwerkstypen, sowie die Ausgangslage und die durchgeführten Maßnahmen im Projektgebiet der Schwager Gonde geben.

1.1 Historische Lawinenschutzbauten

Im folgenden Absatz wird kurz die historische Entwicklung der Lawinenanbruchverbauung, samt deren Probleme und Lösungen, aufgezeigt. Des Weiteren werden verschiedene Varianten von Terrassen- bzw. Mauerbauwerken aufgezeigt.

1.1.1 Historische Entwicklung

In Tirol wurden technische Maßnahmen gegen Lawinen bis in die Zeit nach dem Ersten Weltkrieg nur vereinzelt und überwiegend zum Schutz von Verkehrswegen, wie etwa der Arlbergbahn, errichtet. Der erste nachweisliche Direktschutz (steingeschlichteter Ablenkkeil) für eine Einzelsiedlung geht auf das Jahr 1613 zurück und wurde zum Schutze des Weilers Birche in der Gemeinde Galtür errichtet (Aulitzky et al., 1984). Während dem Beginn des Lawinenverbaus und in den Jahren danach sind in den Anbruchgebieten etliche Kilometer Mauer- und Erdterrassen errichtet worden (Rudolf-Miklau & Sauermoser, 2011). So wurden zum Beispiel in der Schweiz in den Jahren 1876 bis 1938 rund 1.000 km Stützwerke errichtet, wobei es sich zu 95 % um Mauern und Terrassen handelt (SELVA, 1972). Die ersten dokumentierten Erdterrassen in Österreich sind im Jahr 1925 zum Schutze des Weilers Mittereegg (Gemeinde Berwang, Tirol) errichtet worden (Rudolf-Miklau & Sauermoser, 2011).

1.1.2 Bauwerkstypen

Steinterrassen und Steinmauern werden als massive Bauwerke bezeichnet, das bedeutet, dass die Bauwerke ohne durchbrochene Fläche errichtet werden. Für den Bau wurde meistens das an Ort und Stelle vorgefundene Material (Steine, Erde) verwendet (Margreth & Blum, 2011). Holz oder gar Stahl kamen nur ausnahmsweise für einige wenige Schneerechen in engen Couloirs zum Einsatz (SELVA, 1972). Bei Steinmauern handelt es sich um sogenannte Schwergewichtsmauern. Die Einwirkungen infolge Schnee-, Wasser oder Erddruck und das Eigengewicht dieser Mauern stehen dabei im Gleichgewicht mit der Reaktionskraft am Fundament bzw. dem Tragwiderstand des Mauerwerkes. Die Stabilität ist dabei insbesondere von der Dicke der Mauer und der Fundamentbreite abhängig (Margreth & Blum, 2011).

Folgende Bauwerkstypen werden unterschieden (Abbildung 1):

- **Freistehende Steinmauer:** Diese Mauer steht frei im Gelände. In der Regel weist die Vorderseite einen Anzug von 1:5 auf, wobei die Rückseite senkrecht ausgebildet wird. Die Kronenstärke beträgt circa 0,6 – 0,8 m.
- **Hinterfüllte Steinmauer:** Diese Mauer besitzt bergseitig eine schräge Anschüttung, um das Mauerwerk vor Steinschlag, Verwitterung und Lawinenaufprall zu schützen.
- **Mauer-, oder Steinterrasse:** Diese Mauer besitzt bergseitig eine horizontale Anschüttung. Von dieser Bauweise wurde ein besseres Abstützen der Schneedecke erwartet. Ab circa 1910 wurden in der Schweiz mehrheitlich Terrassen gebaut, da sie auch billiger in der Herstellung waren (Margreth & Blum, 2011).
- **Gemischte Terrasse bzw. Materialterrasse:** Bei Steinknappheit behelfen sich die Arbeiter mit Mischmauerwerk, bestehend aus wechselnden Lagen von Steinen und Rasenziegeln oder Polstern von Zwergstrauchheiden. Diese Terrassen werden auch Bermen genannt, besitzen ein Steinfundament und einen Anzug von 1:3 bis 1:4.

- **Sonstige Bauweisen:** Auch gefüllte Drahtschotterbehälter oder Terrassen aus Holzkonstruktionen, sogenannte Schneerechen, wurden ebenfalls zur Verhinderung eines Lawinenanbruches verwendet (Strele, 1950).

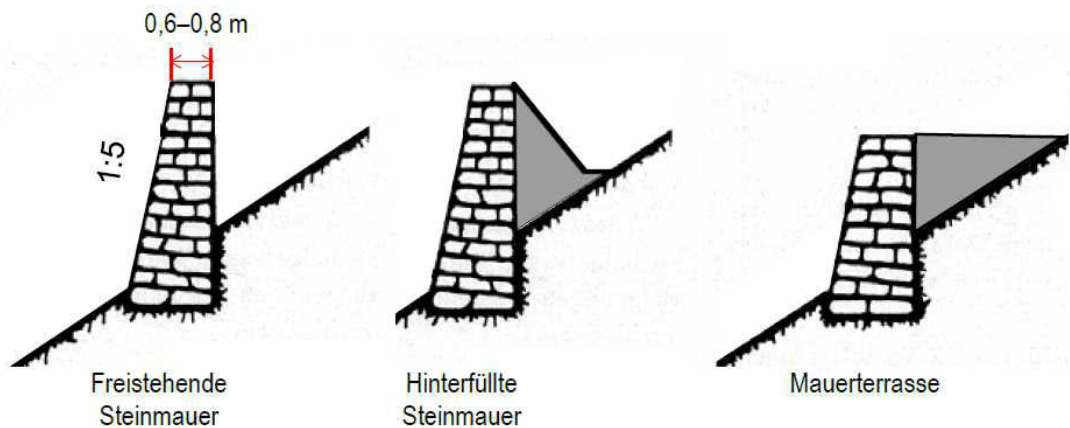


Abbildung 1: Definition der verschiedenen Werkstypen (Margreth & Blum, 2011)

1.1.3 Anfängliche Probleme und deren Lösungen

Bereits im Jahr 1910 stellten Schweizer Experten, wie Forstmeister *Johann Coaz* fest, dass die anfänglich erbauten Terrassen zu niedrig waren. Dies führte später zum Bau von Mauern mit einer Höhe von bis zu 9 m (Rudolf-Miklau & Sauermoser, 2011). Im Blasegg-Gebiet oberhalb des Bahnhofes von Langen am Arlberg reichten aufgrund der hohen Schneemengen an manchen Stellen die Mauerhöhen ebenfalls nicht aus. Zur Lösung dieses Problems sind die Mauern in jedem Winter während Schönwetterperioden mit Scheeziegeln aufgestockt worden (Rödel, 2016). Diese Schneedämme froren zusammen und bildeten gemeinsam mit der festgestampften Schnee-hinterfüllung ausreichend Widerstand. Auf diese Weise wurden die Mauern allmählich und mit gutem Erfolg erhöht, in einzelnen Fällen sogar um bis zu 15 m (Strele, 1950).

Ab 1940 sind in der Schweiz die Steinmauern und Mauerterrassen bereits durch gegliederte Stützwerke in der Form von Stahlschneebrücken oder Schneenetzen abgelöst worden. Zudem wurden gegliederte Stützwerke oft

auch in Verbauungen mit Mauern integriert, um deren Wirkung zu erhöhen (Margreth & Blum, 2011). Die Schweizer veröffentlichten bereits 1955 die „Schweizer Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet“ zur Bemessung und Anordnung von gegliederten Stützwerken. Diese Richtlinie, bis heute natürlich mehrfach überarbeitet, ist in vielen Ländern als Grundlage für die Errichtung von Stützwerken anerkannt.

In Österreich führten die Lawinenkatastrophen zu Beginn der 1950-er Jahre ebenfalls zu einem Umdenken im Technischen Lawinenschutz und setzten umfangreiche Verbauungstätigkeiten in Gange. Auch hier wurde erkannt, dass durch die Errichtung von nahezu hangsenkrechten Stützbauwerken aus Holz, Stahl oder Drahtseilen, wesentlich bessere Erfolge erzielt werden konnten, als mit den bisher üblichen Terrassen oder Mauern. Dabei mussten die Stützbauwerke mindestens so hoch sein wie die extreme Schneehöhe. Zu Beginn wurden in Österreich in großem Umfang Stahlschneebrücken aus vorfabrizierten Stahlelementen der Österreichisch-Alpine Montangesellschaft (heute Voestalpine) eingesetzt. Diese Verbauungstypen kamen erstmals in großem Umfang am Heuberg in Häselgehr (Tirol) zum Einsatz. Die Stahlstützwerke mussten mit Betonfundamenten verankert werden, was auch den Transport von Zement und Wasser erforderte und hohe Transportkosten verursachte. Deshalb wurden in den 1980-er Jahren erste erfolgreiche Versuche mit gebohrten Verankerungen und Sprengankern durchgeführt, welche infolge des geringeren Materialbedarfs Kosteneinsparungen erlaubten. Diese sogenannte Grundplatten-, Anker- und Mikropfahlfundationen haben sich bis heute bewährt (Rudolf-Miklau & Sauermoser, 2011).

1.2 Ausgangslage im Projektgebiet

Im Winter des Jahres 1950/51 suchten schwere Lawinenkatastrophen den Alpenraum heim, welche auch das Paznauntal nicht verschonten und Menschenleben, Schäden an Gebäuden, Wäldern und landwirtschaftlichen Flächen verursachten (WLV, 1958). Alleine im Jahre 1951 fielen im Bezirk Landeck rund 13.900 fm Schadholz aufgrund von Lawinen an, zudem wurden rund 9.750 fm Schneebruch- und Schneedruckholz verzeichnet (BFI, 2000).

Mitverantwortlich für die Lawinenunglücke war die schon seit Jahrhunderten fortschreitende Entwaldung. Durch Bau- und Brennholzentnahme, Rodung für die Landwirtschaft, Alpvergrößerung, Lawinen und Steinschlag verschlechterte sich der Zustand des Waldes drastisch. Nach den Auswirkungen des Lawinenwinters 1950/51 häuften sich die Ansuchen der Gemeinden um Verbauung zahlreicher Lawenstriche bei den Gebietsbauleitungen. Zahlreiche Studien zum Waldrückgang und der Möglichkeit der Wiederaufforstung, sowie der Erforschung von Standortsfaktoren in der Kampfzone wurden in dieser Zeit ins Leben gerufen. In dieser Zeit wurde auch der Begriff der „Lawinenvorbeugung“ geschaffen. Diese versucht die Wiederbewaldung der lawinenbetroffenen Gebiete unter Verwendung von technischen und temporären Bauten zur Schwächung bzw. Verhinderung von Lawinenabgängen durchzuführen (WLV, 1958).

1.3 Durchgeführte Maßnahmen im Projektgebiet

1.3.1 Generelles Projekt aus dem Jahr 1953

Im Jahre 1953 wurde seitens der WLV ein generelles Schutzprojekt zur Sanierung des vorderen Paznauntales (Südhänge von Kappl und See) erstellt, welches als eines der Ersten dieser Art bezeichnet werden konnte und sechs gefährliche Lawinenzüge (Moosbach-, Langesthei-, Flunger-, Lahngang-, Glittstein- und Kopfwaldlawine) umfasste. Später sollten für die einzelnen Lawenstriche Detailprojekte ausgearbeitet werden. Im Projektierungsgebiet befanden sich damals circa 50 gefährdete Wohnhäuser, welche teilweise schon mehrmals beschädigt worden waren. Ziele dieses Gesamtprojektes waren die Schließung des Wirtschaftswaldes, die Aufforstung bis zur möglichen Waldgrenze, die Verhinderung von Lawinenanbrüchen durch Verbauungen und den Schutz besonders bedrohter Häuser und Ortschaften durch Abweisdämme.

1.3.2 Umgesetzte Maßnahmen in den Jahren 1954 bis 1958

Zu Beginn dieses Projektes mussten weitere Erkenntnisse zur Ausarbeitung der Detailprojekte gewonnen werden. So wurden beispielsweise Schneehöhenbeobachtungen mit Hilfe von Stummen Zeugen (Senkrechte Holzbalken mit Querlatten im Abstand von 50 cm) und Winterbeobachtungen vom Gegenhang durchgeführt. Zudem wurden 17 Steinterrassen (319 lfm) und 2 Abweisdämme errichtet. Materialtransporte wurden vom Weiler Schrofen (2 h Fußmarsch) mittels Trägerdiensten (1,3 Schilling pro kg Last) durchgeführt. Insgesamt sind 264.230 Bäume gepflanzt worden. Zum Schutz vor Verbiss durch Wild und Weidevieh wurde mit der Errichtung von einem 5.160 m langen verzinkten Drahtgeflechtzaun begonnen (WLV, 1958).

1.3.3 Detailprojekt aus dem Jahr 1958 – Lawinen bei Glittstein

Der Vorbeugungsgrundgedanke des Generellen Projektes von 1953 wurde auch im Detailprojekt beibehalten. Er sah vor, durch forstliche sowie technische Maßnahmen die Lawinengefahr für die Wohnsiedlungen und Kulturgründe abzuschwächen bzw. ganz zu bannen, die Erhaltung der noch vorhandenen Waldbestände zu gewährleisten, die Schließung des Waldes durchzuführen sowie die Waldkrone anzuheben und die Talverhältnisse in bescheidenem Ausmaße zu verbessern. Dazu wurden bis zum Jahre 1961 weitere 70 Terrassen gebaut, die Aufforstungen fortgesetzt und die Kultur einzäunung beendet, wie auf den Fotos in Abbildung 2 ersichtlich (WLV, 1958).



Abbildung 2: Links: Arbeiter bei der Errichtung einer Steinterrasse; Rechts: Kulturzaun (WLV, 1963)

1.4 Problemstellung

Margreth & Blum (2011) weisen darauf hin, dass bei günstigen Standorten und Umweltbedingungen die Mauern selbst nach einer Nutzungsdauer von 100 Jahren noch einen guten Zustand aufweisen können. Aufgrund des schwierigen und steilen Geländes und der zahlreichen Felsbänder, von denen sich Felsstürze lösen können, ist auf der Schwager Gonde vermutlich mit einer geringeren Lebensdauer zu rechnen. Bereits 1968 berichtete Oberforstrat Dipl.-Ing. Leys, dass eine Terrasse auf der Schwager Gonde aufgrund eines Felssturzes völlig zerstört wurde. Zudem berichtete er von verschobenen Kronensteinen und aufgelockerten, verschobenen oder fehlenden Ecksteinen bei zahlreichen weiteren Terrassen. Heute, rund 60 Jahre nach Baubeginn, befinden sich einige Bauwerke vermutlich bereits im Endstadium ihrer Nutzungsdauer. Ohne Unterhalt können Terrassen zerfallen und in weiterer Folge Steinschlag auslösen, welcher wiederum Schäden verursachen kann.

Terrassen sind nur dann voll wirksam, wenn sie die maximale Schneehöhe durchstoßen. Aufgrund der geringen effektiven Werkhöhe und wegen der ausgefüllten Stützfläche ist ihre abstützende und auffangende Funktion im Vergleich zu gegliederten Stützwerken stark eingeschränkt (Margreth,

Burkard, & Buri, 2008). Dipl.-Ing. Leys wies in seinem Artikel aus dem WLW Journal bereits 1968 darauf hin, dass bei einer Schneemächtigkeit über 2 m Stahlschneebrücken vorzuziehen wären.

Bereits bis zum Jahr 1958 sind nach Schätzungen der WLW circa 138.000 Stück, das sind knapp 40 % der insgesamt verpflanzten Bäume, aufgrund von Frost, Lawinen, Steinschlag, Verbiss und nicht autochthonem Saatgut wieder ausgefallen (WLW, 1958). Im Jahre 1973 musste ferner festgestellt werden, dass nahezu 95 % der Lärchen vom Lärchentriebsterben (*Encoeliosis laricina*) befallen waren. Zusätzlich wurde ein Befall auf rund 50 % der Gesamtfläche mit dem Orangelben Braunhaarbecherchen (*Trichoscyphella flavovirens*) festgestellt (Schier, 1974). Dabei befürchteten die Experten, dass es aufgrund der hohen Befallsdichte dieser Pilzkrankheiten zu einem Totalausfall der Aufforstung auf der Schwager Gonde kommen würde.

2. Zielsetzung

Im Rahmen dieser Masterarbeit soll das Verbauungsprojekt „Schwager Gonde“ aus den Baujahren 1954 bis 1961 hinsichtlich seiner Schutzfunktion bewertet werden. Folgende Fragestellungen sollen dabei näher betrachtet werden:

- Ist es gelungen die ursprünglichen Projektgedanken und festgelegten Ziele zu erreichen, oder waren die damaligen Erwartungen zu optimistisch angesetzt?
- In welchem baulichen Zustand befinden sich die Stein- und Materialterrassen, wie ist deren Wirkung hinsichtlich Lawinenanbruch (Gefahr von Oberlawinen) und ist eine Berücksichtigung in der Gefahrenzonenplanung gerechtfertigt?
- Welcher Aufforstungserfolg konnte im Vergleich zum ursprünglich gesetzten Ziel erreicht werden und in welchen Bereichen ist der Wald bereits lawinenschutzwirksam?
- Ist die Verbauung auf der Schwager Gonde überhaupt noch notwendig und falls ja, wie kann diese im Rahmen eines Sanierungs- oder Ergänzungskonzeptes nach derzeitig geltenden Richtlinien angepasst werden?
- Wie würde sich ein Ergänzungs- bzw. Ersatzkonzept auf die Gefahrenzonenplanung auswirken?

3. Das Untersuchungsgebiet

3.1 Allgemein

Im folgenden Kapitel wird das Untersuchungsgebiet näher beschrieben. Hierfür werden die geographische Lage, das Klima, die Geologie und die Vegetation näher erörtert.

3.1.1 Lage

Die Lawinenvorbeugungsmaßnahmen im Gebiet der Schwager Gonde befinden sich im Gemeindegebiet von Kappl, im Bezirk Landeck (Abbildung 3). Das Projektgebiet erstreckt sich über eine Seehöhe von 1.400 m bis 2.350 m (Hochmontan bis Hochsubalpin), wobei sich die Erd- und Steinterrassen auf einer Seehöhe von 2.080 m bis 2.340 m, östlich des Kleingfallkopfes, befinden (Blaue Fläche in Abbildung 3). Aufforstungs- und Kulturpflegemaßnahmen wurden im gesamten Höhenbereich durchgeführt (rote und blaue Fläche in Abbildung 3). Die Exposition des Projektgebietes ist überwiegend Südost. Die Neigung im Anbruchgebiet liegt im Durchschnitt bei rund 40 Grad.

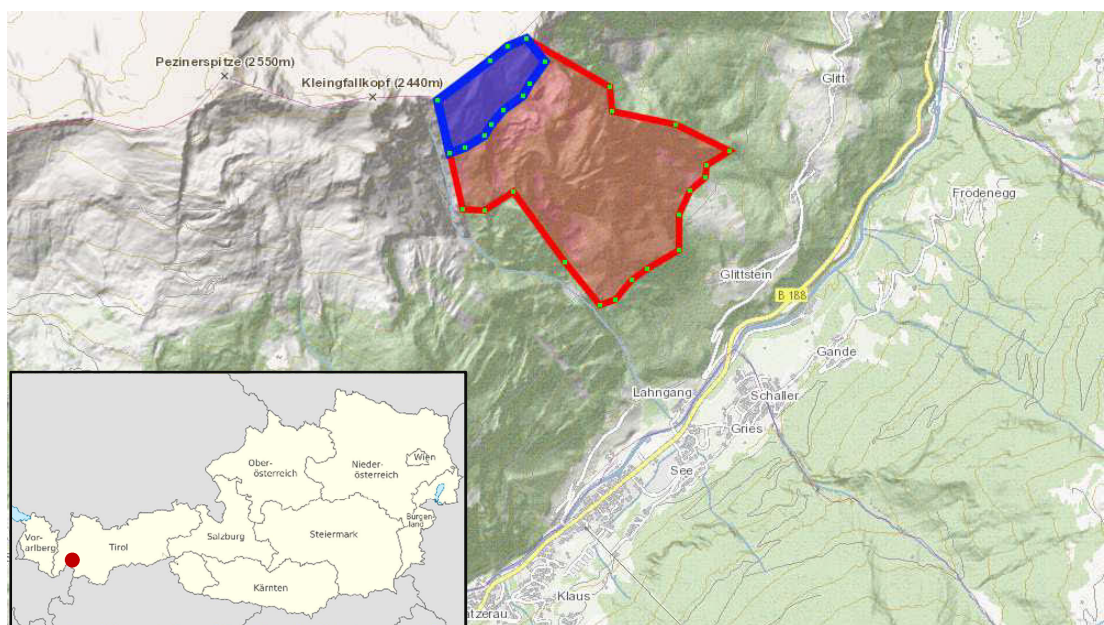


Abbildung 3: Karte zur Lage des Projektgebietes (Tiris, 2016)

3.1.2 Klima

Das Paznauntal grenzt im Westen an die ozeanisch beeinflussten, niederschlagsreicheren Gebiete und erfährt mit zunehmender Näherung an den Talausgang eine kontinentale Prägung. Das Untersuchungsgebiet befindet sich demnach im gemäßigten kontinentalen Klimabereich und wird durch das ozeanisch getönte Klima mitbeeinflusst. Es bilden sich immer wieder Witterungsverhältnisse durch Nordstaulagen, welche zu ergiebigen Niederschlägen führen. Die maßgebliche Windrichtung ist Südwest bis Nord (WLV, 2001). Die dem Projektgebiet am nächsten liegende Klimastation befindet sich in der Nachbargemeinde See auf circa 1.040 m Seehöhe. Wie im Klimadiagramm nach Walter/Lieth in Abbildung 4 dargestellt, beträgt die Durchschnittstemperatur für diese Station rund 6 Grad Celsius und die Niederschlagssumme beträgt rund 1.000 mm pro Jahr (Tirol_Atlas, 2016). Die rote Temperaturlinie zeigt die mittlere Monatstemperatur in °C und die blaue Niederschlagslinie gibt Aufschluss über den mittleren Monatsniederschlag in mm.

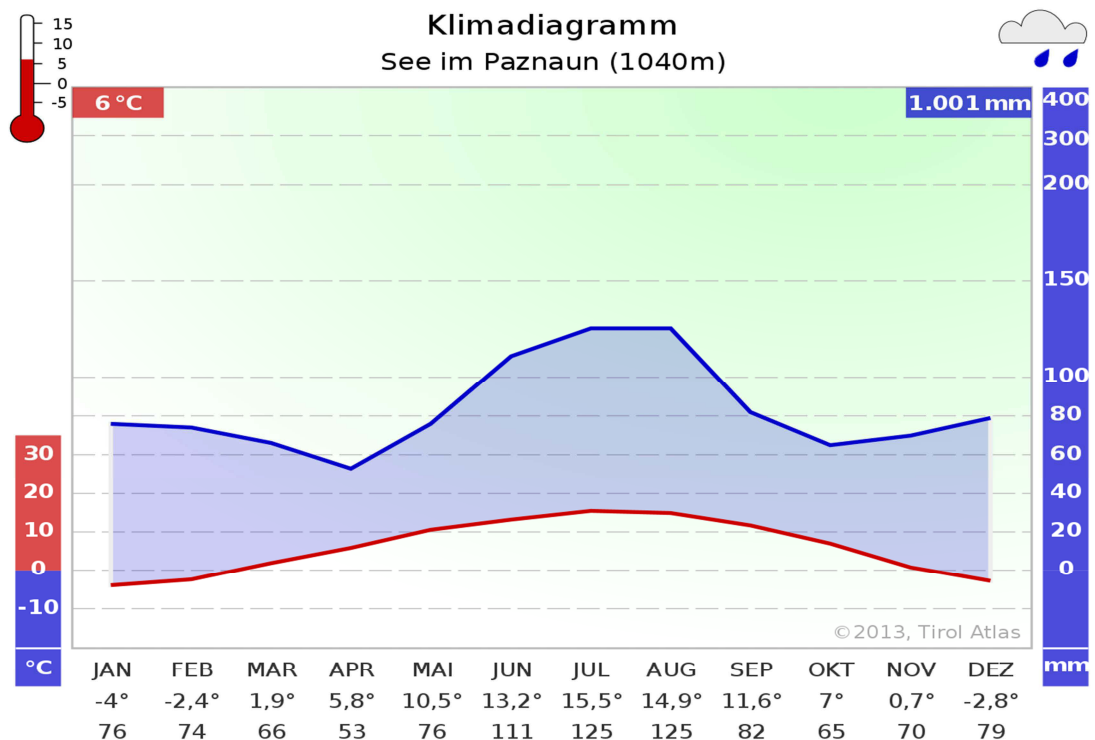


Abbildung 4: Klimadiagramm nach Walter/Lieth für den Zeitraum 1980 bis 2000 (Tirol_Atlas, 2016)

3.1.3 Geologie

Geologisch wird das Gebiet zur nördlichen Schieferhülle des Alpenhauptkammes gezählt. Im Bereich der Schwager Gonde kommen überwiegend zweiglimmerige Schiefergneise vor. Bemerkbar macht sich dies durch größere Felsstürze, den sogenannten „Gonden“, die für die Namensgebung des Gebietes mitverantwortlich sind (WLV, 1958). Auf den silikatischen Grundgesteinen haben sich überwiegend Podsol-, oder Semipodsolböden gebildet. Die häufigsten Humustypen sind Moder und Rohhumus (WLV, 2002).

3.1.4 Vegetation

Das Gebiet der Schwager Gonde befindet sich im ersten Areal des forstlichen Wuchsgebiet 1.2 (Subkontinentale Innenalpen – Westteil). Der Fichtenwald mit Lärche gilt im Silikat als natürliche Waldgesellschaft in der montanen Höhenstufe (bis circa 1.700 m Seehöhe). In der tiefsubalpinen Höhenstufe (1.700 - 1.950 m) wird als Leitgesellschaft der Fichtenwald mit höherem Lärchenanteil und Zirbe erwartet. Im hochsubalpinen Bereich (1.950 – 2.200 m) wird der Lärchen- Zirbenwald als Leitgesellschaft angesehen. Im subalpinen Bereich (1.700 – 2.200 m) kommt an feuchten, schneereichen Standorten (Lawenstriche) Grünerlengebüsch vor (Kilian, Müller, & Starlinger, 1994).

4. Material und Methoden

Die Bewertung der Terrassen auf der Schwager Gonde erfolgt nach den Vorgaben der Praxisanleitung „Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen“ von Stefan Margreth und Martin Blum (2011). Im Rahmen dieses Kapitels werden die angewandten Recherche-, Mess- und Beurteilungsmethoden ausführlich erläutert.

4.1 Vorarbeiten

Im Rahmen der Grundlagenbeschaffung werden sämtliche bereits verfügbaren Informationen zum Projekt seitens der Gebietsbauleitung, der Bezirksforstinspektion, dem Gemeindeamt etc. beschafft. Zudem ist für die Bewertung und spätere Herleitung von möglichen bautechnischen Maßnahmen eine Zuordnung der Bauwerke zu einem Verbauungstyp, gemäß Abbildung 1 vorzunehmen.

4.2 Grobbeurteilung

Im ersten Schritt der Grobbeurteilung wird überprüft, ob ein Handlungs- und Überprüfungsbedarf hinsichtlich des Zustands und der Funktion der Verbauung besteht. Laut Margreth & Blum (2011) existiert dieser, wenn Schäden an den Mauerterrassen vorhanden sind, Mauern auf Grund von Zerfall eine Gefahrenquelle darstellen oder wenn die Wirkung der Verbauung aufgrund von Winterbeobachtungen als ungenügend eingestuft werden kann.

Zur Bestimmung des Überprüfungsbedarfes werden der Zustand und die Funktion der Verbauung erfasst und in weiterer Folge das relevante Schadenspotential erhoben. Zusätzlich erfolgt eine Ersterfassung und Kontrolle der Bauwerke im Bauwerkskataster der Wildbach- und Lawinenverbauung.

4.2.1 Zustand der Bauwerke

Schäden an den Bauwerken werden durch visuelle Kontrollen an allen Terrassen, mittels folgender Checkliste in Tabelle 1 erhoben.

Nr.	Beobachtungen	Typische Ursachen
1	<i>Mauereinsturz</i> (vollständig oder teilweise)	• Verwitterung • Überbeanspruchung von Mauer und Fundament durch Schneedruck, Lawinenaufprall oder Wasserdruck
2	<i>Ausbauchung</i> (Verformung der Mauer)	• Geländebewegungen • mangelhafte Entwässerung • schlechter Maueraufbau • zu kleines Steinmaterial • Frost-Tauwechsel (zu geringe Foundationstiefe)
3	Verschobene oder überhängende <i>Mauerkrone</i> bzw. fehlende Steine an der Krone	• Unterschiedliche Verwitterung • Überbeanspruchung durch Schneedruck, Steinschlag oder Lawinen
4	Verschobene bzw. fehlende <i>Ecksteine</i>	• Überbeanspruchung durch Schneedruck, Steinschlag oder Lawinen
5	<i>Schäden am Fundament</i> (Fundament der Mauer nicht mehr tragfähig, Risse in Steinen)	• Fundament zu klein ausgebildet • Alterung vom Baumaterial • Erosion/Unterspülung/Verwitterung Fundament
6	<i>Durchwurzelung</i> vom Mauerkörper durch Bäume und Sträucher	• natürliche Ansamung • Wurzeldruck
7	<i>Ablagerung</i> von Geröll/Erdmaterial/Felsbrocken	• Erosion • Steinschlag
8	<i>Setzung</i> von Terrassen	• Überbeanspruchung Schneedruck, Steinschlag oder Lawinen • Schlechter Terrassenaufbau • Mangelhafte Entwässerung

Tabelle 1: Typische Schäden an Steinterrassen mit Beispielen zu entsprechenden Ursachen (Margreth & Blum, 2011)

Des Weiteren wird eine Erstaufnahme der noch ausständigen Bauwerke im Bauwerkskataster der Wildbach- und Lawinenverbauung vorgenommen. Darauf aufbauend wird eine Bauwerkskontrolle (K-Protokoll) gemäß den Vorgaben der ONR 24807 durchgeführt. Im Zuge dieser Kontrolle muss der Erhal-

tungszustand und in Folge die Funktionstüchtigkeit eines Bauwerkes durch Augenschein erhoben werden.

Das K-Protokoll enthält eine umfassende standardisierte Zustandsbewertung und muss folgende Angaben enthalten:

- Bezeichnung des Einzugsgebietes,
- die Bauwerksnummer,
- festgestellte Schäden bzw. Mängel (Zustandserfassung):
 - Schäden in der Umgebung des Bauwerkes (z.B. Steinschlag)
 - Funktionale Mängel (z.B. reduzierte Wirkhöhe)
 - Mängel am Bauwerk (z.B. Setzung)
- Zustandsbeurteilung nach Zustandsstufen und Erhaltungszustand,
- Maßnahmen zur Behebung der Mängel inkl. Zeitraum für die Durchführung,
- Vergleich mit dem Befund der letzten Kontrolle,
- und gegebenenfalls die Anordnung einer Prüfung.

Für die Zustandsbeurteilung werden die Bauwerke in eine der vier Zustandsstufen (0, 2, 4, oder 5) gemäß ONR 24807 eingeordnet. Um die Bedeutung der Zustandsstufen konsistent zu halten, werden dabei dieselben Nummern wie in der ONR 24803 verwendet, welche sieben Zustandsstufen beinhaltet. Die Zustandsbeurteilung umfasst dabei eine Prognose der Entwicklung der Standsicherheit und Funktionserfüllung in Abhängigkeit von der Lebensdauer und den einwirkenden Prozessen. Eine Einteilung erfolgt dabei nach dem Zustand der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit und dem Zeithorizont für das Auftreten von Folgeschäden (Tabelle 2). Bauwerke die nicht mehr instand zu halten sind, werden in die Zustandsstufe 0 eingeordnet.

Zustandsstufe		Tragfähigkeit ^a	Gebrauchstauglichkeit ^b	Zeithorizont für das Auftreten von Folgeschäden
0	Bauwerk ist entbehrlich	-	-	-
2	guter Erhaltungszustand	gegeben	gegeben	> 5 Jahre
4	mangelhafter Erhaltungszustand	eingeschränkt	eingeschränkt	2 – 5 Jahre
5	schlechter Erhaltungszustand	sehr eingeschränkt (Einsturzgefahr)	sehr eingeschränkt (keine oder stark eingeschränkte abstützende Wirkung)	1 Jahr
^a zum Aufnahmezeitpunkt (= Sicherheit gegenüber dem Erreichen des Grenzzustandes der Tragfähigkeit, Verlust der Gesamtstabilität des Bauwerkes) ^b zum Aufnahmezeitpunkt (= Funktionstüchtigkeit des Schutzbauwerkes)				

Tabelle 2: Zuordnung der Zustandsstufen für die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zum Aufnahmezeitpunkt und den Zeithorizont für das Auftreten von Folgeschäden (ONR_24807, 2010)

4.2.2 Relevantes Schadenspotential

Aufgrund des fortgeschrittenen Alters und den vorhandenen Schäden der Bauwerke muss das aktuelle Schadenspotential erhoben werden. Dies hat sich seit Fertigstellung des Projektes meist verändert. Unter Schadenspotential versteht man Sachwerte, wie z.B. Gebäude, Infrastruktur, Verkehrswege oder weitere Verbauungsmaßnahmen, welche durch Naturgefahrenprozesse gefährdet sein können. Die Überprüfung erfolgt lokal, das heißt im Verbaungsgebiet und im gesamten Beurteilungssperimeter. Hierzu zählen auch die Sturzbahn und das Auslaufgebiet.

Informationen diesbezüglich werden mit Hilfe des Gefahrenzonenplanes für die Gemeinde Kappl, dem WLK-Kataster, dem Tiroler Rauminformationssystem (Tiris) und Angaben bzw. Unterlagen seitens dem Gemeindeamt und der Gebietsbauleitung gesammelt.

4.3 Wirkungsbeurteilung der Bauwerke

Als zentraler Teil im Beurteilungsschema von Material- und Mauerterrassen gilt die Wirkungsbeurteilung. Hierbei wird geprüft, ob die vorhandene Wirkung der Bauwerke ausreicht, um die Schutzziele zu erfüllen. In weiterer Folge wird beurteilt, ob von den Bauwerken gegebenenfalls eine negative Wirkung ausgehen kann, wie etwa Steinschlag durch Zerfall einer Mauer.

Bei Terrassen ist wegen der häufig ungenügenden Werkhöhe meist der Fall des Anbruchs einer Oberlawine entscheidend. Um letztendlich die Anbruchmächtigkeit einer Oberlawine bestimmen zu können, müssen die effektiven Werkhöhen $H_{K,eff}$ und die effektiven Werksabstände L'_{eff} ermittelt werden.

4.3.1 Bestimmung der extremen Schneehöhe H_{ext}

Für die Berechnung der extremen Schneehöhe gemäß ONR 24806 werden die maximal gemessenen Schneehöhen am Werksstandort, ermittelt durch Sondierung, Pegel oder Ausaperungskartierungen, benötigt. Im Winter wurden im Projektgebiet keine Pegelmessungen vorgenommen. Deshalb wird die extreme Schneehöhe H_{ext} aus der benachbarten Moosbach-Lawine herangezogen. Zur Plausibilitätskontrolle der Werte aus der Nachbarlawine wird die extreme Schneehöhe zusätzlich entsprechend der Empfehlung für die Ermittlung der Schneemächtigkeit in Anbruchgebieten von Lawinen für Tirol und Vorarlberg nach Leichtfried Albert (2010) berechnet.

4.3.1.1 Extreme Schneehöhe aus benachbarter Moosbach-Lawine

Das Anbruchgebiet der Moosbach-Lawine liegt rund 2,7 km westlich der Schwager Gonde und weist eine vergleichbare Exposition sowie Seehöhe auf. Für diese Berechnungen wurden im Jahre 1985 fünf Schneepegel, verteilt über das gesamte Anbruchgebiet, errichtet. Der Pegel Nummer 2 wurde dabei während dem Winter zerstört und nicht für die Berechnung herangezo-

gen. Für den Vergleich mit der effektiven Werkhöhe wird daher der Mittelwert aus den vier berechneten extremen Schneehöhen der Moosbach-Lawine verwendet.

4.3.1.2 Berechnung entsprechend der Empfehlung der ZAMG

Für die Berechnung nach der Empfehlung der ZAMG wird aus der Zonenkarte für Tirol und Vorarlberg der Verbauungsstandort ermittelt, die dazu gehörige Zone bestimmt und in die Excel-Anwendung „he_150“ eingetragen. Im nächsten Schritt wird die Seehöhe des Anbruchgebietes eingegeben. In weiterer Folge werden die für das Gebiet zutreffenden Faktoren für den Windeinfluss, die Exposition, die Region und die Hangneigung zugewiesen. Die Anwendung berechnet automatisch nach den Vorgaben von Leichtfried (2010) die extreme Schneehöhe aus der Zonenkarte und passt diese durch Korrekturfilter für die oben genannten Faktoren an. Das Endergebnis ist die extreme Schneehöhe für ein 150-jährliches Ereignis.

4.3.2 Bestimmung und Beurteilung der effektiven Werkhöhe $H_{K,eff}$

Vor Ort wird hierfür von jeder Terrasse die lotrechte Werkhöhe H_K , wie in Abbildung 5 dargestellt, gemessen. Wegen dem talseitigen Anzug der Mauern muss mit Hilfe einer parallel zum Hang gehaltenen Latte, welche auf der Mauerkrone aufliegt, die Werkhöhe H_K mit dem Meterstab (lotrecht) gemessen werden. Weil jede Terrasse sehr individuell an das Gelände angepasst wurde und nicht überall eine konstante Höhe aufweist, wird an mindestens zwei bis drei Stellen gemessen und daraus ein Mittelwert gebildet.

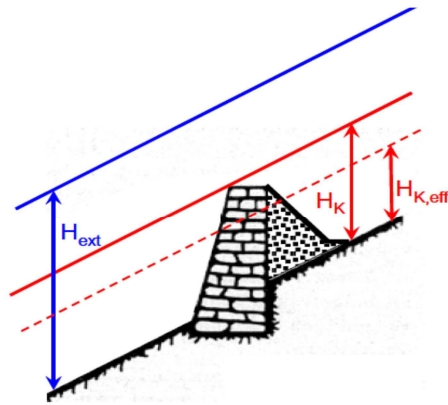


Abbildung 5: Links: Definition der Höhenbezeichnungen (Margreth & Blum, 2011); Rechts: Messung der Werkhöhe H_K vor Ort

Zur Berechnung der effektiven Werkhöhe $H_{K,eff}$ muss von jedem Terrassenstandort die Hangneigung bekannt sein. Hier wird mit dem Messgerät TruPulse 200 jeweils eine Messung talwärts und eine Messung bergwärts durchgeführt und daraus ebenfalls ein Mittelwert gebildet, dieser Mittelwert wird für sämtliche weiteren Berechnungen angewandt.

Bei einer Hangneigung unter 35° wird folgende Formel 1 verwendet:

$$H_{K,eff} [m] = 0,6 * H_{K,Mauer} [m]$$

Formel 1: Berechnung der effektiven Werkhöhe bei einer Hangneigung unter 35° Grad (Margreth & Blum, 2011)

$H_{K,eff}$ = effektive Werkhöhe [m]

$H_{K,Mauer}$ = gemessene Werkhöhe [m]

Bei einer Hangneigung über 35° wird folgende Formel 2 verwendet:

$$H_{K,eff} [m] = 0,4 * H_{K,Mauer} [m]$$

Formel 2: Berechnung der effektiven Werkhöhe bei einer Hangneigung über 35° Grad (Margreth & Blum, 2011)

Entsprechend der oben genannten Formeln wird die gemessene Werkhöhe auf die effektive Werkhöhe $H_{K,eff}$ reduziert.

Im nächsten Schritt wird die effektive Werkhöhe $H_{K,eff}$ für jede Terrasse gemäß den Kriterien in Tabelle 3 mit der extremen Schneehöhe H_{ext} verglichen und in eine der drei Kategorien eingeordnet. Wenn beispielsweise die extreme Schneehöhe kleiner als die effektive Werkhöhe ist, dann wird die Terrasse in die Kategorie „Genügend“ eingestuft.

Beurteilung Werkhöhe	Kriterium
Absolut ungenügend (--)	$(H_{ext} - H_{K,eff}) > 2 \text{ m}$
Ungenügend (-)	$0 < (H_{ext} - H_{K,eff}) \leq 2 \text{ m}$
Genügend (+)	$H_{ext} \leq H_{K,eff}$

Tabelle 3: Beurteilung der effektiven Werkhöhen (Margreth & Blum, 2011)

4.3.3 Bestimmung der effektiven Werksabstände L'_{eff}

Die Messung der effektiven Werksabstände L'_{eff} (hangparallele Schrägdistanz in Falllinie) zwischen den bestehenden Mauerterrassen wird mit dem Laserentfernungsmessgerät TruPulse 200 durchgeführt. Dabei wird immer von Mauerkrone zu Mauerkrone gemessen. Bei den obersten Terrassenreihen wird die Distanz von der Mauerkrone bis zum Grat gemessen. Einzelne Terrassen befinden sich unterhalb von Felswänden, dabei wird die Distanz von der Mauerkrone bis zur obersten Kante der Felswand gemessen. Weil die Terrassen nicht systematisch angeordnet sind, kann es durchaus vorkommen, dass eine Terrasse von dem darüber liegenden Bauwerk nur wenige Meter überdeckt wird. In solchen Fällen muss vor Ort entschieden werden, welche der darüber befindlichen Terrassen maßgeblich ist. Die Messung muss bis zur übernächsten Terrasse durchgeführt werden, wenn dazwischen eine zusammenhängende Schneetafel entsteht.

Die Auswertung der Werksabstände erfolgt ähnlich jener der Werkhöhen. Je nach Hangneigung ($< 40^\circ$ bzw. $> 40^\circ$) sind die entsprechenden Formeln aus Tabelle 4 anzuwenden. Dabei werden die effektiven Werksabstände der Terrassen mit den erforderlichen Werksabständen L' (gemäß ONR 24806) verglichen und anschließend wieder einer entsprechenden Kategorie zugeordnet.

Beurteilung Werksabstände	Hangneigung	
	$< 40^\circ$	$> 40^\circ$
Ungenügend (-)	$L'_{\text{eff}} > 1,25 L'$	$L'_{\text{eff}} > 1,15 L'$
Knapp genügend (+/-)	$1,1 L' < L'_{\text{eff}} \leq 1,25 L'$	$1,05 L' < L'_{\text{eff}} \leq 1,15 L'$
Genügend (+)	$L'_{\text{eff}} \leq 1,1 L'$	$L'_{\text{eff}} \leq 1,05 L'$

Tabelle 4: Beurteilung der effektiven Werksabstände (Margreth & Blum, 2011)

4.3.4 Erforderliche Werksabstände L' gemäß ONR 24806

Für die Ermittlung der erforderlichen hangparallelen Werksabstände L' wird das Verfahren gemäß ONR 24806, in der derzeit gültigen Fassung, angewandt.

Mit der gemessenen Hangneigung bei jedem Terrassenstandort wird auf der Abszisse in Abbildung 6 über die Höhenunterschiedslinien an der Ordinate der hangparallele Werkabstand auf halbe Meter genau abgelesen. Aufgrund der Erfahrungen der Gebietsbauleitung wird die Linie $\Delta h = 13 \text{ m}$ verwendet. Bei einer Hangneigung von beispielsweise 35° , wird somit ein hangparalleler Werkabstand von 23,5 m abgelesen.

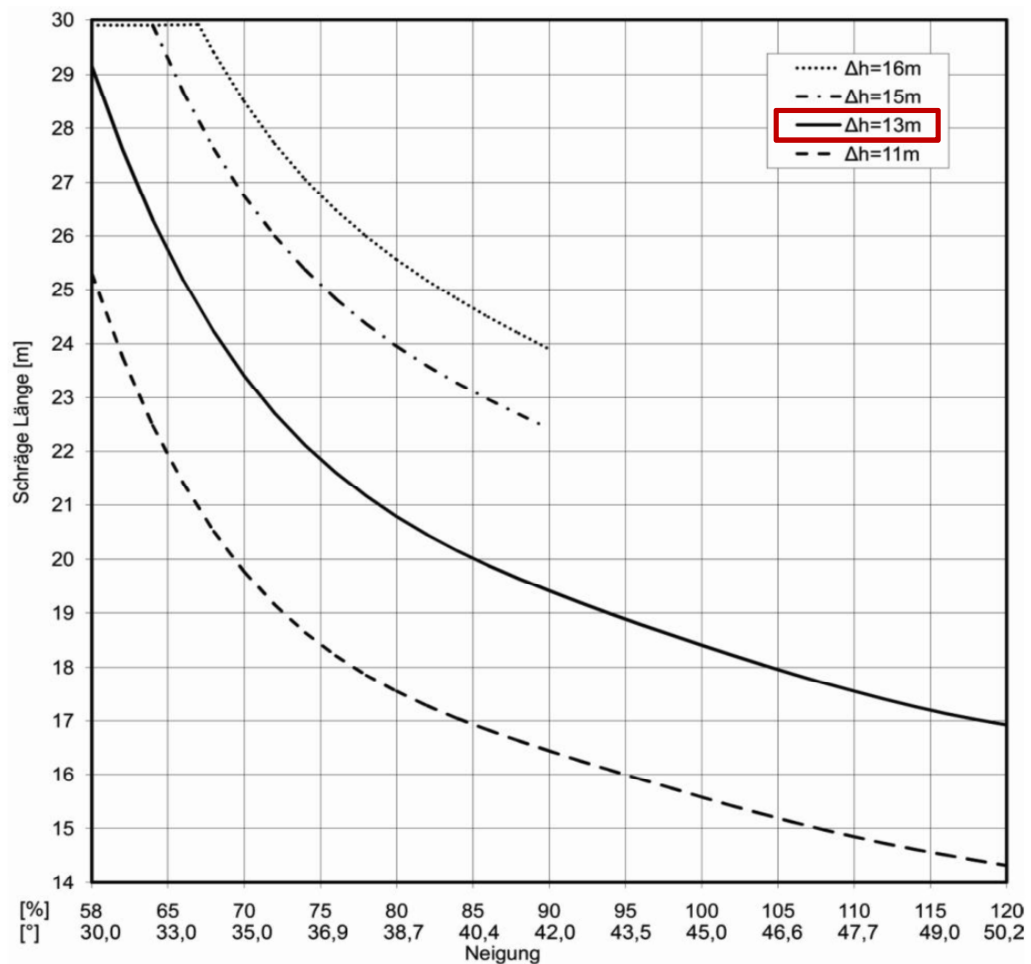


Abbildung 6: Hangparallele Werkabstände nach fixen Höhendifferenzen gemäß derzeitig gültiger Richtlinie (ONR_24806, 2011)

4.3.5 Bestimmung der Anbruchmächtigkeit d_{OR} einer Oberlawine

Die Anbruchmächtigkeit ohne Verbauung (d_0) wird mit Hilfe der Publikation von Schellander (2004) bestimmt. Für die Abschätzung der Anbruchmächtigkeit werden die gemittelten, auf 28 ° Hangneigung bezogenen 3-Tages Neuschneezuwächse für 30 bzw. 150 Jahre Wiederkehrdauer ($d_0^*(30)_{28}$ und $d_0^*(150)_{28}$) für das zutreffende Gebiet herangezogen. Dabei muss beachtet werden, dass sich diese mittleren Anbruchmächtigkeiten auf die Referenzhöhe (H_{ref}) von 1.600 m beziehen. Deshalb muss diese mittlere Anbruchmächtigkeit mit der Schneezuwachsrate von +/- 5 cm pro 100 m Höhenunterschied auf die entsprechende Seehöhe korrigiert werden. Das Ergebnis dieser Korrektur ist der Ausgangswert der Anbruchmächtigkeit d_0^* . Dieser Ausgangs-

wert wird mit Hilfe eines Neigungsfaktors $f(\beta)$, wie in Formel 3 dargestellt, korrigiert. Mit Zunahme der Hangneigung (β) nimmt die Stabilität der Schneedecke am Hang ab, für $\beta = 0^\circ$ soll deshalb $f(\beta) = 1$ sein. Für eine Hangneigung von $\beta = 43^\circ$ ergibt sich zum Beispiel ein Neigungsfaktor von $f = 0,57$.

$$d_0 [m] = d_0^* [m] * f(\beta)$$

Formel 3: Berechnung der Anbruchmächtigkeit ohne Verbauung entsprechend der Hangneigung mittels Neigungsfaktor (Schellander, 2004)

d_0 = Anbruchmächtigkeit ohne Verbauung [m]

d_0^* = Ausgangswert der Anbruchmächtigkeit [m]

$f(\beta)$ = Neigungsfaktor

Die Anbruchmächtigkeit einer möglichen Oberlawine d_{0R} wird gemäß Tabelle 5 bestimmt. Dabei legen die Ergebnisse aus der Beurteilung von Werkhöhe und Werkabstand fest, nach welcher Formel die Anbruchmächtigkeit einer möglichen Oberlawine berechnet wird. Gleichzeitig wird für jede Terrasse die relevante Wirkung und die Wirkungsklasse (WK 1 bis 5) ermittelt.

Beurteilung Werkhöhe	Beurteilung Werkabstand			Anbruchmächtigkeit Oberlawine $d_{0,R}$	W K	Rel. Wirkung*
Genügend (+)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)		$d_{0,R} = 0$	1	Ja
Genügend (+)	Ungenügend (-)			$d_{0,R} = 0,5 d_0$	2	Bedingt
Ungenügend (-)	Genügend (+)	Knapp genügend (+/-)		$d_{0,R} = H_{\text{ext}} - H_{K,\text{eff}}$ und $0,5 d_0 \leq d_{0,R} < 0,75 d_0$	3	Bedingt
Ungenügend (-)	Ungenügend (-)			$d_{0,R} = 0,75 d_0$	4	Nein
Absolut ungenügend (--)	Genü- gend (+)	Knapp genügend (+/-)	Ungenü- gend (-)	$d_{0,R} = d_0$	5	Nein

Tabelle 5: Bestimmung der Wirkungsklasse (WK) von Mauern und der Anbruchmächtigkeit von Oberlawinen $d_{0,R}$ in Funktion der Werkhöhe, des Werkabstandes und der Anbruchmächtigkeit im Ausgangszustand d_0 (Margreth & Blum, 2011)

4.3.6 Wirkung gegen Steinschlag und Hanginstabilitäten

Neben der Schutzwirkung gegen Lawinen können Mauern auch Steine abbremsen oder auffangen. Im Vergleich zu den gegliederten Stützwerken sind hinterfüllte Mauern gegenüber Sturzprozessen in der Regel etwas weniger schadenempfindlich. Wegen ihrer geringen Wirkungshöhe werden Steinmauern oder Materialterrassen jedoch oft von Steinen übersprungen. Die Schutzwirkung gegen Steinschlag kann durch geologische Beurteilungen in Kombination mit Steinschlagsimulationen abgeschätzt werden. Dabei werden Sprunghöhen und Energien mit und ohne Mauern bestimmt und verglichen. Die Erfahrung in der Vergangenheit hat gezeigt, dass die Mauern meist nur für kleine Ereignisse eine Schutzwirkung bieten, wie etwa für rollende Steine mit Energien kleiner als 100 kJ. Zudem können zerfallende Mauern selbst ein Anbruchgebiet für Steinschlag bilden. Des Weiteren können bei größeren Steinschlagereignissen Mauern zerstört und mitgerissen werden, was zu einer Verschärfung des Prozesses führen kann (Margreth & Blum, 2011). Wenn den Mauern nicht mittels Steinschlagsimulationen oder Beobachtungen ein signifikanter Einfluss bezüglich der Intensität und Eintrittswahrscheinlichkeit nachgewiesen werden kann, ist laut der Praxisanleitung von Margreth & und Blum (2011) keine relevante Wirkung anzunehmen.

Die Beurteilung, ob Mauern eine relevante hangstabilisierende Wirkung besitzen, ist schwierig. Hierfür müsste die Beurteilung gutachtlich durch einen Vergleich der Hangstabilität und Bodenabtrag an Stellen mit und ohne Mauern erfolgen. Mauern können in der Regel nur oberflächliche Rutschungen stabilisieren. Eine entsprechende Wirkung kann bei Mauern in steilem Gelände vorhanden sein, da die Bauwerke in den Hang eingebunden sind und die natürliche Hangneigung verkleinert wird, was zur Erhöhung der Hangstabilität führt (Margreth & Blum, 2011). Bestehen Zweifel an der hangstabilisierenden Wirkung der Terrassen, so ist nach der Praxisanleitung von Margreth & und Blum (2011) keine relevante Wirkung anzunehmen.

4.3.7 Berechnung einer Jährlichkeit für die Verbauungsmaßnahmen

Erfahrungsgemäß kann davon ausgegangen werden, dass die Bauwerke nicht für ein Ereignis mit einer Eintrittswahrscheinlichkeit von 150 Jahren ausgelegt wurden. Deshalb wird im Umkehrschluss versucht herauszufinden, für welche Ereignisse einer bestimmten Jährlichkeit die Maßnahmen Schutz bieten.

Zu Beginn wird eine extremwertstatistische Auswertung der Maximalschneehöhen mit Hilfe vom EVA+ Tool (Extreme Value Analysis *enhanced*) der ZAMG durchgeführt. Hierfür werden möglichst lange und vollständige Messreihen von in der Nähe befindlichen Stationen benötigt. Mittels einer Generalized Extreme Value (GEV) Verteilung werden die Messdaten der in Tabelle 6 beschriebenen Stationen ausgewertet.

Stationsname	See im Paznauntal (FLIRI)	See im Paznauntal (Hydrograph. Dienst:)
Stationsnummer	5031150	101956
Stationshöhe	1.070 m	1.040 m
Beginn/Ende der Messreihe	1905 – 2000	1906 - 2014
Messreihe	95 Jahre	108 Jahre
Zugriffsdatum	30.08.2016; 07:27 UTC	30.08.2016; 08:05 UTC

Tabelle 6: Allgemeine Informationen zu den für die Extremwertstatistik herangezogenen Messstationen

Das EVA+ Tool generiert eine Tabelle, aus der die Jährlichkeit und die dazugehörigen maximalen Schneehöhen abgelesen werden können. Da sich die gewählten Stationen in See im Paznauntal auf 1.040 m bzw. auf 1.070 m Seehöhe befinden, müssen die Ergebnisse mit einem entsprechenden Höhengradienten auf die Seehöhe der Terrassen angepasst werden. In der ONR 24806 wird für die Zone 2 und ein 150-jährliches Ereignis ein Höhengradient von 0,20 cm/m vorgeschlagen. Da dieser Gradient recht hoch erscheint wird zusätzlich noch eine zweite Variante mit einem geschätzten Höhengradienten von 0,10 cm/m berechnet.

Abschließend werden die gemessenen Werkshöhen mit den angepassten Maximalschneehöhen verglichen und einer entsprechenden Jährlichkeit zugeordnet. Folglich lässt sich abschätzen, für welche Wiederkehrdauern die einzelnen Terrassen ausgelegt sind.

4.4 Beurteilung der Aufforstungsmaßnahmen

Ziel dieses Abschnittes ist es, den Erfolg der Hochlagenaufforstung aus den 1950-er Jahren zu bewerten. Hierfür wurden ein Längsprofil und sechs fixe Probekreise angelegt, Orthofotos und Winterfotos vom Gegenhang studiert, sowie Begehungen der Bestände vor Ort vorgenommen.

4.4.1 Längsprofil

Zu Beginn ist ein Profil, ausgehend vom höchsten Punkt der Schwager Gondel (2.370 m) bis auf eine Seehöhe von rund 1.950 m festgelegt worden. Von allen Bäumen, die entlang dieser Profillinie wachsen wird der bergseitige Stockdurchmesser über dem Boden mit der Schiebelehre bzw. Kluppe gemessen. Zudem wird mit Hilfe eines Meterstabes und bei höheren Bäumen mit dem Laser-Messgerät TruPulse 200 die Baumhöhe bestimmt. Neben der Baumart werden auch Schäden wie Säbelwuchs oder Zwieselbildung vermerkt. Das verfügbare Oberflächenmodell stammt aus dem Jahre 2010, weshalb der Zuwachs der letzten sechs Jahre nicht abgebildet wird. Hierfür werden an jedem Baum auf dem Profil die letzten sechs Quirle, ausgehend vom Terminaltrieb, herunter gezählt. Anschließend wird der Höhenzuwachs vom sechsten Quirl bis zum Terminaltrieb mittels Meterstab bzw. mit dem Laser-Messgerät bestimmt. Dieser sechsjährige Höhenzuwachs wird anschließend zu den Baumhöhen aus dem Oberflächenmodell addiert. Aus diesem Profil kann nun ein Überblick über die Baumartenverteilung, Baumhöhen, Höhenzuwächse und Stockdurchmesser entsprechen der jeweiligen Höhenstufen gewonnen werden. Die Lage des Längsprofils kann der Abbildung 26 entnommen werden.

4.4.2 Fixe Probekreise

Um weitere Daten über die Aufforstung und deren Schutzwirkung hinsichtlich Lawinen zu sammeln werden sechs fixe Probekreise mit jeweils 100 m² Fläche aufgenommen. Dabei werden je zwei Kreise auf einer Seehöhe von 2.150 m, zwei auf einer Seehöhe von 2.050 m und zwei weitere auf einer Seehöhe von 1.950 m aufgesucht. Mit Hilfe eines GPS Gerätes werden die genannten Höhengschichtenlinien aufgesucht und die Kreismittelpunkte zufällig innerhalb des schutzwirksamen Bestandes durch Werfen eines Stockes angelegt. Die Lage der Probekreise kann der Abbildung 26 entnommen werden.

Um die Verzerrung des Probekreises im Gelände zu eliminieren, muss der neigungskorrigierte Radius berechnet werden. Dabei wird anfangs mit dem TruPulse 200 die Hangneigung (α) in Grad gemessen. Anschließend wird mit folgender Formel 4 der schräge Probekreisradius ermittelt.

$$r_{\text{Schräg}} [m] = \sqrt{\frac{A_{\text{Probekreis}} [m^2]}{(\pi * \cos \alpha)}}$$

Formel 4: Berechnung des neigungskorrigierten Radius für den fixen Probekreis (Sterba, 2011)

$r_{\text{Schräg}} [m]$ = Schräger Probekreisradius

$A_{\text{Probekreis}} [m^2]$ = Probekreisfläche

α = gemessene Hangneigung

Dieser Schrägradius wird mit Hilfe des Maßbandes, von der Probekreismitte aus, hangparallel gemessen. Von allen Bäumen innerhalb dieses Kreises werden die Baumart, die Baumhöhe, der bergseitige Stockdurchmesser über dem Boden und vorhandene Schäden erhoben.

Für die Auswertung wird getrennt nach Baumarten die Stammzahl je Probekreis ermittelt. Diese wird anschließend mit dem Blow-up-Faktor aus Formel 5 multipliziert, um auf die Stammzahl je Hektar zu gelangen.

$$\text{Blow-up-Faktor } [N/ha] = \frac{10.000 [m^2]}{A_{\text{Probekreis}} [m^2]}$$

Formel 5: Berechnung des Blow-up-Faktors (Sterba, 2011)

Von den gemessenen Stockdurchmessern und Baumhöhen wird getrennt nach Baumarten jeweils das arithmetische Mittel gebildet und mit Hilfe der Funktion „STABW“ in Microsoft Excel die Standardabweichung berechnet. Für jede Höhenstufe wird das arithmetische Mittel aus den Ergebnissen von je zwei Kreisen gebildet.

4.4.3 Abgrenzung eines lawinenschutzwirksamen Waldes

Neben der Hangneigung, der Oberflächenrauigkeit und den Eigenschaften der Schneedecke selbst, hat der Waldbestand einen wesentlichen Einfluss auf die Lawinenaktivität. Im Folgenden werden die festgelegten Kriterien für die Ausscheidung des schutzwirksamen Bestandes aufgezeigt.

- effektive Baumhöhe

Damit genügend Bäume die Schneedecke überragen und somit auch stabilisieren können, muss die mittlere Baumhöhe etwa das Eineinhalbfache der Schneedeckenhöhe betragen (SAEKI & MATSUOKA, 1969).

- Deckungsgrad

Der zweite wichtige Faktor beim Lawinenschutz ist die Überschildung (Deckungsgrad). Als Faustregel kann hier ein Deckungsgrad von 50 - 60 % mit Bäumen ab der effektiven Baumhöhe bei regelmäßiger Verteilung (ohne große Lücken) als ausreichend angesehen werden (Perzl, 2005).

- Stützwirkung der Stämme

In der Literatur werden sehr unterschiedliche Angaben hinsichtlich der notwendigen Stammzahl für unterschiedlichste Hangneigungen angeführt. Aufgrund der Erfahrungen in der Gebietsbauleitung wird laut mündlicher Auskunft des Försters eine Stammzahl zwischen 350 und 1.500 Stämmen je Hektar im Bestockungsziel als schutzwirksam betrachtet. Bei Zirben tendenziell weniger und für die Fichten aufgrund der Rottenstruktur eher mehr. Perzl (2005) gibt für die Lärche bei 40 ° Hangneigung eine erforderliche Stammzahl von rund 1.000 Stämmen je Hektar an.

4.5 Sanierungs- oder Ergänzungsmaßnahmen

Ziel dieses Abschnittes ist es, die im Verbauungsgebiet denkbaren Maßnahmen zur Sanierung der beschädigten Steinterrassen darzulegen. Des Weiteren werden Ergänzungs- bzw. Ersatzmaßnahmen angeführt, falls die Terrassen keine relevante Schutzfunktion bieten. Abschließend soll eine geeignete Maßnahmenkombination zur Sanierung oder Ergänzung samt Kostenschätzung für das Verbauungsgebiet erarbeitet werden.

4.5.1 Erschließungsvariante

Eine wesentliche Voraussetzung für die Sanierung oder Ergänzung der Verbauungsmaßnahmen ist die Erreichbarkeit des Projektgebietes. Das Gebiet ist lediglich über den Wandersteig von der Langestheialm aus erreichbar. Hierfür ist ein Fußmarsch von rund 40 Minuten erforderlich. Bereits im Jahre 1955 wurden Varianten für die Erschließung der Schwager Gonde vorgestellt, jedoch wurde bis heute keine in die Praxis umgesetzt. Deshalb soll im Rahmen dieser Arbeit erneut eine mögliche Erschließungsvariante samt Kostenschätzung aufgezeigt werden.

4.5.2 Maßnahmen an beschädigten Steinterrassen

In der folgenden Tabelle 7 werden mögliche Sanierungsmaßnahmen mit einer näheren Beschreibung der durchzuführenden Tätigkeiten, den Voraussetzungen und möglichen Problemen, sowie einer Kostenschätzung und der Nutzungsdauer aufgezeigt (Umrechnungsfaktor 1 CHF = 0,90 €).

Maßnahme	Beschreibung	Voraussetzungen, mögliche Probleme	Kostenschätzung, Nutzungsdauer
<i>Ab- und Wiederaufbau</i>	Abtrag der alten Mauer, anschließend Aufbau ohne Mörtel. Verwitterte Steine werden ersetzt.	Aufwändig und viel Erfahrung erforderlich	Circa 450-720 € pro m ³ Mauer; Nutzungsdauer circa 80 Jahre.
<i>Vermörtelung</i>	Mauer wird durch die Injektion von Mörtel stabilisiert. Deformierte Mauern müssen zuerst ab- und aufgebaut werden.	Entwässerung muss gewährleistet sein. Mauer verliert die Verformungsfähigkeit.	Circa 450-540 € pro m ³ Mauer; Nutzungsdauer circa 80 Jahre.
<i>Betonvorbau</i>	Bei defektem Fundament wird ein Betonvorbau angesetzt, welcher rückverankert werden kann.	Mauer darf nicht zu stark deformiert sein. Drainage muss gewährleistet sein.	Circa 1.620-1.800 € pro Laufmeter Betonvorbau; Nutzungsdauer circa 60 Jahre.
<i>Umbau in Drahtsteinkörbe</i>	Mauer wird abgebrochen und in fundierte Drahtsteinkörbe umgepackt.	Stabiler Baugrund. Nicht geeignet, wenn Stützwerk auf der Mauer steht.	Circa 540-900 € pro m ³ Drahtsteinkorb; Nutzungsdauer circa 60 Jahre.
<i>Netzabdeckung mit Verankerung</i>	Steine werden mit einem verankerten Drahtgeflecht stabilisiert. Kein Abbau erforderlich.	Mauer bleibt wasserdurchlässig und flexibel. Mauerfront muss homogen sein.	Circa 450-540 € pro m ² abgedeckte Mauerfront; Nutzungsdauer circa 80 Jahre.
<i>Rückverankerungen</i>	Mit 4 bis 7 m langen Verankerungen werden ausgebautte Mauern stabilisiert. Betonriegel oder Stahlplatten dienen als Lastverteilungselemente	Mauer muss stabil und im Bereich der Anker hinterfüllt sein. Einleitung der Ankerkräfte kann schwierig sein.	Circa 1.000 € pro lfm Mauer; Nutzungsdauer maximal 60 Jahre.
<i>Verkleidung mit Spritzbeton</i>	Mauer wird mit Spritzbeton verkleidet. Für guten Verbund sind Bewehrungsnetze erforderlich. Dieses Verfahren wird selten eingesetzt.	Drainage problematisch. Reduzierte Deformierbarkeit, nur in stabilem Gelände anwendbar.	Circa 1.800 € pro m ² Mauer; Nutzungsdauer circa 40 Jahre.

Tabelle 7: Mögliche Maßnahmen, um beschädigte Steinmauern und Mauerterrassen wieder in Stand zu setzen (Margreth & Blum, 2011)

4.5.3 Ergänzungs- oder Ersatzmaßnahmen

Wenn die Schutzwirkung der bestehenden Terrassenverbauung nicht ausreicht, werden Ergänzungs- oder Ersatzmaßnahmen, wie in Tabelle 8 dargestellt, erforderlich.

Maßnahme	Beschreibung	Voraussetzungen, Probleme	Kosten, Nutzungsdauer
<i>Ersatz der Mauern mit Stahlschneebrücken</i>	Beschädigte Mauern, ohne relevante Wirkung, werden durch richtliniengemäße gegliederte Stützwerke ersetzt.	Von bestehenden Mauern darf keine Steinschlaggefahr ausgehen.	Circa 1.350-2.250 € pro lfm (plus ev. Rückbau bzw. Unterhaltskosten je nach Mauerzustand); Nutzungsdauer circa 80 Jahre.
<i>Ergänzung mit Stahlschneebrücken</i>	Stützwerke werden zwischen die Mauern eingebaut. Wenn die Mauern eine relevante Wirkung haben, werden sie unterhalten.	Zerfallende Mauern können neue Stützwerke gefährden (ggf. Rückbau). Neue Stützwerke sollten unabhängig von den Mauern fundiert werden.	Circa 1.350-2.250 € pro lfm (plus ev. Unterhaltskosten je nach Mauerzustand); Nutzungsdauer circa 80 Jahre.
<i>Ergänzung mit Schneenetzen</i>	Schneenetze werden zwischen die Mauern eingebaut. Wenn die Mauern eine relevante Wirkung haben, werden sie unterhalten. Schneenetze sind unempfindlicher gegenüber Steinschlag.	Große Bergseitige Verankerungskräfte (gute Fundierungsverhältnisse erforderlich).	Circa 1.420 € pro lfm (plus ev. Unterhaltskosten je nach Mauerzustand); Nutzungsdauer circa 60 Jahre
<i>Erhöhung der Mauern mit Schneezäunen</i>	Eine kostengünstigere Methode ist die Erhöhung der Mauern mit Schneezäunen	Zusätzliche Kräfte werden auf Mauer übertragen. Es empfiehlt sich mit einem Betonriegel oder Verankerungen die Kräfte bergseitig der Mauer in den Untergrund einzuleiten.	Circa 900-1.980 € pro lfm (plus ev. Unterhaltskosten je nach Mauerzustand); Nutzungsdauer circa 60 Jahre

Tabelle 8: Mögliche Ergänzungs- bzw. Ersatzmaßnahmen (Margreth & Blum, 2011; Rudolf-Miklau & Sauer Moser, 2011)

Für den Ersatz der Mauern mittels Stahlschneebrücken müssen vorab die Anbruchgebiete mit Hilfe von Neigungskarten, historischen Luftbildern bzw. Fotos, aktuellen Orthofotos und Beobachtungen vom Gegenhang abgegrenzt werden. Für die Modellierung werden auch die Widerstands- und Entrainmentgebiete benötigt. Zum Widerstandsgebiet zählen jene Bereiche in denen von erhöhtem Widerstand bezüglich der Oberflächenrauigkeit der Lawinbahn auszugehen ist, wie etwa in bewaldeten Bereichen. Zur Abgrenzung dieser Flächen werden im ArcGIS die Baumhöhen als Differenz von DOM und DGM berechnet. Anschließend werden Bereiche mit Baumhöhen über 10 m zu Widerstandsgebieten aggregiert. Zu den Entrainmentgebieten zählen jene Bereiche in denen die Lawine Schneemassen aufnehmen kann, wie etwa auf Wiesen- oder Weideflächen. Diese Flächen werden mit Hilfe des Orthofotos und der Neigungskarte ausgewiesen.

Für die Festlegung der Anbruchmächtigkeit wird die 3-Tages Neuschneesumme für die nächstgelegene Wetterstation (See im Paznauntal) aus dem EVA+ Tool bestimmt und in weiterer Folge an die mittlere Seehöhe des Anbruchgebietes nach Leichtfried (2009) angepasst.

Im Anschluss werden durch die Stabstelle für Schnee und Lawinen verschiedenste Szenarien mittels Lawinensimulationsprogrammen durchgeführt. Die Fließlawinenberechnungen werden mit dem entsprechenden Modul des zweidimensionalen Lawinenmodells SamosAT durchgeführt, da vor allem die laterale Ausdehnung und die Aufteilung in Lawinenarme maßgebend und Ziel der Untersuchung sind. Zusätzlich werden Simulationen mit RAMMS und dem entsprechenden Modul für Staublawinen im SamosAT durchgeführt. Ziel dieser Modellierungen ist es, gemeinsam mit den Erkenntnissen aus den Ereignissen der Lawinenchronik, das Gefahrenpotential für die raumrelevanten Bereiche einzuschätzen.

4.5.4 Auswirkungen auf die Gefahrenzonenplanung

Der Gefahrenzonenplan (GZP) ist ein flächenhaftes Gutachten welches die Gefährdung durch Naturgefahren bewertet und darstellt. Er soll als Grundlage für die Raumplanung, sowie das Bau- und das Sicherheitswesen dienen

(BMLFUW, 2014). Im Rahmen dieses Abschnittes wird beurteilt, ob eine Berücksichtigung der historischen Verbauungsmaßnahmen auf der Schwager Gonde in der Gefahrenzonenplanung gerechtfertigt ist. Ferner wird überprüft, wie sich ein Sanierungs- oder Ersatzkonzept auf die Gefahrenzonenplanung auswirken würde.

5. Ergebnisse

Im folgenden Kapitel werden die wichtigsten Ergebnisse dargestellt. Die wesentlichen Elemente hierbei sind einerseits die Resultate aus der Zustandsbewertung, sowie Ergebnisse aus der Wirkungsbeurteilung und andererseits die Maßnahmenvorschläge zur Sanierung bzw. Ergänzung der Terrassen.

5.1 Vorarbeiten

Das Verbauungsprojekt liegt bereits 60 Jahre zurück und in den Jahren nach der Fertigstellung wurden keine bedeutenden Maßnahmen mehr durchgeführt. Im folgenden Abschnitt werden die Eckdaten des Verbauungsprojektes und vergangene Ereignisse aus der Lawinenchronik kurz aufgezeigt. Allgemeine Informationen zum Projektgebiet können dem Kapitel 3 entnommen werden.

Gemäß der Abbildung 1 werden die Material- und Steinterrassen der Schwager Gonde dem Typ „**Mauerterrasse**“ zugeordnet. Dies ist für die Bewertung und Auswahl der entsprechenden Berechnungsformeln von Bedeutung.

5.1.1 Eckdaten des Verbauungsprojektes

Während den Baujahren 1954 bis 1961 wurden insgesamt 87 Terrassen (davon 25 Stein- und 62 Materialterrassen) mit einer Gesamtlänge von 2.375 m und einer Schneerückhaltefläche von 6.850 m² errichtet. Zudem wurden in einer der beiden Sturzbahnen der Glittstein-Lawine zwei Abweisdämme erbaut. Auf einer Seehöhe von 1.400 m bis 2.350 m wurden in Summe 46 ha aufgeforstet, sowie 5.160 m Kulturzaun errichtet. In Summe sind 345.280 Kulturpflanzen gepflanzt worden. Hierfür wurden 179.360 Lärchen, 12.200 Fichten, 76.270 Zirben, 74.450 Ebereschen und 3.000 Ahorn verwendet (WLV, 1963).

In folgender Abbildung 7 ist die Lage der Bauwerke auf der Schwager Gonde abgebildet. Die orangen Flächen zeigen die 62 gemischten Materialterrassen, die grauen Flächen stellen die trockengemauerten Steinterrassen dar. Das Gebiet der Schwager Gonde umfasst die Anbruchgebiete der Kleinen Lahngang-Lawine, der Großen Lahngang-Lawine, der Kalkwand-Lawine und der Glittstein-Lawine.

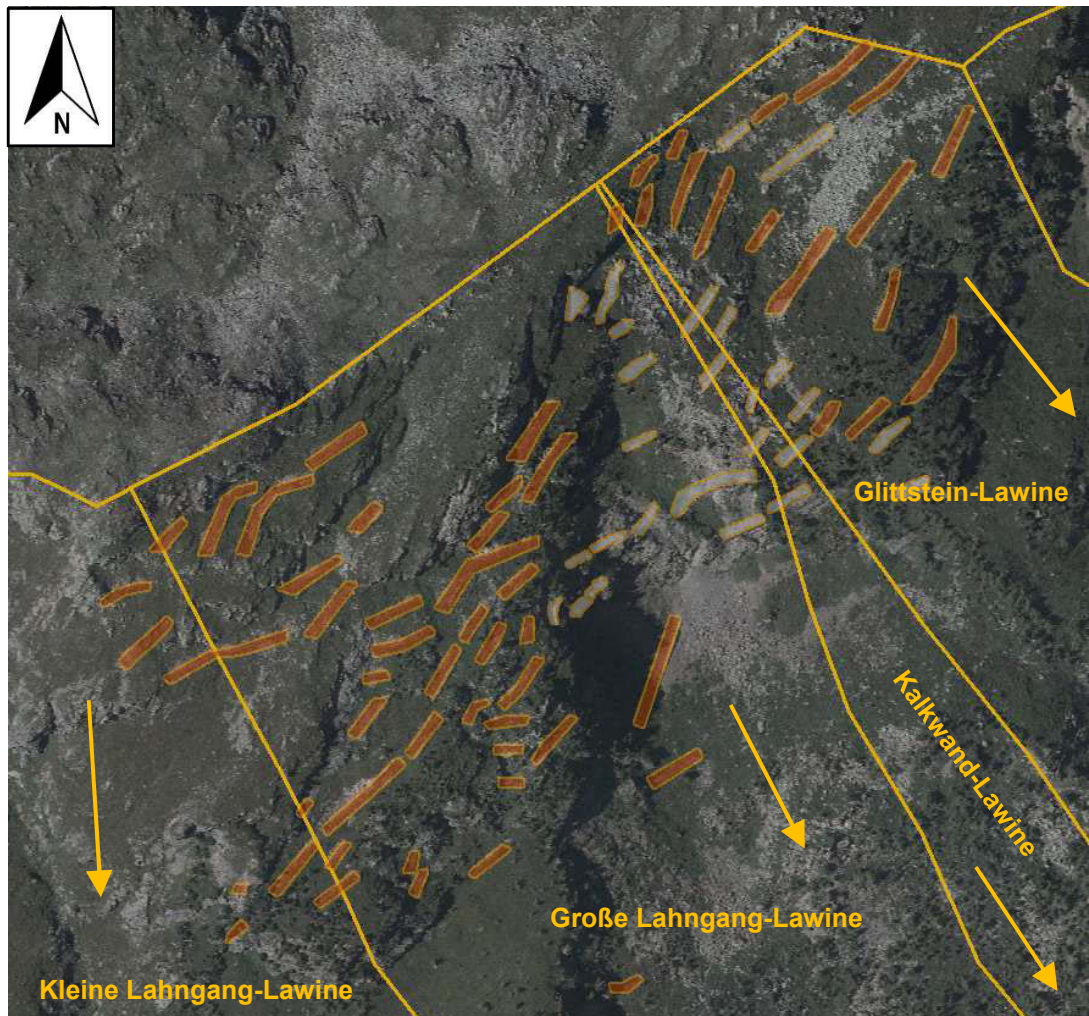


Abbildung 7: Übersichtskarte der Einzugsgebiete und Terrassenanordnung im Bereich der Schwager Gonde (WLKGIS, 2016)

In folgender Abbildung 8 ist die Lage des oberen und unteren Abweisdammes ersichtlich. Die Glittstein-Lawine besteht aus zwei Sturzbahnen. Dazwischen befindet sich eine Waldzunge. Die Abweisdämme wurden in der talinneren und runsenförmigen Sturzbahn zum Schutz des Weilers Glittstein oberhalb der Glittsteiner Wiesen errichtet.

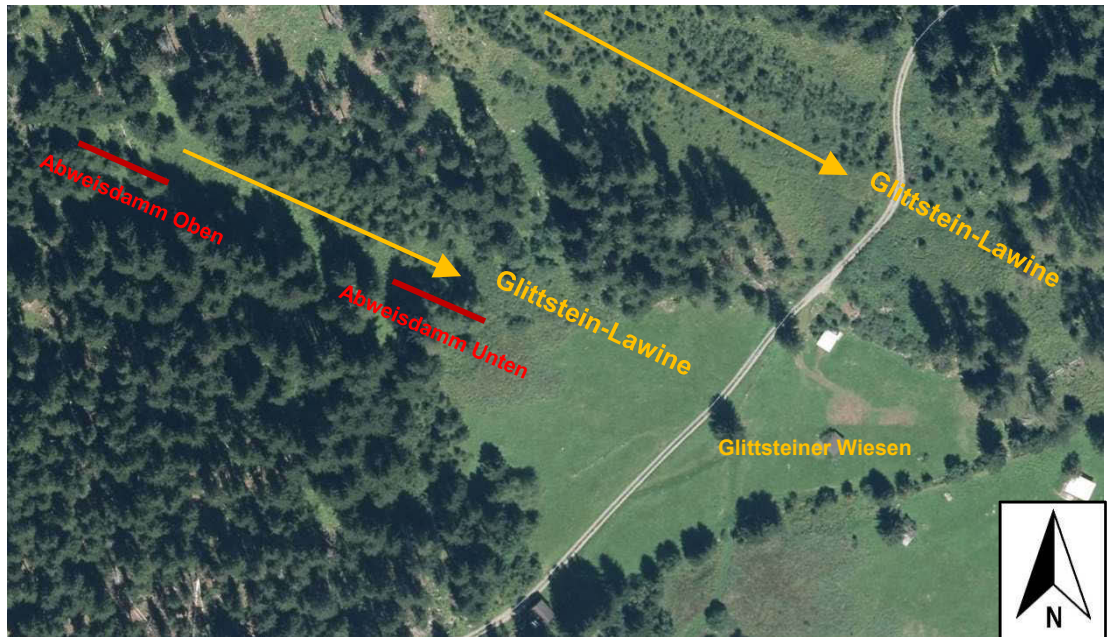


Abbildung 8: Übersichtskarte mit der Lage des oberen und unteren Abweisdammes oberhalb der Glittsteiner Wiesen (WLKGIS, 2016)

5.1.2 Auszüge aus der Lawinenchronik

In folgender Tabelle 9 sind die Schäden und Reichweiten vergangener Lawinenereignisse getrennt nach Einzugsgebieten zusammengefasst. Für Felder, welche mit einem Bindestrich gekennzeichnet wurden, sind keine näheren Angaben verfügbar.

Kleine Lahngang-Lawine		
Datum	Schäden	Reichweite
27.12.1923	Wald- und Flurschäden	bis zum Talboden
21.01.1951	schwere Wald- und Flurschäden; Bundesstraße 3 m tief über Länge von 75 m verschüttet	bis zur Bundesstraße
22.02.1999	Viel alter Schutzwald und Jungwald in der Sturzbahn	bis zum nördlichen Trisannaufser
Große Lahngang-Lawine		
Datum	Schäden	Reichweite
27.12.1923	Wald- und Flurschäden; Altes Holzhaus Nr. 313 bekam einen Riss; ein Stadel stand nachher schief	bis auf die Seer Au zum Kirchengang (Äste am Friedhof)
Februar 1935	-	bis in die „Gsölleles Äcker“
21.01.1951	zerstörte Stromleitungen; Wald- und Flurschäden	Nassschneelawine stieß über die Bundesstraße vor (Aufstau der Trisanna)
Winter 1979	Anmerkung: Grundlawine am Schwemmkegel	Forstweg auf eine Länge von 50 m und Tiefe von 10-12 m verschüttet
Kalkwand-Lawine		
Datum	Schäden	Reichweite
27.12.1923	Wald- und Flurschäden	bis zum Talboden
20.01.1951	große Waldschäden	außerhalb der Seeber Bundesstraßenbrücke bis zur Bundesstraße
Februar 1970	0,5 ha Kulturgrund überschüttet	-
Glittstein-Lawine		
Datum	Schäden	Reichweite
27.12.1923	Wald- und Flurschäden	-
Jänner 1951	-	bis rund 30-40 m oberhalb des Weilers „Glittstein“
19.03.1967	Anmerkung: Staublawine	bis rund 100 m über die Häuser des Weilers „Seiche“
23.03.1968	-	bis in die Wiesen oberhalb des Weilers „Glittstein“
22.02.1999	Waldschäden durch Verbreiterung der Sturzbahn	bis in den unteren Bereich der „Glittsteiner Wiesen“

Tabelle 9: Auszüge aus der Lawinenchronik (WLV, 2001)

5.2 Grobbeurteilung

Auf den Fotos der Befliegungen durch die WLV aus dem Jahre 2012 ist zu erkennen, dass sämtliche Bauwerke völlig überschneit worden sind. Die Gegenhangbeobachtung im Februar 2016 zeigte, dass sich auch in einem durchaus schneearmen Winter nahezu alle Bauwerke unter einer geschlos-

senen Schneedecke befinden. In weiterer Folge wurden bei der Begehung im Mai 2016 zahlreiche Schäden an den Bauwerken festgestellt. Diese Feststellungen wiesen auf einen dringend erforderlichen Überprüfungsbedarf hin, weshalb in weiterer Folge eine Funktionsbewertung vorgenommen wird. Dafür werden der Zustand und die Wirkung der Verbauung beurteilt und das relevante Schadenspotential erhoben. Zusätzlich wird eine Ersterfassung und Kontrolle der Bauwerke im Bauwerkskataster der Wildbach- und Lawinverbauung vorgenommen.

5.2.1 Zustand der Bauwerke

Die erhobenen Schäden der Materialterrassen unterscheiden sich deutlich von jenen der Steinterrassen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit, aber auch für die nachfolgende Planung von Sanierungs-, Ergänzungs- oder Ersatzmaßnahmen, werden die beiden Bauwerkstypen im folgenden Absatz getrennt behandelt.

5.2.1.1 Bewertung der 25 Steinterrassen

Die trockengemauerten Steinterrassen befinden sich für ihr Alter von rund 60 Jahren in einem durchwegs guten Zustand. Lediglich die Terrasse Nummer 5 wurde infolge eines großen Felssturzes vollständig zerstört.

Das Felsband oberhalb des zerstörten Bauwerkes Nummer 5 erweist sich als erhebliche Steinschlagquelle. Unmittelbar unter diesem Steinschlagherd befindet sich eine aktive Hangrutschung, die sich im Gelände deutlich durch Setzungskanten zu erkennen gibt (Abbildung 9).

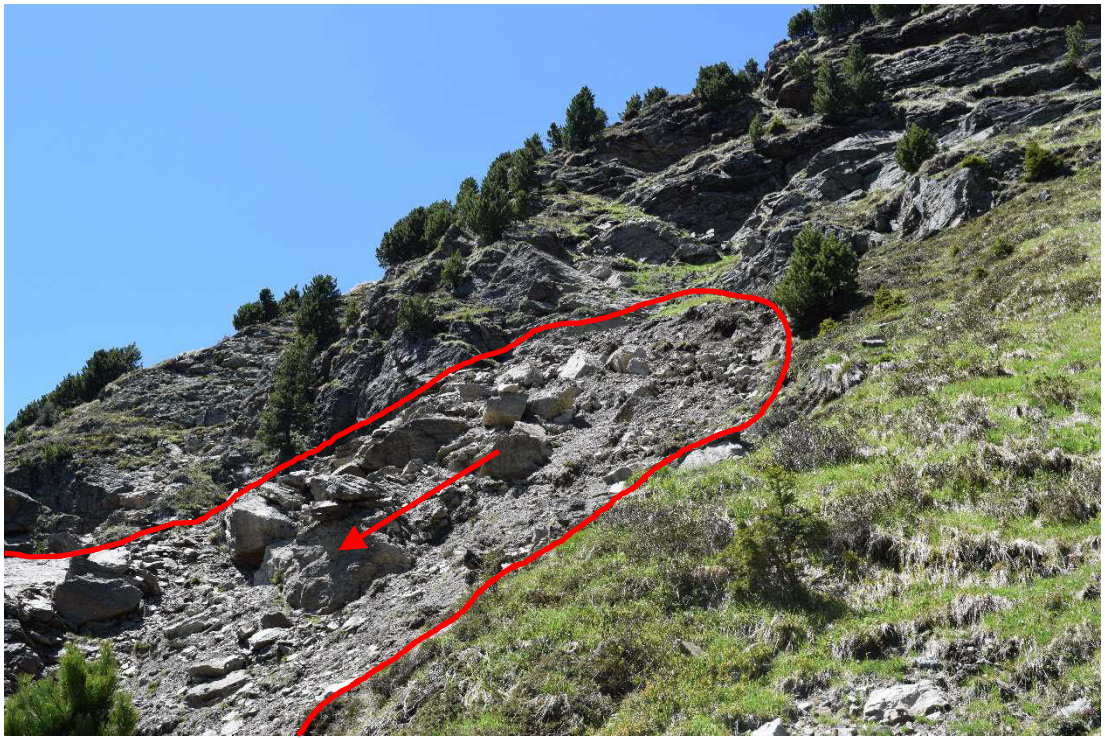


Abbildung 9: Foto der Hangrutschung oberhalb der zerstörten Terrasse Nummer 5 mit darüber gelegenem Steinschlagherd

In Abbildung 10 wird die Häufigkeit der acht Schadensarten dargestellt. Hierbei gilt es anzumerken, dass eine Terrasse auch von mehreren Schäden betroffen sein kann, wie etwa einer Ablagerung von Geröll inklusive einem Bewuchs durch Bäume bzw. Sträucher. Am häufigsten wurden auf den Steinterrassen Geröll oder Felsbrocken abgelagert. Problematisch für die Räumung ist die Tatsache, dass aufgrund der Geländesituation bei den meisten Terrassen keine Möglichkeit zur Deponierung vor Ort gegeben ist. Zudem gibt es zahlreiche Mängel bzw. Schäden, welche durch geringen Aufwand beseitigt werden könnten, wie etwa verschobene oder fehlende Kron- und Ecksteine. Lediglich die Terrassen mit Ausbauchungen, Fundamentschäden und eingestürzten Segmenten erfordern umfangreichere Sanierungsmaßnahmen.

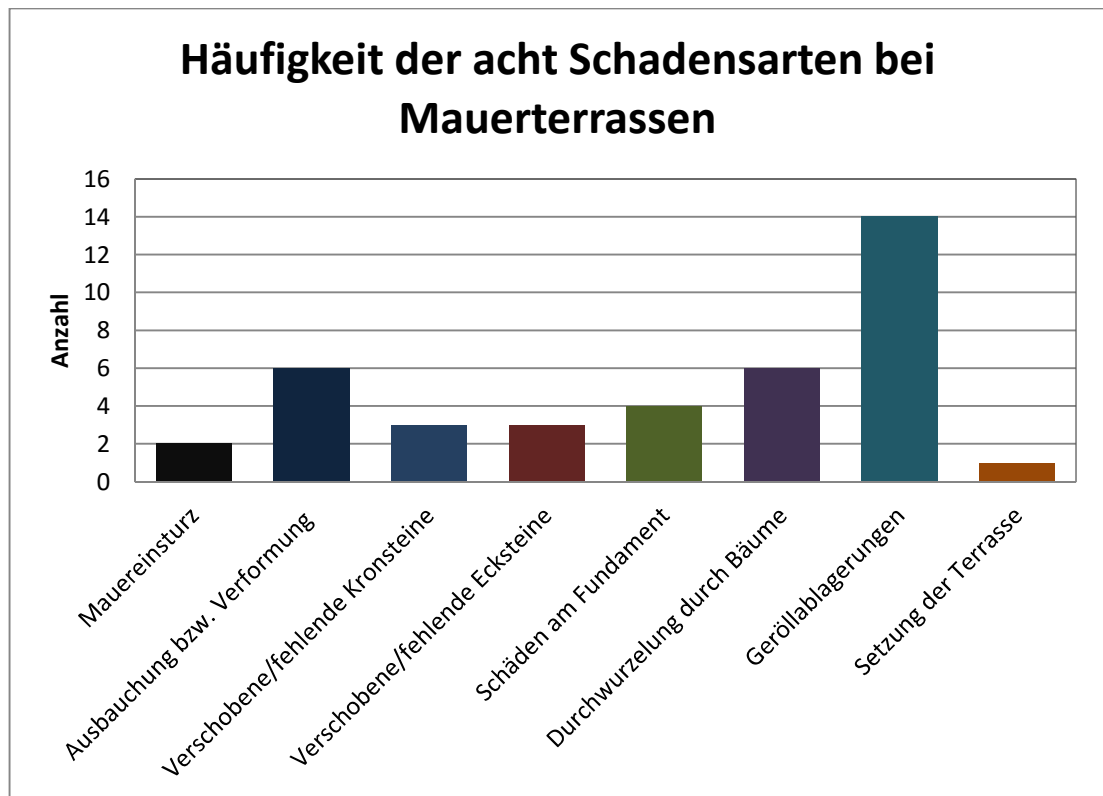


Abbildung 10: Häufigkeit der erhobenen Schadensarten an Steinterrassen

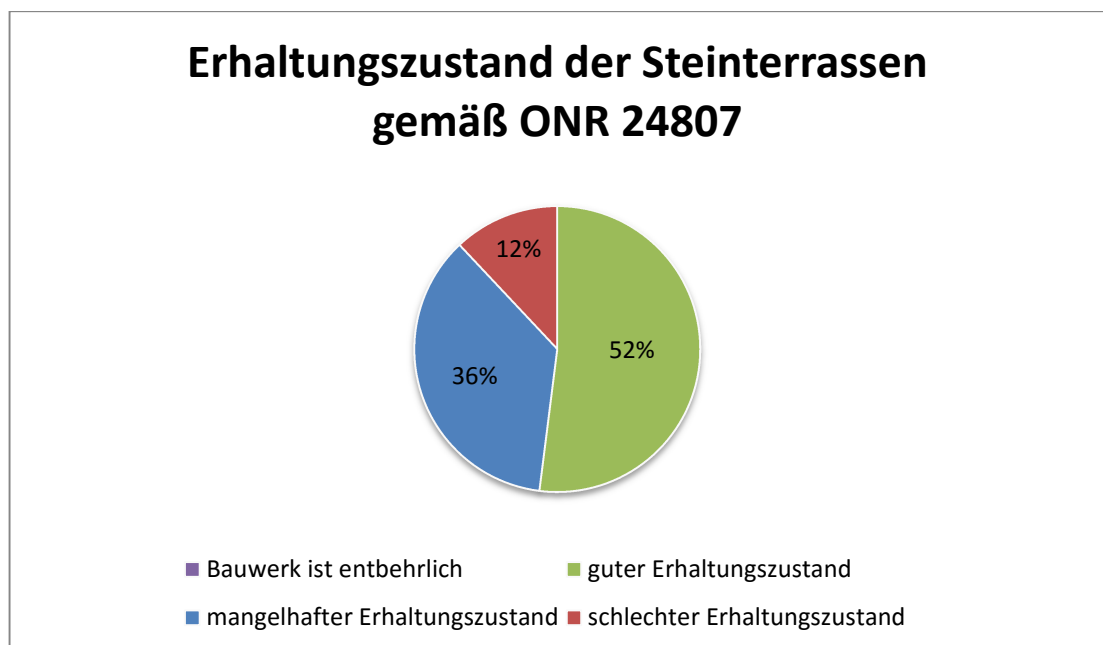


Abbildung 11: Erhaltungszustand von Steinterrassen gemäß ONR 24807

Die Bewertung des Erhaltungszustandes aus dem Bauwerkskataster der WLV nach ONR 24807 zeigt, dass sich rund die Hälfte der Steinterrassen in

einem guten Erhaltungszustand befinden. Circa 36 % befinden sich in einem mangelhaften Erhaltungszustand und 12 % der Steinterrassen weisen einen schlechten Erhaltungszustand auf (Abbildung 11).

5.2.1.2 Bewertung der 62 Materialterrassen

Wo nicht ausreichend Steine zur Errichtung von rein trockengemauerten Steinterrassen zur Verfügung standen, wurden gemischte Materialterrassen errichtet. Diese bestehen sowohl aus Teilstücken mit Trockenmauerwerk, als auch aus Segmenten mit reinem Erd- und Geröllmaterial. An dieser Bauwerkskategorie haben die vergangenen 60 Jahre deutliche Spuren hinterlassen, wie in Abbildung 12 dargestellt. Das Hauptproblem in dieser Bauwerkskategorie sind Setzungserscheinungen, welche bei 45 von 62 Terrassen aufgetreten sind. Des Weiteren sind zahlreiche Terrassen parallel zum Hang abgesichert worden, oder zeigen Verformungen und Ausbauchungen in den trockengemauerten Abschnitten. Die Ablagerung von Geröll spielt bei diesem Bauwerkstyp keine große Rolle.

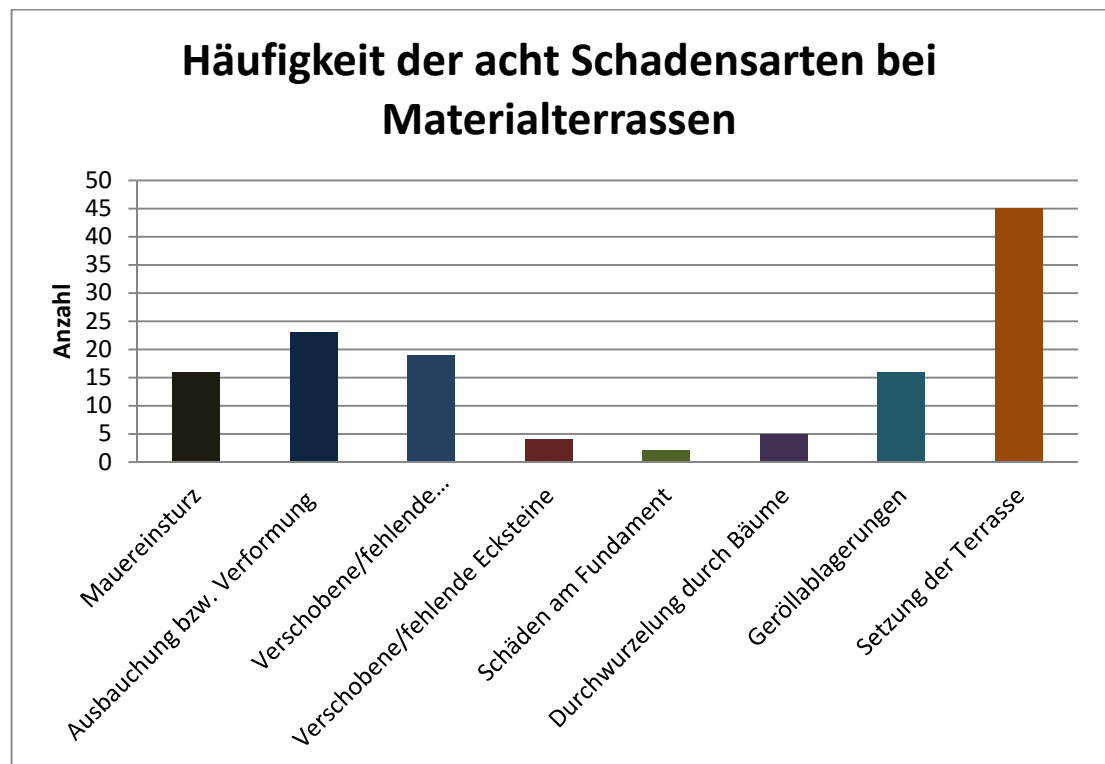


Abbildung 12: Häufigkeit der erhobenen Schadensarten an Materialterrassen

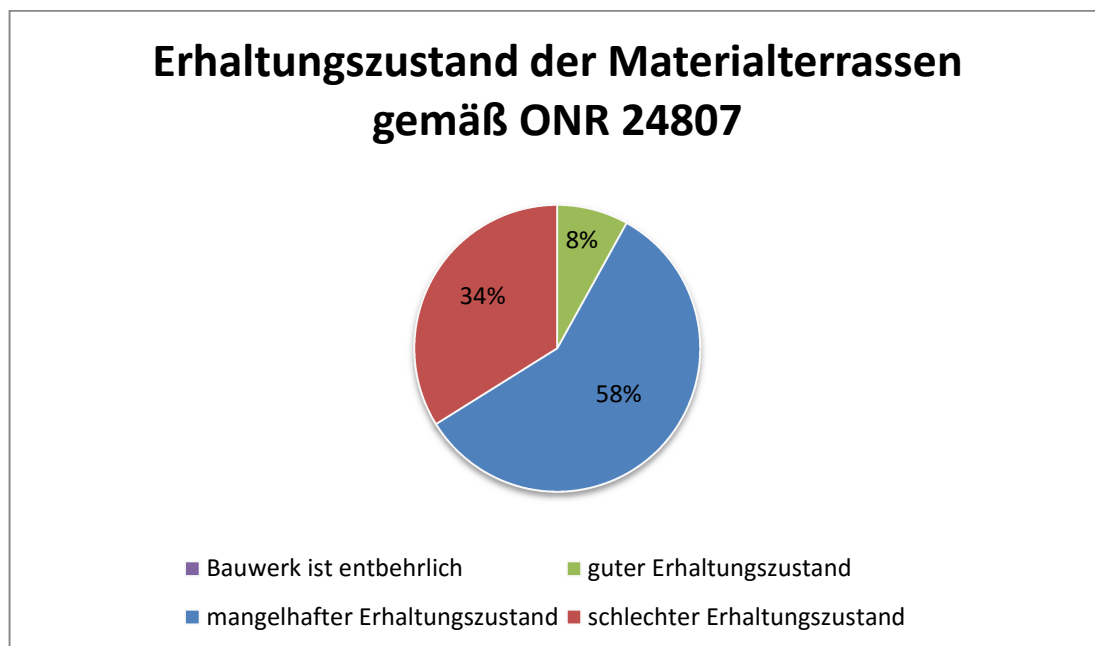


Abbildung 13: Erhaltungszustand von Materialterrassen gemäß ONR 24807

Die Ergebnisse der Bewertung des Erhaltungszustandes aus dem Bauwerkskataster der WLV nach ONR 24807 zeigen, dass sich lediglich 8 % der Materialterrassen in einem guten Erhaltungszustand befinden. Rund 58 % befinden sich in einem mangelhaften Erhaltungszustand und rund ein Drittel weist einen schlechten Erhaltungszustand auf (Abbildung 13).

5.2.1.3 Gegenüberstellung von Stein- und Materialterrassen

Die Gegenüberstellung der Erhaltungszustände von Stein- und Materialterrassen verdeutlicht erneut, dass sich die trockengemauerten Steinterrassen in einem wesentlich besseren Zustand befinden, als die Materialterrassen (Abbildung 14).

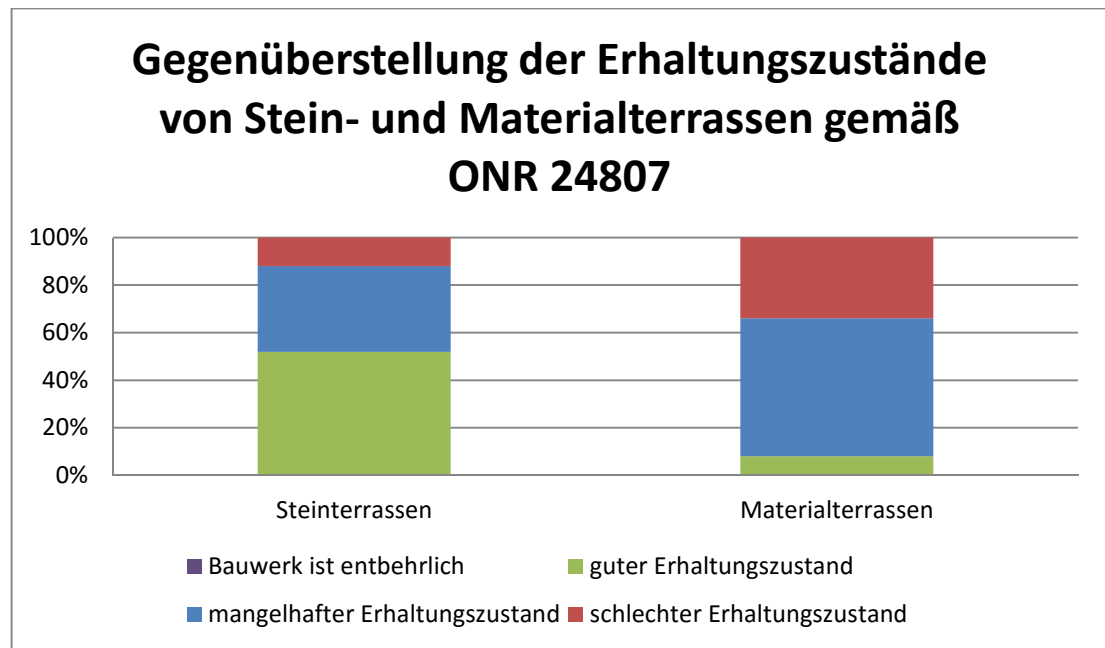


Abbildung 14: Gegenüberstellung der Erhaltungszustände von Stein- und Materialterrassen gemäß ONR 24807

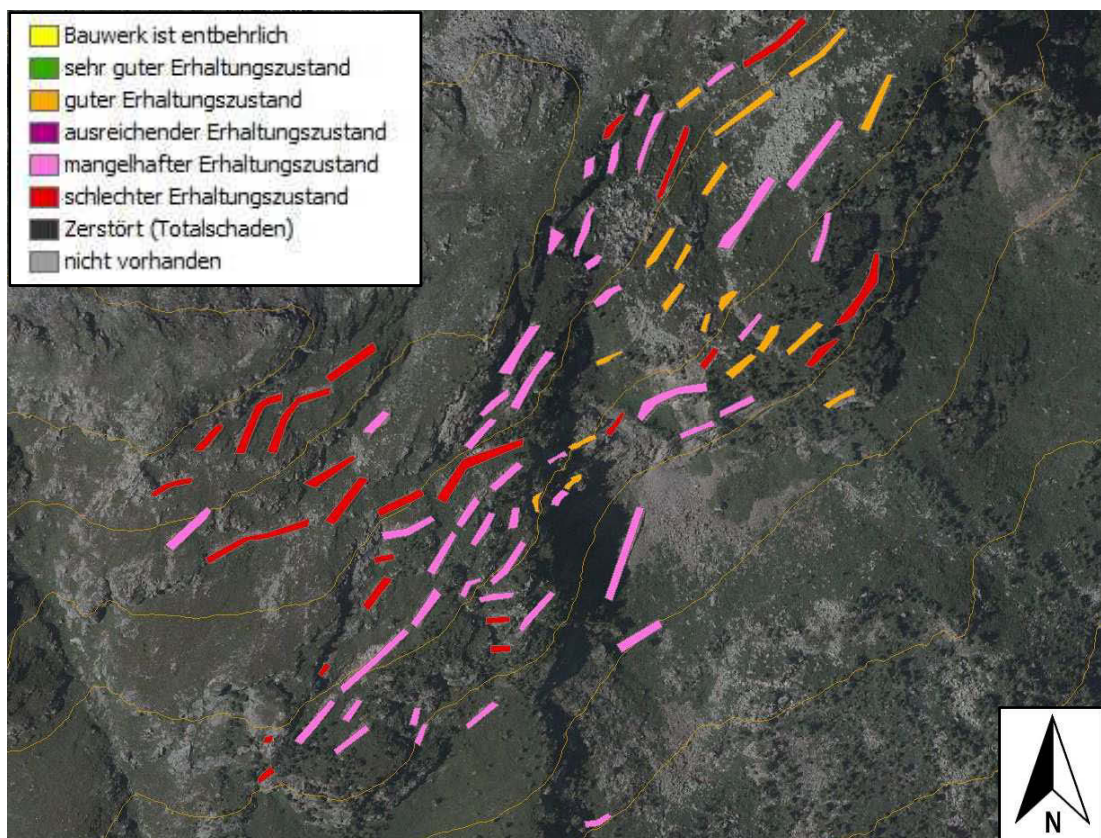


Abbildung 15: Graphische Darstellung der Erhaltungszustände der Terrassen gemäß ONR 24807 aus dem Bauwerkskataster der WLW (WLKGIS, 2016)

In der Legende der Übersichtskarte mit den vorliegenden Erhaltungszuständen werden sieben Zustandsstufen entsprechend der ONR 24803 dargestellt (Abbildung 15). Für Lawinenschutzbauwerke sind jedoch nur vier Zustandsstufen (Bauwerk ist entbehrlich, guter, mangelhafter und schlechter Erhaltungszustand) relevant. Die Übersichtskarte zeigt erneut, dass die Materialterrassen im südwestlichen Bereich einen schlechteren Zustand, als die Steinterrassen im Nordosten aufweisen.

5.2.1.4 Bewertung der 2 Abweisdämme

Bei beiden Abweisdämmen ist die lawinenabgewandte Seite sehr stark mit Bäumen und Sträuchern bewachsen (Abbildung 16).



Abbildung 16: Starke Bewaldung der lawinenabgewandten Seite beim unteren Abweisdamm

Beim oberen Abweisdamm hat ein auf der Dammkrone stockender Baum aufgrund der starken Wurzelbildung die Mauer auf eine Länge von circa drei Metern erheblich beschädigt. Aufgrund der Bewegung des Baumes durch Wind wurde die Mauer teilweise angehoben bzw. um bis zu 10 cm in Rich-

tung Lawinenbahn verschoben (Abbildung 17). Zudem wurden lawinenseitig bei beiden Dämmen zahlreiche umgestürzte Bäume, Steine und Geröll abgelagert, was eine Reduktion der Dammhöhe zur Folge hat.

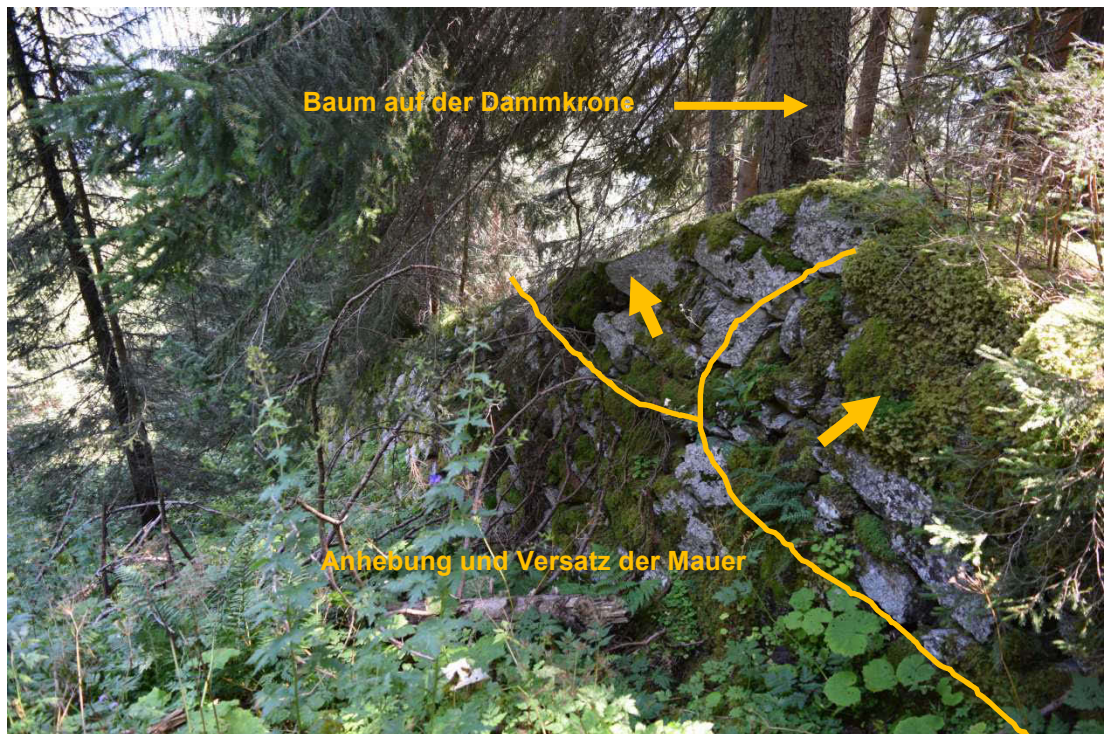


Abbildung 17: Lawinenseitige Ablagerungen von Totholz und Schäden am Dammkörper beim oberen Abweisdamm

5.2.2 Relevantes Schadenspotential

Im Verbauungsgebiet wurde, getrennt nach Lawinenzügen, folgendes relevantes Schadenspotential erhoben. Dazu zählen Sachwerte, wie z.B. Gebäude, Infrastruktur, Verkehrswege oder weitere Verbauungsmaßnahmen, welche durch Naturgefahrenprozesse gefährdet sein können.

- Kleine Lahngang-Lawine:

In der Sturzbahn quert die Kleine Lahngang-Lawine den Forstweg zwischen den Weilern Glitt und Schrofen, sowie den Forstweg vom Weiler Lahngang nach Schrofen. Im Auslaufbereich quert diese Lawine mehrere Abschnitte

des Gemeindestraßennetzes. Die Brücke über die Trisanna zur Anbindung des Weilers Lahngang an die Silvrettabundesstraße (B188), sowie ein Abschnitt der B188 und der Fußballplatz samt Vereinsgebäude liegen in der Roten Lawinenzone. In den Weilern Unterer Lahngang und Elis liegt jeweils ein Wohngebäude in der Roten Zone. Des Weiteren befinden sich zwei Wohnhäuser des Weilers Unterer Lahngang und zehn Wohnhäuser des Weilers Elis in der Gelben Lawinenzone. Auch der Badensee (bzw. Eislaufplatz im Winter) und der Supermarkt (MPreis) befinden sich in der Gelben Zone der Kleinen Lahngang-Lawine.

- Große Lahngang und Kalkwand-Lawine

Diese beiden Lawinen werden zusammen erwähnt, weil sich die Wirkungsgebiete überlagern und somit nicht exakt trennen lassen. In der Sturzbahn queren diese Lawinen ebenfalls den Forstweg zwischen Glitt und Schrofen. Im Auslaufbereich wird, wegen der Serpentinaen, mehrmals der Forstweg vom Weiler Lahngang Richtung Schrofen gequert. Auch die Gemeindestraße Richtung Glitt mit ihren Serpentinaen wird im Auslaufbereich von den beiden Lawinen überquert. Im Weiler Unterer Lahngang befinden sich alle Wohngebäude und die darüber befindlichen Steinschlagschutzbauten in der Gelben Lawinenzone. Neben der Silvrettabundesstraße (B188), der Brücke über die Trisanna und der dort befindlichen Durchflusssmessstelle des Hydrographischen Dienstes liegt auch die Zufahrt zur ARA Unterpaznaun (Recyclinghof und Klärwerk) in der Roten Lawinenzone.

- Glittstein-Lawine

Die bereits oben genannten Forstwege, die Gemeindestraße, die Zufahrt zur ARA Unterpaznaun und die Silvrettabundesstraße B188 werden ebenso von der Glittstein-Lawine beeinträchtigt. Zudem befinden sich alle sechs Wohnhäuser des Weilers Glittstein und zwei Wohngebäude des Weilers Seiche in der Gelben Lawinenzone. Zusätzlich befinden sich drei Wirtschaftsgebäude

(Stadel) schräg unterhalb von Glittstein in der Roten Lawinenzone. Neben den Landwirtschaftlichen Gebäuden und Kulturgründen (Glittsteiner Wiesen) befinden sich auch Steinschlagschutznetze oberhalb des Weilers Glittstein im Auslaufbereich dieser Lawine.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass sich ausreichend Schadenspotential wie Wohngebäude, Infrastruktur oder weitere Verbauungsmaßnahmen im Gefährdungsbereich der Lawinen der Schwager Gonde befindet. Natürlich sind auch wertvolle Schutzwälder, landwirtschaftliche Kulturgründe und zahlreiche bauliche Anlagen wie landwirtschaftliche Wirtschaftsgebäude, Garagen, Scheunen etc. im Wirkungsbereich dieser Lawinen situiert.

5.3 Wirkungsbeurteilung der Bauwerke

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der Wirkungsbeurteilung, sowie die Ermittlung der dafür erforderlichen Kennwerte aufgezeigt. Die Detailergebnisse der Auswertung können aus den drei Tabellen im Anhang B entnommen werden. Die genaue Position der jeweiligen Terrassen kann dem Lageplan, welcher sich ebenfalls im Anhang A befindet, entnommen werden.

5.3.1 Bestimmung der extremen Schneehöhe H_{ext}

Weil keine Pegelmessungen vor Ort durchgeführt wurden, ist die extreme Schneehöhe aus der benachbarten Moosbach-Lawine verwendet worden. Zur Plausibilitätskontrolle wurde eine Berechnung entsprechend der Empfehlung für die Ermittlung der Schneemächtigkeit in Anbruchgebieten von Lawinen für Tirol und Vorarlberg nach Leichtfried Albert (2010) durchgeführt.

5.3.1.1 Extreme Schneehöhe aus benachbarter Moosbach-Lawine

Die benachbarte Moosbach-Lawine weist eine ähnliche Exposition und Seehöhe auf. Folgende extreme Schneehöhen wurden im Jahre 1986 für die Projektierung der Moosbach-Lawine berechnet (Tabelle 10):

Extreme Schneehöhe [m]	Position des Pegels
5,99	im Lee der Westwinde
5,65	in der Mulde
3,99	auf der Rippe
5,49	in der Mulde (östlich)
5,28	Mittel aus diesen 4 Berechnungswerten

Tabelle 10: Extreme Schneehöhen für die Moosbach-Lawine von 1986 (WLV, 1986)

Für die Beurteilung der effektiven Werkhöhe wird somit die extreme Schneehöhe H_{ext} von **5,28 m** verwendet.

5.3.1.2 Berechnung entsprechend der Empfehlung der ZAMG

In Abbildung 18 werden die Ergebnisse der Berechnung der extremen Schneehöhe mittels Excel-Anwendung von Leichtfried (2010) dargestellt. Gemäß der im Anhang dieser Publikation beiliegenden Zonenkarte mit den 150-jährlichen Gesamtschneehöhen kann die Schwager Gonde der Zone 2 zugeordnet werden. Für das Eingabefeld der Seehöhe wird der höchste Bereich des Verbauungsgebietes mit 2.350 m herangezogen. Für den Windeinfluss wird „eingebblasen“ verwendet, denn speziell im Bereich des Grates wurden bei den Winterbeobachtungen und bei der zeitigen Begehung im Frühjahr mächtige Einwehungen festgestellt. Die Exposition ist überwiegend als Südost einzustufen. Die mittlere gemessene Hangneigung beträgt 43 °. Nach den entsprechenden Korrekturen liefert die Excel-Anwendung eine extreme Schneehöhe H_{ext} von **5,06 m**. Dieser Berechnungswert unterscheidet sich von jenem der Moosbach-Lawine um lediglich 22 cm.

Berechnung der extremen Schneehöhe für Tirol und Vorarlberg

Wiederkehrperiode: 150 Jahre

Eingabe: Bitte Daten für die geplante Verbauung in grüne Kästen eintragen

Achtung: Rote Bereiche nicht verändern!

Nr. 1: Zone, aus der Zonenkarte ablesen

Nr. 2: Seehöhe der geplanten Werke (Gültigkeitsbereich 450m-3050m)

Nr. 3: Wind: ausgeblasen=1, kein Windeinfluss=2, eingeblasen=3, extrem eingeblasen=4

Nr. 4: Exposition: durchschnittliche Hangrichtung, Wert aus der Expositionstabelle rechts wählen

Nr. 4: Region: aus der Regionsliste rechts auswählen

Nr. 5: Hangneigung in Grad

Regionsliste	
Region	Nr.
Arlberg	1
Außerfern	2
Bregenzer Wald	3
Inntal/Mitte & Ost	4
Inntal/West	5
Montafon	6
Osttirol Ost	7
Osttirol Südwest	8
Öztaler Alpen	9
Silvretta	10
Kitzbühler Alpen	11
Zillertaler Alpen	12
Sonstige	13

Expositionstabelle	
Exposition	Wert
Nord	1
Nordost	2
Ost	3
Südost	4
Süd	5
Südwest	6
West	7
Nordwest	8

Faktor	Eingabe	Auswahl
1 Zone	2	[1-5]
2 Seehöhe	2350	[m]
3 Wind	3	[1-4]
4 Exposition	4	[1-8]
5 Region	10	[1-13]
6 Hangneigung	43	[°]

Extreme Schneehöhe aus Zonenkarte:	432 cm	150 jähriges Ereignis, Gesamtschneehöhe
Korrekturfilter Wind:	30 cm	Wind-Korrektur: 7%
Korrekturfilter Höhenstufe:	23 cm	Höhen-Korrektur: 5%
Korrekturfilter Region:	21 cm	Region-Korrektur: 5%
Korrekturfilter Exposition:	0 cm	Exposition-Korrektur: 0%
Summe Korrekturen durch Filterung:	74 cm	Summe Korrekturen: 17%
Extreme Schneehöhe mit Filterkorrektur	506 cm	150 jähriges Ereignis, korr. Gesamtschneehöhe

Abbildung 18: Ergebnis der Berechnung der extremen Schneehöhe für das Verbauungsgebiet mittels Excel-Anwendung nach Leichtfried (2010)

5.3.2 Bestimmung und Beurteilung der effektiven Werkhöhe $H_{K,eff}$

Die minimale gemessene Werkhöhe H_k beträgt 0,50 m und die maximale 3,00 m. Aufgrund der Reduktionen entsprechend den Formeln 1 und 2, je nach gemessener Hangneigung, ergibt sich eine minimale effektive Werkhöhe $H_{k,eff}$ von lediglich 0,20 m und eine maximale effektive Werkhöhe $H_{k,eff}$ von 1,20 m. Gemittelt über alle Terrassen resultiert daraus eine mittlere effektive Werkhöhe von 0,50 m.

Nach dem Vergleich der effektiven Werkhöhen mit der extremen Schneehöhe, gemäß Tabelle 3, sind alle Bauwerke der Kategorie „Absolut Ungenügend“ zuzuordnen (Abbildung 19).

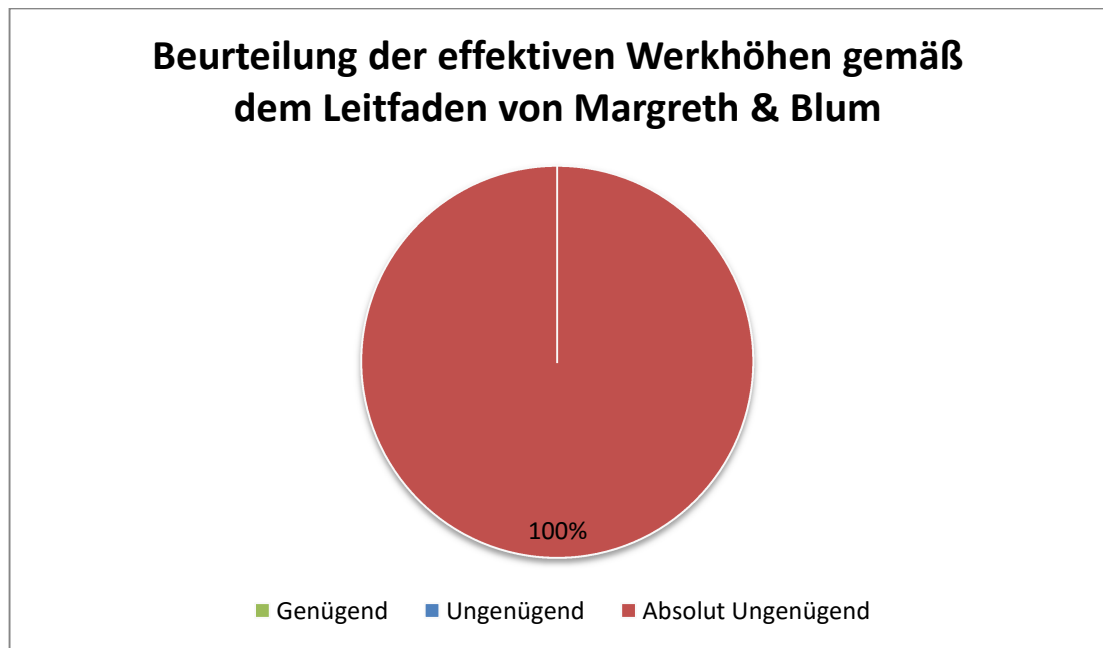


Abbildung 19: Beurteilung der effektiven Werkhöhen gemäß der Einteilung nach dem Praxisleitfaden von Margreth & Blum (2011)

5.3.3 Bestimmung der effektiven Werksabstände L'_{eff}

Die gemessenen effektiven Werksabstände L'_{eff} liegen im Bereich von 12 m bis maximal 134 m (bei Terrasse Nummer 87). Der gemittelte effektive Werksabstand beträgt rund 33,6 m.

Nach dem Vergleich der effektiven Werksabstände mit den erforderlichen Werksabständen L' (gemäß ONR 24806) weist lediglich ein Drittel der Bauwerke einen genügenden Werksabstand auf. Bei zwei Drittel der Bauwerke ist der Werksabstand als Ungenügend anzusehen (Abbildung 20).

Beurteilung der effektiven Werksabstände gemäß dem Leitfaden von Margreth & Blum

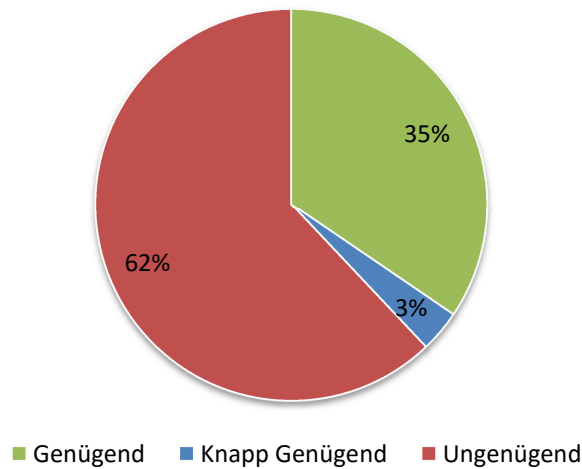


Abbildung 20: Beurteilung der effektiven Werksabstände gemäß der Einteilung nach dem Praxisleitfaden von Margreth & Blum (2011)

5.3.4 Erforderliche Werkabstände L' gemäß ONR 24806

Im Vergleich zu den effektiven Werksabständen liegen die erforderlichen minimalen Abstände gemäß der Richtlinie bei 17 m und die Maximalabstände bei 27 m. Der Mittelwert beträgt aufgrund der Neigungsverhältnisse rund 20 m und liegt deutlich unter jenem der gemessenen Abstände.

5.3.5 Bestimmung der Anbruchmächtigkeit d_{0R} einer Oberlawine

Aus der Arbeit von (Schellander, 2004) wurden die gemittelten, auf 28° Hangneigung bezogenen 3-Tages-Neuschneezuwächse $d_0^*(30)_{28}$ und $d_0^*(150)_{28}$ für das Gebiet „Silvretta bzw. Montafon“ entnommen und in Tabelle 11 dargestellt. Die mittlere Höhe des Anbruchgebietes der Schwager Gondeliegt auf circa 2.100 m Seehöhe. Die Höhenkorrektur von der Referenzhöhe (1.600 m) zur Höhe des Anbruchgebietes erfordert demnach eine Addition von 25 cm. Für eine Wiederkehrzeit von 30 Jahren ergibt sich somit ein Ausgangswert der Anbruchmächtigkeit einer Oberlawine d_0^* von 1,69 m und

bei 150 Jahren ergibt sich eine Anbruchmächtigkeit von 2,06 m. Dieser Ausgangswert wird entsprechend der Formel 3 mit einem Neigungskorrekturfaktor angepasst. Die mittlere Hangneigung wurde aus den vor Ort gemessenen Werten bei jeder Terrasse ermittelt. Zur Überprüfung ist eine zusätzliche Messung im Tiris durchgeführt worden, welche eine mittlere Hangneigung von rund 41 ° lieferte.

	30-jährliches Ereignis	150-jährliches Ereignis
Mittlere d_0^* [m]	1,44	1,81
Höhenkorrektur [m]	+ 0,25	+ 0,25
d_0^* korrigiert [m]	1,69	2,06
mittlere gemessene Hangneigung (β) [°]	42,77	
f (β)	0,57	
d_{0R}	0,97	1,18

Tabelle 11: Bestimmung der Anbruchmächtigkeit einer Oberlawine ohne Verbauung (Schellander, 2004)

Nach Multiplikation des Korrekturfaktors mit dem korrigierten Ausgangswert d_0^* korrigiert ergibt sich für das gesamte Gebiet der Schwager Gonde für eine Wiederkehrdauer von 30 Jahren eine Anbruchmächtigkeit d_{0R} von rund 1 m und für 150 Jahre von rund 1,20 m.

Gemäß der Kombination aus effektiver Werkhöhe und dem effektivem Werkabstand, wie in Tabelle 5 dargestellt, werden alle Bauwerke der Wirkungsklasse 5 zugeordnet. Dieser Umstand ergibt sich alleine aufgrund der Tatsache, dass alle Terrassen eine zu geringe Wirkungshöhe aufweisen und daher in die Kategorie „Absolut Ungenügend“ eingestuft wurden. Bei Bauwerken in der Wirkungsklasse 5 entspricht der Ausgangswert der Anbruchmächtigkeit ohne Verbauung d_0 gleich der Anbruchmächtigkeit der Oberlawine d_{0R} . Somit ergibt sich für den gesamten Verbauungsbereich die oben bereits genannte Anbruchmächtigkeit d_{0R} . Sämtliche Terrassen bieten folglich entsprechend der Bewertung nach Margreth & Blum (2011) **keine** relevante Schutzwirkung.

5.3.6 Wirkung gegen Steinschlag und Hanginstabilitäten

Im Projektgebiet ist sowohl mit natürlichem Steinschlag, als auch mit Steinschlag aufgrund von zerfallenden Bauwerken zu rechnen. Für eine fachliche Beurteilung der Wirkung gegen Steinschlag wäre eine geologische Beurteilungen in Kombination mit einer Steinschlagsimulation erforderlich. Eine detaillierte Untersuchung würde somit den Rahmen dieser Arbeit sprengen.

Vor Ort hat sich jedoch gezeigt, dass speziell im steilen und felsigen Bereich, dort wo sich die trockengemauerten Terrassen befinden, sehr viele Steine auf den Bauwerken abgelagert worden sind (Abbildung 21). Auf den Materialterrassen hingegen wurden nur selten Steine abgelagert. Aufgrund dieser Beobachtungen darf den Steinterrassen in diesem Bereich durchaus eine gewisse Schutzwirkung gegen kleinere Steinschlagereignisse zugesprochen werden.



Abbildung 21: Steinablagerungen auf der Terrasse Nummer vier

Auch eine gutachterliche Bewertung hinsichtlich der hangstabilisierenden Wirkung ist im Rahmen dieser Arbeit nicht vorgesehen. Fakt ist, dass die Steinterrassen in sehr steilem Gelände errichtet wurden, und in weiterer Fol-

ge zu einer Verringerung der Hangneigung führen. Bei der zerstörten Terrasse Nummer 5 liegt die östliche Ecke rund 4 m tiefer als die Westliche, welche sich auf der bereits genannten Hangrutschung befindet. Dieses Beispiel ist ein Anzeichen dafür, dass die Terrassen nicht in der Lage sind tiefgründige Rutschungen zu stabilisieren (Abbildung 22). Die Beurteilung der hangstabilisierenden Wirkung durch Terrassen ist jedoch ohne gutachterliche Bewertung nicht möglich, weshalb im Sinne der Bewertung entsprechend dem Leitfaden von Margreth & Blum (2011) keine relevante Wirkung angenommen wird.



Abbildung 22: Bewegung der östlichen Ecke der Terrasse 5 aufgrund einer Hangrutschung

5.3.7 Berechnung einer Jährlichkeit für die Verbauungsmaßnahmen

In folgender Tabelle 12 sind die Maximalschneehöhen der extremwertstatistischen Auswertung des EVA+ Tools mit und ohne Höhengradienten für die beiden Messstationen in See im Paznauntal (FLIRI und HD) dargestellt. Für die Höhenkorrektur wurde die mittlere Höhe des Anbruchgebietes mit 2.100 m festgelegt. Die Maximalschneehöhen der beiden Stationen unter-

scheiden sich nur gering, was auf eine hohe Zuverlässigkeit der Daten schließen lässt.

Jährlichkeit [a]	Maximalschneehöhen [cm]					
	Station FLIRI	Anbruchgebiet inkl. Höhengradient		Station HD	Anbruchgebiet inkl. Höhengradient	
		+ 0,10 cm/m	+ 0,20 cm/m		+ 0,10 cm/m	+ 0,20 cm/m
1	65,20	168,20	271,20	61,90	167,90	273,90
2	84,80	187,80	290,80	80,80	186,80	292,80
3	94,90	197,90	300,90	91,00	197,00	303,00
4	101,50	204,50	307,50	97,70	203,70	309,70
5	106,30	209,30	312,30	102,70	208,70	314,70
6	110,10	213,10	316,10	106,60	212,60	318,60
7	113,10	216,10	319,10	109,80	215,80	321,80
8	115,60	218,60	321,60	112,50	218,50	324,50
9	117,80	220,80	323,80	114,80	220,80	326,80
10	119,60	222,60	325,60	116,80	222,80	328,80
15	126,40	229,40	332,40	124,30	230,30	336,30
20	130,80	233,80	336,80	129,20	235,20	341,20
25	134,00	237,00	340,00	132,90	238,90	344,90
30	136,50	239,50	342,50	135,70	241,70	347,70
40	140,20	243,20	346,20	140,00	246,00	352,00
50	142,90	245,90	348,90	143,20	249,20	355,20
75	147,40	250,40	353,40	148,70	254,70	360,70
100	150,40	253,40	356,40	152,30	258,30	364,30
150	154,20	257,20	360,20	157,10	263,10	369,10
200	156,60	259,60	362,60	160,30	266,30	372,30

Tabelle 12: Ergebnisse der Extremwertstatistischen Auswertung mittels EVA+ Tool inklusive Höhengradienten für die Stationen (FLIRI und HD) in See im Paznauntal

Die Zuordnung der Terrassenhöhen zu einer Maximalschneehöhe einer bestimmten Jährlichkeit zeigt, dass fast alle Bauwerke einem Ereignis mit einer Wiederkehrdauer von einem Jahr zugeordnet werden müssen (Tabelle 13). Teilweise sind die Bauwerkshöhen deutlich unter der Maximalschneehöhe für ein jährliches Ereignis. Lediglich einzelne Terrassen sind für größere Ereignisse ausgelegt. Auch in dieser Auswertung sind die Ergebnisse der beiden Messstationen (FLIRI und HD) nahezu identisch. Aufgrund der geringen

Werkhöhen wirkt sich der Höhengradient nur unwesentlich auf die Zuordnung zu einer Jährlichkeit aus.

Jährlichkeit [a]	Anzahl der Terrassen			
	Fliri + 0,10 cm/m	Fliri + 0,20 cm/m	HD + 0,10 cm/m	HD + 0,20 cm/m
≤ 1	75	84	76	84
2	2	0	2	0
3	3	2	2	2
9	1	0	1	0
15	1	0	1	0
30	1	0	1	0
100	0	0	1	0
200	3	0	2	0

Tabelle 13: Zuordnung der Terrassen zu einer Maximalschneehöhe einer bestimmten Jährlichkeit für die Messreihen FLIRI und HD

5.3.8 Wirkungsbeurteilung der Abweisdämme

Beide Abweisdämme besitzen lawinenseitig eine mittlere Höhe (lotrecht gemessen) von circa 3,50 m. Gemäß ONR 24806 muss für die Planung eines Ablenkbauwerks die lotrechte Stauhöhe einer Fließlawine, die lotrechte Höhe der natürlichen Schneedecke, die Höhe des abgelagerten Lawinenschnees und ein Freibord von mindestens 1 m aufsummiert werden. Aus den Ergebnissen der Fließlawinensimulation mittels SamosAT lässt sich ablesen, dass allein die Fließhöhen im Bereich der Lawinenabweisdämme bei rund 5 m liegen. Auch RAMMS liefert Fließhöhen von rund 3 m. Beim unteren Abweisdamm weisen zudem Stumme Zeugen auf der lawinenabgewandten Seite darauf hin, dass sich Schneemassen über den Damm bewegt haben müssen. Nahezu alle Bäume (Fichten, Lärchen und Birken) hinter dem Damm besitzen einen stark säbelförmigen Wuchs an ihrer Stammbasis. Die Simulationsergebnisse und die Geländebeobachtungen bekräftigen die Vermutung, dass die Dammhöhen damals zu gering gewählt wurden.

5.4 Beurteilung der Aufforstungsmaßnahmen

Im folgenden Abschnitt wird die Erfolgsbewertung der Hochlagenaufforstung aus den 1950-er Jahren erörtert. Hierfür werden die Ergebnisse aus dem Längsprofil und den fixen Probekreisen aufgezeigt. Mittels dieser Erkenntnisse wird abschließend eine Abgrenzung des lawinenschutzwirksamen Bestandes vorgenommen.

5.4.1 Längsprofil

In Abbildung 23 ist ein Segment aus dem erhobenen Längsprofil dargestellt. Auf der Ordinate ist dabei die Seehöhe in Metern dargestellt. Bei der Profillinie selbst (gelb) sind die schräge Länge in Metern und die Neigung in Prozent aufgetragen. Die gezahnte Linie (grün) stellt die Baumhöhen aus dem Digitalen Oberflächenmodell (DOM) dar und die senkrechten grünen Linien stellen die gemessenen Baumhöhen dar. Der grüne Balken darüber entspricht dem gemessenen sechsjährigen Höhenzuwachs. Dabei zeigt sich, dass die Bäume in den vergangenen Jahren wesentliche Höhenzuwächse geleistet haben.

In Abschnitten von circa 20 – 30 Höhenmetern wurden die Baumartenanteile, die mittleren Baumhöhen, Höhenzuwächse und Stockdurchmesser bestimmt. Wichtig ist hierbei zu wissen, dass starke Ausreißer nicht berücksichtigt worden sind. Deshalb ergeben sich geringfügig höhere Mittelwerte als bei den fixen Probekreisen. Der Verlauf des Längsprofils wird in Abbildung 26 durch die hellblaue Linie dargestellt.

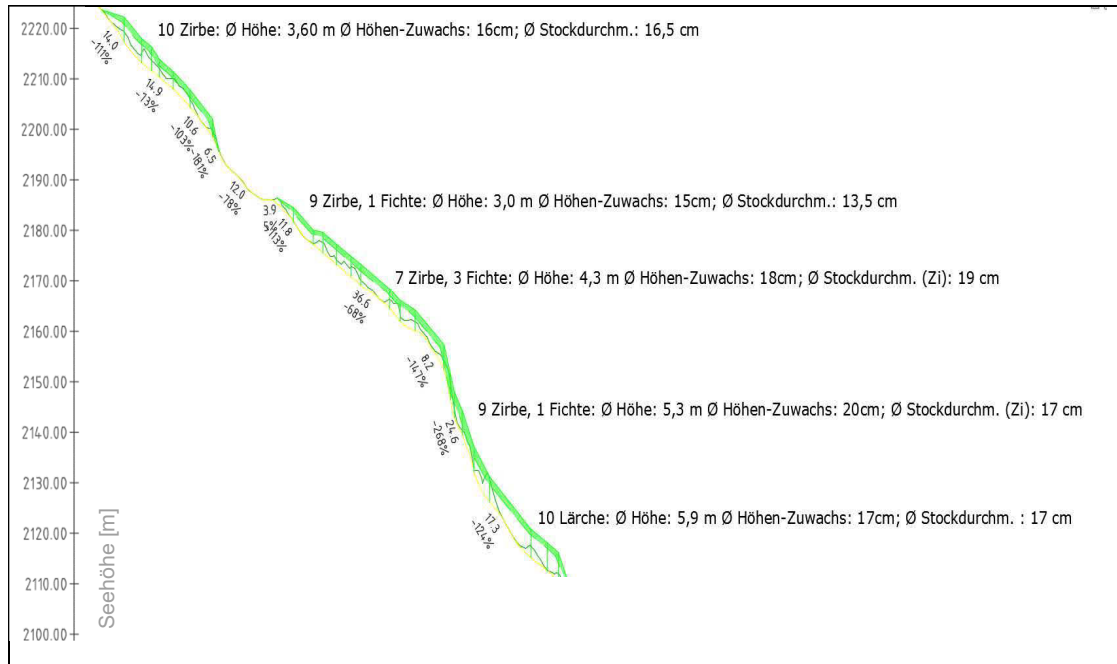


Abbildung 23: Ausschnitt aus dem erhobenen Längsprofil im Höhenbereich von 2.100 m – 2.220 m mit entsprechenden Baumartenanteilen, gemessener mittlerer Baumhöhe, mittlerem Höhenzuwachs und mittlerem Stockdurchmesser der jeweiligen Abschnitte.

5.4.2 Fixe Probekreise

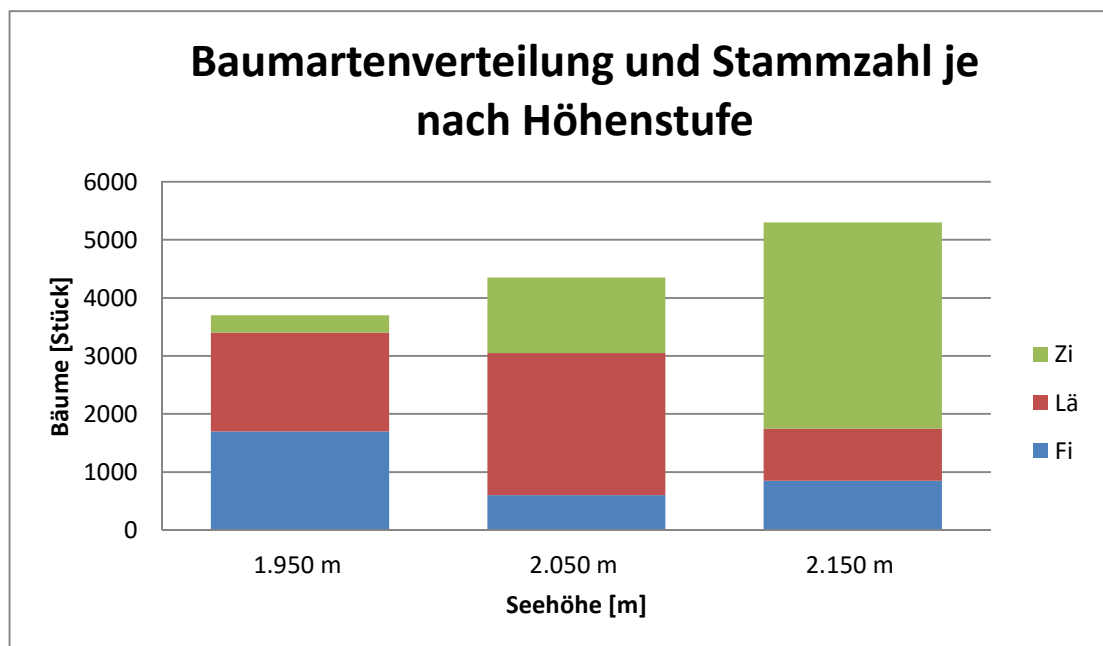


Abbildung 24: Veränderung der Baumartenzusammensetzung und Stammzahl mit zunehmender Seehöhe

Für die Darstellung der Ergebnisse aus den fixen Probekreisen wurden die gemessenen Werte aus jeweils zwei Stichproben, welche sich auf selber Seehöhe befinden, gemittelt.

Abbildung 24 zeigt einerseits, wie die Stammzahl mit zunehmender Seehöhe ansteigt und andererseits, wie sich die Baumartenzusammensetzung mit der Seehöhe verändert. Zudem zeigt diese Abbildung, dass die Zirbe auf einer Seehöhe von 2.150 m mit rund 70 % die vorherrschende Baumart ist. Die gesamte Stammzahl beträgt 5.300 Bäume je Hektar. Auf einer Seehöhe von 2.050 m ist die Lärche mit knapp 60 % die vorherrschende Baumart. Die gesamte Stammzahl beträgt für diese Seehöhe rund 4.350 Bäume je Hektar. Auf einer Seehöhe von 1.950 m kommen Fichte und Lärche jeweils mit rund 45 % vor, die Zirbe ist mit unter 10 % nur mehr schwach vertreten. Die gesamte Stammzahl beträgt auf dieser Seehöhe rund 3.700 Bäume je Hektar.

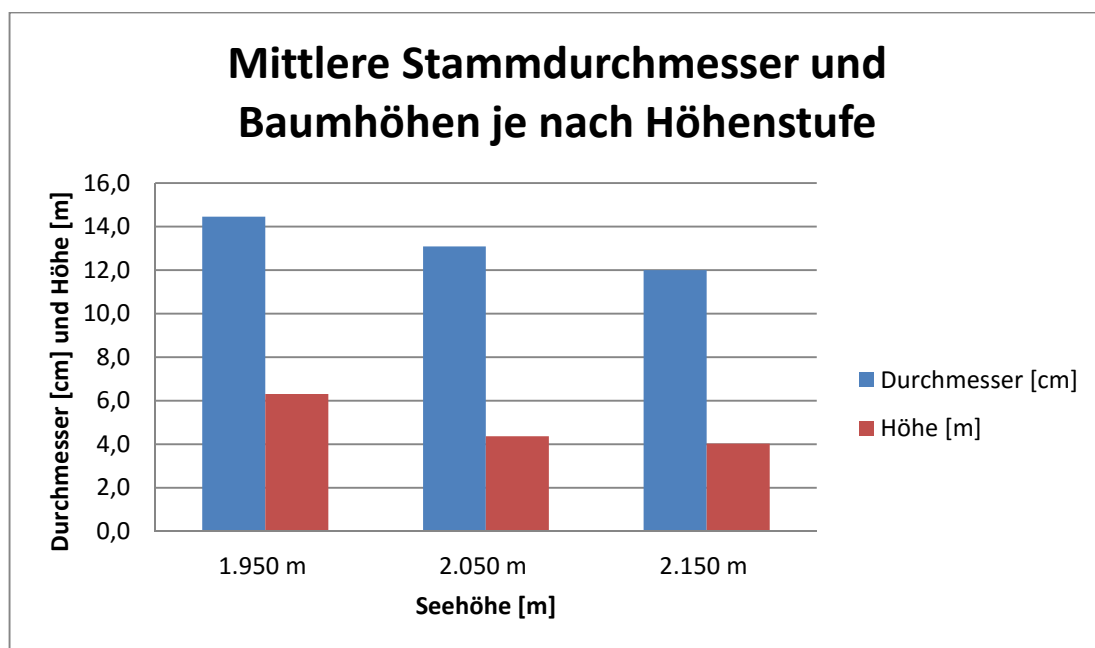


Abbildung 25: Veränderung der mittleren Stockdurchmesser und Baumhöhen je nach Seehöhe

Mit zunehmender Seehöhe nehmen die gemessenen mittleren Stockdurchmesser und auch die mittleren Baumhöhen ab (Abbildung 25). Für diese Berechnungen sind alle gemessenen Bäume in den Probekreisen auf der ent-

sprechenden Seehöhe gemittelt worden. Das bedeutet, dass auch Ausreißer, wie stark unterständige Bäume, miteinbezogen wurden.

Die mittlere Baumhöhe auf einer Seehöhe von 2.150 m liegt bei $4,0 \pm 1,6$ m und der mittlere Stockdurchmesser beträgt $12,0 \pm 4,7$ cm. Auf einer Seehöhe von 2.050 m beträgt die mittlere Baumhöhe $4,4 \pm 2,1$ m und der mittlere Stockdurchmesser liegt bei $13,1 \pm 6,6$ cm. Auf einer Seehöhe von 1.950 m beträgt die mittlere Baumhöhe $6,3 \pm 2,4$ m und der mittlere Stockdurchmesser beträgt $14,4 \pm 6,1$ cm.

5.4.3 Abgrenzung eines lawinenschutzwirksamen Waldes

Mit Hilfe der Erkenntnisse aus dem Längsprofil, den fixen Probekreisen, den Begehungen, den Orthofotos und den Bildern vom Winter konnte der 46 ha große Aufforstungsbestand grob in drei Bestandestypen untergegliedert werden. Diese Bestandestypen lassen sich relativ gut den jeweiligen Höhenstufen zuordnen. Wesentliche Merkmale für diese Einteilung sind das Mischungsverhältnis der Baumarten, die Baumhöhen und Stockdurchmesser, sowie charakteristische Schäden.

a. Zirbenwald:

Auf einer Seehöhe von circa 2.150 m bis 2.250 m wachsen vorherrschend Zirben mit einem Baumartenanteil von über 70 %. Das damalige Verjüngungsziel wurde für diese Höhenlage mit zehn Anteilen Zirbe festgelegt. Einzelne Mischbaumarten (Fichte, Lärche) stammen vermutlich aus Naturverjüngung. Der Bewuchs beschränkt sich dabei auf die günstigen Standorte entlang von Rücken und Kuppen. Einzelne Zirben kommen noch bis zu einer Seehöhe von knapp 2.300 m vor, besitzen aber im Alter von 60 Jahren erst eine Höhe von circa 2 m. Bei einem Großteil der Bäume ist eine Kandelaberbildung vorhanden. Die aufgeforsteten Pflanzen über 2.300 m Seehöhe haben bis auf einzelne Individuen nicht überlebt.

b. Lärchen-Zirbenwald:

Im Höhenbereich von circa 2.050 m bis 2.150 m stockt überwiegend Lärchen-Zirbenwald. Der Lärchenanteil beträgt rund 55 % und jener der Zirbe rund 30 %. Mit abnehmender Seehöhe sind ein vermehrter Rückgang der Zirben und der Ersatz durch Fichten zu beobachten. Aufgrund von dem darüber liegenden Felsband auf einer Seehöhe von rund 2.120 m kommt es vermehrt zu einer Ablagerung von Schnee auf der darunter befindlichen Verebnung. Dies verursacht einen späteren Ausaperungszeitpunkt und begünstigt die Entwicklung von Pilzkrankheiten. Auch der Einfluss kleinerer Lawinen und Schneerutsche aus dieser Steilstufe heraus ist an zahlreichen abgebrochenen und ausgerissenen Bäumen, welche auf der Verebnung abgelagert werden, zu erkennen. Auch die Anzahl der Individuen mit Säbelwuchs, Wipfelbrüchen und weiteren Schäden, war in diesem Bereich am höchsten.

c. Fichten-Lärchen-Zirbenwald:

Im Höhenbereich unterhalb von circa 2.050 m hat sich ein Fichten-Lärchen-Zirbenwald entsprechend dem Verjüngungsziel etabliert. Der Fichten- und Lärchenanteil betragen jeweils rund 40 %. Die Zirbe ist in dieser Höhenstufe nur mehr gelegentlich vorzufinden. Auch die Anzahl der geschädigten Individuen in diesem Bereich ist deutlich geringer. In diesem Abschnitt und weiter unterhalb wurden laut Projektunterlagen rund 74.500 Ebereschen und 3.000 Bergahorn verpflanzt. Bei der Begehung konnten lediglich einzelne Ebereschen, aber kein einziger Bergahorn mehr aufgefunden werden.

Bestandes- typen		Seehöhe	Waldbild
a	Zirben- wald	2.150 m - 2.250 m	
b	Lärchen- Zirben- wald	2.050 m - 2.150 m	
c	Fichten- Lärchen- Zirben- wald	1.950 m - 2.050 m	

Tabelle 14: Übersicht der drei eingeteilten Bestandestypen mit entsprechender Höhenlage und Fotos vor Ort

Unterhalb von 1.950 m Seehöhe besitzt der Wald bereits die volle Schutzfunktion gegen Lawinen. Lediglich in den Lawinenzügen bleibt die Gefahr von Waldlawinen aufrecht. Die noch vorhandenen Blößen innerhalb der Bestände reichen jedoch nicht mehr für die Entstehung von Waldlawinen aus.

In folgender Abbildung 26 ist der schutzwirksame Aufforstungsbestand grün schraffiert dargestellt. Dieser wurde mit Hilfe der vorher definierten Kriterien abgegrenzt. Die untere Abgrenzung der grünen Fläche entspricht der Hö-

henschichtlinie auf 1.920 m. Die erste große Bestandeslücke im westlichen Bereich befindet sich oberhalb einer Seehöhe von 1.950 m. Das 18,54 ha große Verbauungsfeld ist rot schraffiert dargestellt. Für die offenen Bereiche innerhalb der Verbauungsfläche wären aufgrund der geringen Hangneigung keine technischen Verbauungen erforderlich. Die hellblaue Linie kennzeichnet den Verlauf des erhobenen Längsprofils und die violetten Punkte zeigen den Aufnahmeort der Probekreise.

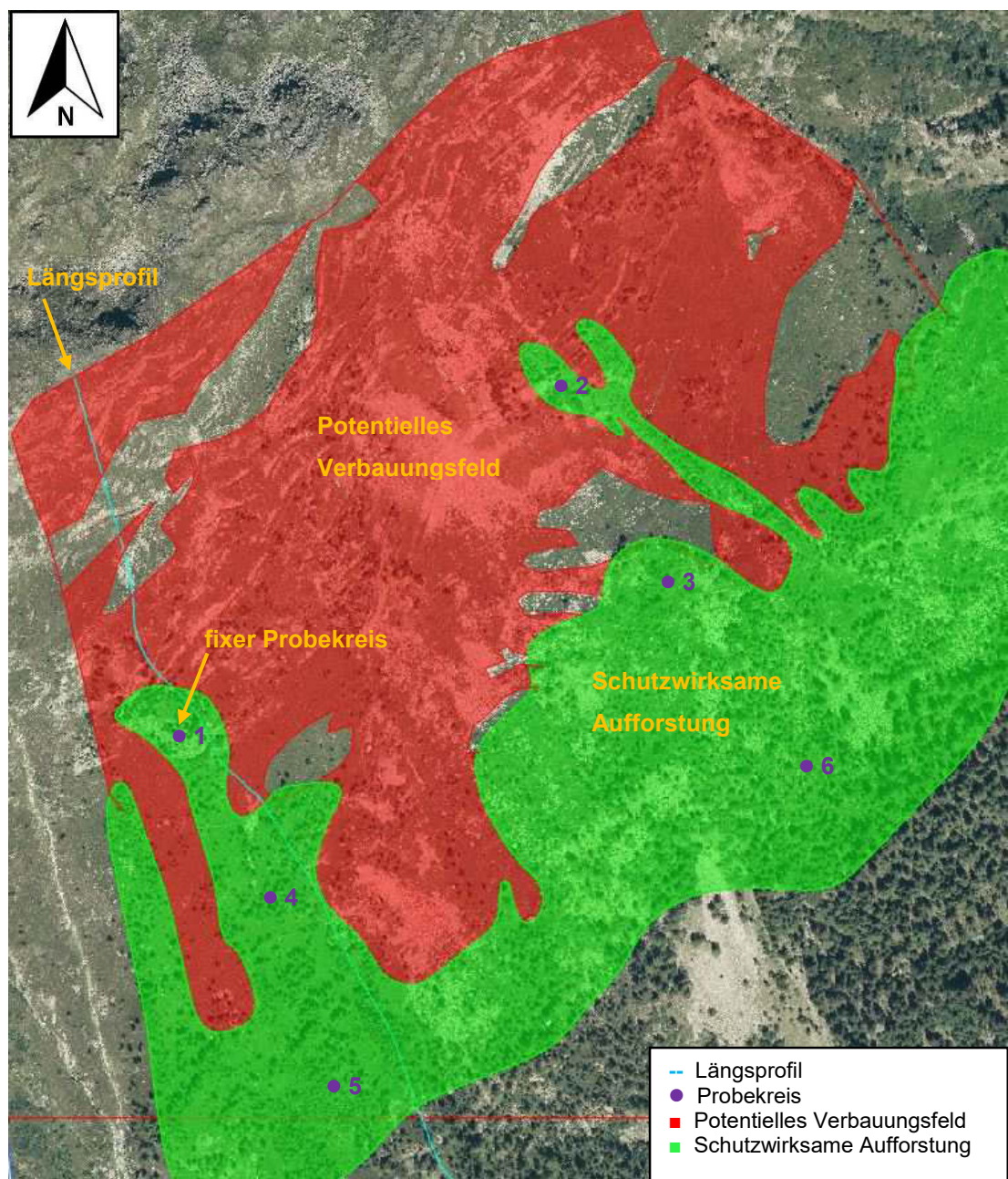


Abbildung 26: Orthofoto aus dem Jahr 2015 mit Ausscheidung der schutzwirksamen Aufforstung (grün schraffiert), der Verbauungsfläche (rot schraffiert), dem Längsprofil (hellblau) und den sechs Probekreisen (violett)

5.5 Sanierungs- oder Ergänzungsmaßnahmen

In diesem Abschnitt wird eine mögliche Maßnahmenvariante zur Sanierung der beschädigten Steinterrassen vorgeschlagen. Zudem wird eine denkbare Erschließungsvariante aufgezeigt. Um in weiterer Folge die Wirkung gegen Lawinenanbrüche erhöhen zu können wird ein Ersatzkonzept für das Teilanbruchgebiet der Glittstein-Lawine vorgestellt.

5.5.1 Erschließungsvariante

Eine Möglichkeit zur Erschließung der Schwager Gonde wäre der Bau eines Aufschließungsweges mit einer Länge von circa 1.900 m entlang dem bestehenden Wandersteig Richtung Großgfallalpe (Abbildung 27). Der geplante Weg wird in den vorhandenen Aufschließungsweg im Bereich der Linkskurve bei der Langestheialm auf einer Seehöhe von 2.040 m eingebunden. Für die Entwässerung wird bergseitig ein Graben errichtet und circa alle 60 m ein ausreichend dimensionierter Rohrdurchlass eingebaut. Im Bereich der zwei wasserführenden Gräben (Strippentobelbach und Lahngangmure) sind Rohrfurten zu errichten. Für diese Erschließungsvariante spricht zudem die Möglichkeit der Verlängerung bis zur Großgfallalpe, die ebenfalls nur zu Fuß erreichbar ist. Von der Langestheialm ausgehend ist vor Jahren auf einer Länge von rund 320 m ein Weg für den Viehtrieb errichtet worden. Dieser Abschnitt könnte mit geringem Aufwand zu einem befahrbaren Weg mit einer Fahrbahnbreite von rund 4 m ausgebaut werden. Am Ende des Aufschließungsweges besteht aufgrund des flachen Geländes die Möglichkeit einen Wende- und Lagerplatz zu errichten. Insgesamt wäre eine Höhendifferenz von lediglich 60 m zu überwinden. Das Gelände ist überwiegend trocken und stellenweise felsig, lediglich im Bereich der ehemaligen Bergwiesen (Abschnitt 2 in Abbildung 28) ist der Baugrund stellenweise feucht.

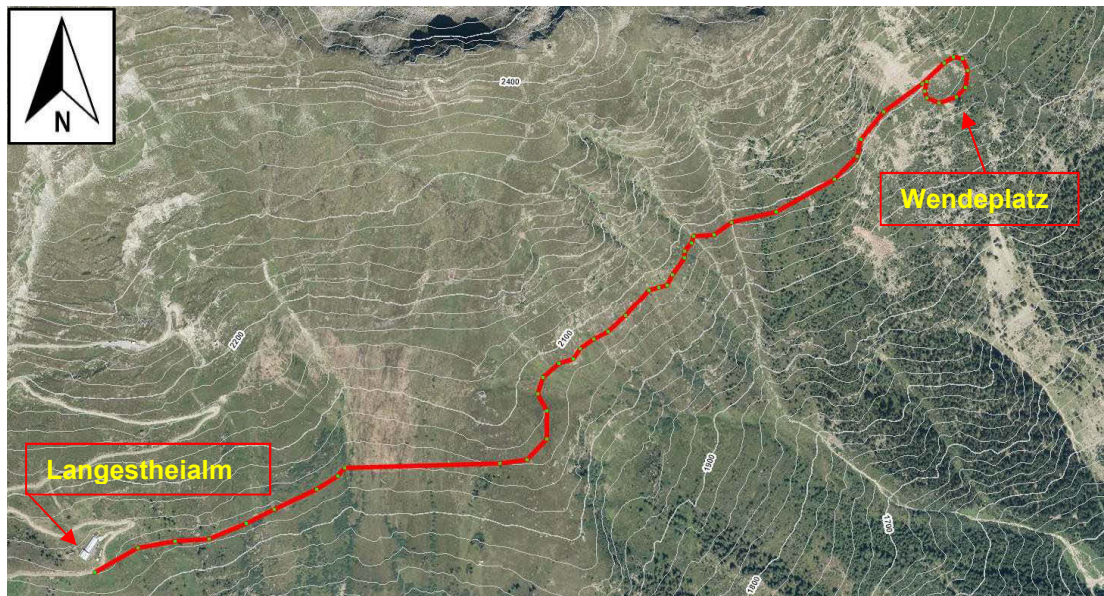


Abbildung 27: Erschließungsvariante vom bestehenden Forstweg bei der Langestheialm im Westen bis zur Schwager Gonde im Osten

Für eine Kostenschätzung wurde die geplante Wegstrecke, wie in Abbildung 28 dargestellt, in drei Baukategorien unterteilt. Der rote Abschnitt (Nr. 1), ausgehend von der Langestheialm, stellt den bestehenden Weg für den Viehtrieb dar, welcher ohne großen Aufwand ausgebaut werden kann. Die grünen Abschnitte (Nr. 2, 4 und 6) kennzeichnen gewöhnlichen Erdbau und die blauen Segmente (Nr. 3 und 5) erfordern Felsbauarbeiten.

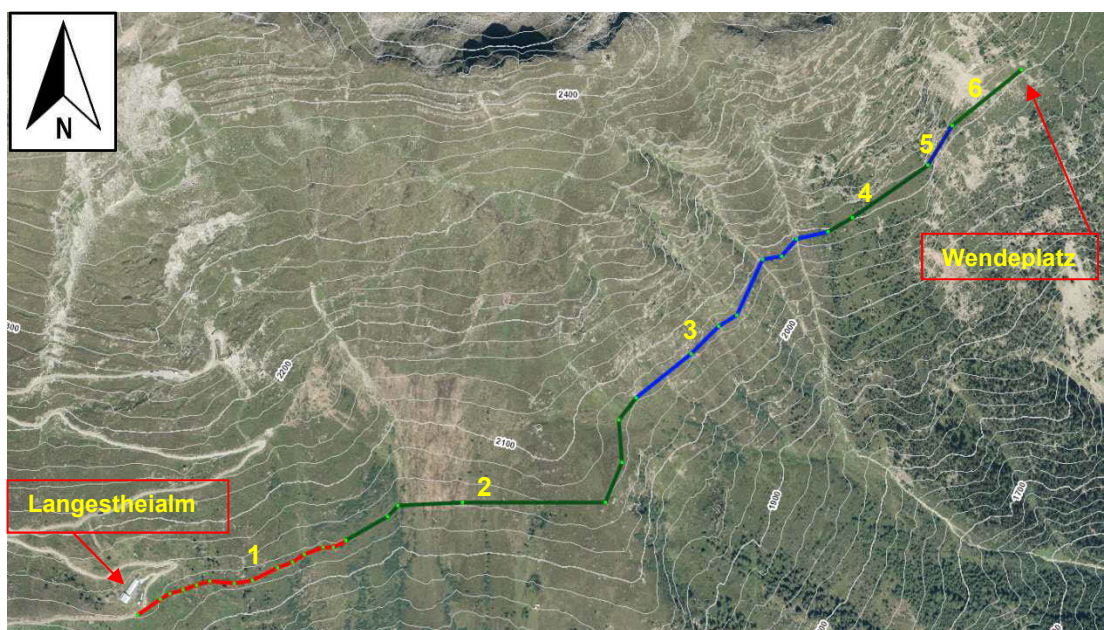


Abbildung 28: Darstellung der Wegstrecke aufgeteilt in drei Baukategorien

In folgender Tabelle 15 ist eine Kostenschätzung für die geplante Erschließungsvariante dargestellt. Bei den Baukosten je Laufmeter handelt es sich um Erfahrungswerte aus der Gebietsbauleitung. Die Baukosten für den AufschlieBungsweg mit einer Länge von circa 1.900 m betragen inklusive Steuern rund 142.000 €.

Nr.	Kategorie	Länge [lfm]	Kosten [€/lfm]	Kosten je Abschnitt [€]
1	Verbreiterung	380	35	13.300
2	Erdbau	650	50	32.500
3	Felsbau	450	150	67.500
4	Erdbau	200	50	10.000
5	Felsbau	75	150	11.250
6	Erdbau	150	50	7.500
	Gesamt	1.905		142.050

Tabelle 15: Kostenübersicht für die jeweiligen Abschnitte des AufschlieBungsweges

5.5.2 Maßnahmen an beschädigten Steinterrassen

Da sich die 25 Steinterrassen mehrheitlich in einem guten Zustand befinden, wird im Folgenden eine mögliche Maßnahmenkombination zur Sanierung der aufgetretenen Schäden dieser Bauwerke vorgeschlagen. In Tabelle 16 sind die geplanten Maßnahmen für jede Terrasse aufgelistet. Voraussetzung hierfür ist die Errichtung des bereits erwähnten AufschlieBungsweges. Andernfalls muss mit zusätzlichen Kosten für die Materialtransporte und erhöhtem Zeitbedarf für den Hin- und Rückweg der Arbeiter gerechnet werden.

Vier Terrassen befinden sich in bestem Zustand und benötigen keinerlei Maßnahmen. Die zerstörte Terrasse Nummer 5 wird aufgelassen und aufgrund der dort befindlichen Hangrutschung auch nicht mehr errichtet. Für die Bauwerke mit Fundamentschäden bietet sich die Errichtung eines Betonvorbaus am Fuß der Mauern an. Dieser wird im tragfähigen Boden fundiert und bei Bedarf verankert. Der Ankerabstand sollte 2 – 4 m betragen und die Höhe des Vorbaus richtet sich nach der Stabilität der Mauer. Für Mauern mit Ausbauchungen bietet sich eine Rückverankerung an. Hierfür werden Injekti-

onsbohranker durch die Mauer hindurch in den tragfähigen Boden abgeteuft und vermörtelt. Für die Bessere Übertragung der Ankerkräfte auf die Mauer werden Stahlplatten oder Betonriegel als Lastverteilungselemente verwendet. Die Stahlplatten haben dabei den Vorteil, dass weniger Material zum Bauwerk transportiert werden muss und ein späterer Rückbau einfacher durchgeführt werden könnte. Um wieder die gesamte Schneerückhaltefläche der Terrasse nutzen zu können, muss das abgelagerte Geröll- und Steinmaterial beseitigt werden. Leider befinden sich jene Terrassen, welche am meisten mit Geröll aufgeschüttet sind, in sehr steilem Gelände. Eine sichere Deponierung des Materials in unmittelbarer Nähe der Terrassen ist hierbei leider nicht möglich. Deshalb muss auf den Abtransport des Materials zu der unterhalb befindlichen Geröllhalde auf der Verflachung mittels Hubschrauber zurückgegriffen werden. Bei Terrassen im einfacheren Gelände kann das Geröll vor Ort deponiert werden. Zudem müssen in Summe rund 22 m³ eingestürzte Mauern an den defekten Stellen bis zum stabilen Gefüge abgetragen und nach historischer Methode wieder aufgebaut werden. Bei einigen Terrassen müssen einzelne Kronensteine ersetzt bzw. der Bewuchs entfernt werden.

Terrassennummer	Räumung [m³]	Bewuchs entfernen	Betonvorbau [lfm]	Rückverankerung [lfm]	Ab- und Wiederaufbau [m³]	Anmerkungen/Deponieort
2	4					Hubschrauber
3	6				5	Hubschrauber
4	10					Hubschrauber
5						Bauwerk auflassen
6	5			6		Hubschrauber
7	2					Hubschrauber
9				8		
10		x	4			
11	18	x				Hubschrauber
12		x				
13	5				5	Vor Ort
14	1	x				Vor Ort
15			3			Vor Ort
16				8		
17	1			7		Vor Ort
18	1					Vor Ort
19						keine Maßnahmen
20	1				Kronensteine ersetzen	Vor Ort
21						keine Maßnahmen
22					Kronensteine ersetzen	
23				12		
25		x			12	
26	2	x			Kronensteine ersetzen	Vor Ort
34						keine Maßnahmen
38						keine Maßnahmen
Summe	56	6	7	41	22	
	m³	#	lfm	lfm	m³	

Tabelle 16: Auflistung der erforderlichen Sanierungsmaßnahmen an den einzelnen 25 Steinterrassen

In folgender Tabelle 17 werden die erforderlichen Sanierungsmaßnahmen mit entsprechender Kostenschätzung aufgezeigt. Margreth & Blum (2011) schlagen hierfür in ihrem Leitfaden entsprechende Richtwerte (von – bis) vor. Die Kosten wurden nach einem Vergleich mit Erfahrungswerten der Gebietsbauleitung festgelegt. Bei der Position Räumung gilt es anzumerken, dass die 225 €/m³ für die Deponierung des Materials vor Ort gelten, und die 700 €/m³ für den Abtransport des Gerölls mittels Hubschrauber.

Räumung			
Terrassen Nr.	m³	€/m³	Gesamt
2, 3, 4, 6, 7, 13, 14, 17, 18, 20, 26	11	225	2.475
	45	700	31.500
			33.975
Entfernung des Bewuchses			
Terrassen Nr.	h	€/h	Gesamt
10, 11, 12, 14, 25, 26	6	40	240
Betonvorbau			
Terrassen Nr.	lfm	€/lfm	Gesamt
10, 15	7	1.750	12.250
Rückverankerung			
Terrassen Nr.	lfm	€/lfm	Gesamt
6, 9, 16, 17, 23	41	1.000	41.000
Ab- und Wiederaufbau			
Terrassen Nr.	m³	€/m³	Gesamt
3, 13, 25	22	600	13.200
Kronensteine ersetzen			
Terrassen Nr.	h	€/h	Gesamt
20, 22, 26	3	40	120
Gesamte Sanierungskosten			100.785

Tabelle 17: Kostenaufstellung für die Sanierung der 25 Steinterrassen

In Summe belaufen sich die geschätzten Kosten für die Sanierung der Schäden an den Steinterrassen auf rund 100.000 €. Da an vier Terrassen keine Maßnahmen erforderlich sind und ein Bauwerk aufgelassen wird entstehen für die Sanierung der zwanzig Bauwerke Kosten von rund 5.000 € je Terrasse.

5.5.3 Ergänzungs- oder Ersatzmaßnahmen

Die gemischten Materialterrassen befinden sich aufgrund der starken Setzungserscheinungen mehrheitlich in einem äußerst schlechten Zustand. Zudem besitzen diese Bauwerke eine zu geringe Werkhöhe und daraus resultiert die fehlende relevante Schutzwirkung. Deshalb wird im folgenden Absatz exemplarisch ein Ersatzkonzept am Beispiel der Glittstein-Lawine vorgestellt.

5.5.3.1 Charakteristik der Glittstein-Lawine

Maßgeblich für die Glittstein-Lawine sind das Anbruchgebiet G1, sowie das Sekundäranbruchgebiet G1_{sek}. Während der Simulation stellte sich heraus, dass sich die Schneemasse der Anbruchgebiete G2 und G2_{sek}, nicht wie vermutet in die Lawinenbahn der Glittstein-Lawine bewegen, sondern in jene der Glitt-Lawine. Da sich die Fragestellung auf die Glittstein-Lawine bezieht, werden die Anbruchgebiete G2 und G2_{sek} nicht näher untersucht. Das bedeutet aber nicht, dass es keine Interaktionen zwischen den Anbruchgebieten gibt. Zudem stellte sich heraus, dass die Schneemassen für die talinnere runsenförmige Lawinenbahn, in der sich auch die beiden Ablenktdämme befinden, von dem Anbruchgebiet Gu stammen müssen. Die Aufzeichnungen der Chronik, die Verbauungsmaßnahmen und die Stummen Zeugen in dieser Sturzbahn deuten ebenfalls auf vergangene Lawinenereignisse hin, weshalb beschlossen wurde, diesen Bereich als eigenes Sekundäranbruchgebiet auszuscheiden. Die Anbruchgebiete sind mit blauer Umrahmung in Abbildung 29 dargestellt. Zudem repräsentieren die grün gefärbten Flächen die Widerstandsgebiete (Waldbestand) und die hellblauen Flächen repräsentie-

ren die Entrainmentgebiete. Auf einer Seehöhe von rund 1.850 m teilt sich die Glittstein-Lawine in zwei runsenförmige Sturzbahnen auf, die durch eine Waldzunge getrennt werden. Im Bereich oberhalb der Glittsteiner Wiesen vereinen sich die zwei Lawinenzüge kurz, bevor sie aufgrund der Rückenstruktur im Bereich der Mähwiesen wieder auseinander laufen.

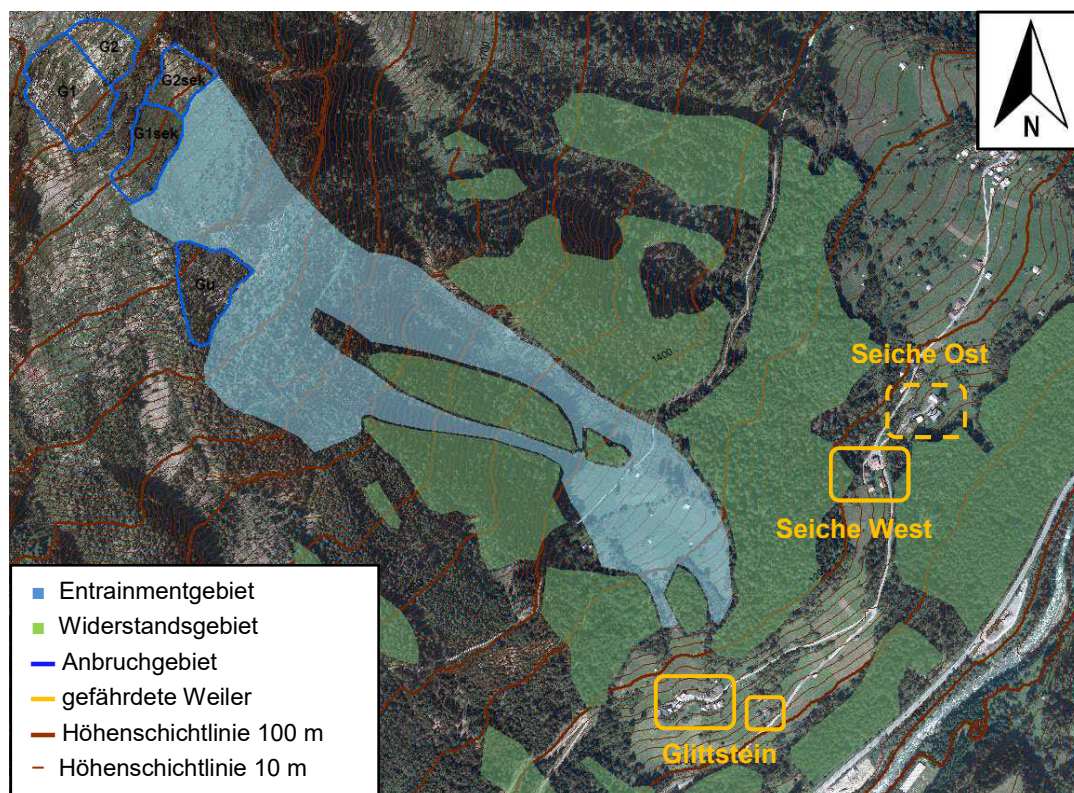


Abbildung 29: Übersichtskarte mit Anbruch-, Entrainment- und Widerstandsgebieten, sowie Höhenschichtlinien und den gefährdeten Weilern Glittstein und Seiche

Der Gefahrenzonenplan für die Gemeinde Kappl wurde am 30.07.2016 mit der GZ. LE.3.3.3/0059-III5/2016 vom BMLFUW genehmigt. Entsprechend diesem GZP liegen die zwei Wohnhäuser (Nr. 58 und 39) im westlichen Bereich des Weilers Seiche (Abbildung 30) in der Gelben Lawinenzone. Die sechs Wohnhäuser in Glittstein sowie mehrere Wirtschaftsgebäude befinden sich ebenfalls in der Gelben Lawinenzone (Abbildung 31). Die Wirtschaftsgebäude (Stadel) schräg unterhalb von Glittstein befinden sich gegenwärtig in der Roten Lawinenzone. Auch Abschnitte der B188 – Silvretta Bundesstraße und des Gemeindestraßennetzes befinden sich in der Gelben und Roten Lawinenzone.



Abbildung 30: Aktueller GZP für den Weiler Seiche (Westteil) der Glittstein-Lawine mit der Gelben Lawinenzone und grau hinterlegten Gebäuden (WLKGIS, 2016)

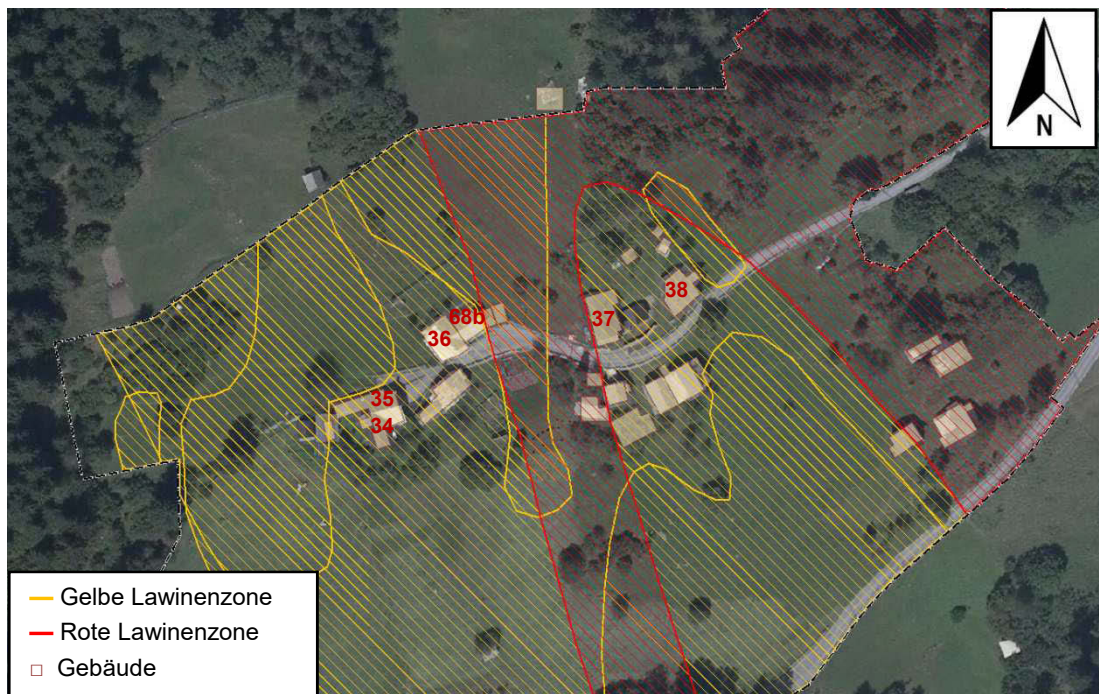


Abbildung 31: Aktueller GZP für den Weiler Glittstein der Glittstein-Lawine mit der Roten und Gelben Lawinenzone, sowie grau hinterlegten Gebäuden (WLKGIS, 2016)

5.5.3.2 Anbruchmächtigkeiten

Für die Ermittlung der 3-Tages-Neuschneesummen wurden die Stationsdaten von FLIRI für See im Paznauntal (1.040 m) herangezogen. Diese Datenreihe beinhaltet die Messwerte von 1905 bis 2000. Die mittels dem EVA+ Tool auf ein 150-jährliches Ereignis extrapolierte maximale 3-Tages-Neuschneesumme beträgt für die Station auf 1.040 m Seehöhe rund 116 cm. Aufgrund neuester Erkenntnisse der ZAMG und auf Empfehlungen der Stabstelle wird ein Höhenzuschlag von 6 cm je 100 m Seehöhe verwendet. Die für die Berechnung erforderlichen Seehöhen, Neigungen und Flächen wurden aus dem GIS entnommen. Aufgrund von Hangwinden wurde in den Anbruchgebieten G1 und G2 eine Einwehung von 30 cm unterstellt. Die für die Simulation maßgeblichen Werte wurden in der folgenden Tabelle 18 orange hinterlegt.

Anbruchgebiet	G1	G2	G1sek	G2sek	Gu
SH max [m]	2.295	2.280	2.140	2.160	2.025
SH min [m]	2.170	2.200	2.070	2.085	1.920
mittlere SH Anbruchgebiet	2.233	2.240	2.105	2.123	1.973
SH Station [m]	1.040	1.040	1.040	1.040	1.040
SH diff [m]	1.193	1.200	1.065	1.083	933
SH Zuschlag [cm]	72	72	64	65	56
Neigung (gerundet) [°]	36,5	34,0	36,0	38,0	40,5
Neigungsfaktor	0,67	0,74	0,69	0,64	0,59
Fläche [ha, planar]	1,96	0,81	1,17	0,78	1,33
Fläche [ha]	2,44	0,99	1,44	0,99	1,75
d ₀ 3TNSS [cm]	116	116	116	116	116
d ₀ 3TNSS [cm] 28°	102	102	102	102	102
SH Zuschlag [cm]28°	63	64	56	57	49
Anbruchmächtigkeit [cm]	111	123	110	102	90
incl. Einwehung 30 [cm]	131	145	130	121	107
incl. Einwehung 50 [cm]	144	160	144	134	119
Kubatur d ₀ [m ³]	31.976	14.359	15.783	10.123	15.676

Tabelle 18: Anbruchmächtigkeiten der Glittstein-Lawine als Ausgangswerte für die Lawinsimulation

5.5.3.3 Ergebnisse der Lawinensimulation

Im folgenden Absatz werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den Lawinensimulationen für die Szenarien der einzelnen Anbruchgebiete zusammengefasst. Die detaillierten Modellergebnisse können den Abbildungen im Anhang E entnommen werden.

- Anbruchgebiet G1

Laut SamosAT (mit Entrainment, ohne Widerstandsgebiet) wird im Weiler Seiche lediglich das Haus Nr. 58, welches sich in der Tiefenlinie befindet, von einer Fließlawine mit einer Fließhöhe von 2 m und Drücken über 25 kPa beeinträchtigt. In Glittstein entstehen für die Wirtschaftsgebäude schräg unterhalb des äußeren Siedlungskernes Drücke bis 10 kPa und Fließtiefen bis zu 0,50 m.

Das RAMMS Szenario zeigt, dass beide Häuser in Seiche in der Druckzone über 25 kPa liegen. Glittstein wird bei diesem Szenario nicht beeinträchtigt.

- Anbruchgebiet G1_{Sek}

Laut SamosAT (mit Entrainment, ohne Widerstand) würde eine Fließlawine die beiden Häuser des Weilers Seiche noch mit einer Fließtiefe von über 1 m und Drücken bis 25 kPa beeinträchtigen. Die Wirtschaftsgebäude unterhalb von Glittstein liegen innerhalb der 10 kPa Druckzone mit Fließhöhen unter 0,50 m.

Das RAMMS Szenario zeigt, dass sich das Haus Nr. 58 in der Druckzone von 1 bis 10 kPa befindet. Die Fließhöhen liegen dabei unter 0,50 m. Glittstein wird bei diesem Szenario nicht beeinträchtigt.

- Anbruchgebiet Gu

Gemäß SamosAT liegt der talinnere Siedlungskern von Glittstein in der Druckzone von bis zu 25 kPa. Dabei entstehen im Bereich der Geländemulde zwischen den Gebäuden des Weilers Fließhöhen von bis zu 3 m. Die

schräg unterhalb liegenden Wirtschaftsgebäude befinden sich in der Druckzone von bis zu 50 kPa, jedoch mit einer Fließhöhe von maximal 1 m. Der Weiler Seiche wird durch dieses AnbruchszENARIO nicht gefährdet.

Das RAMMS Szenario zeigt, dass sich die Häuser von Glittstein am Rand der Druckzone von 10 bis 25 kPa befinden, lediglich eines der Wirtschaftsgebäude unterhalb von Glittstein befindet sich innerhalb dieser Druckzone. Jedoch sind dabei keine Fließtiefen über 1 m zu erwarten.

- Anbruchgebiete G1 und G1_{Sek} (Staublawine)

Für das Anbruchgebiet G1 mit Sekundäranbruchgebiet G1_{Sek} wurde mittels SamosAT zusätzlich eine Staublawinensimulation (mit Entrainment und mit Widerstandsgebiet) durchgeführt. Aufgrund der Anbruchkubatur von rund 32.000 m³ ist dieses AnbruchszENARIO als mittelgroße Lawine zu klassifizieren. Die restlichen Anbruchgebiete (G1_{Sek} und Gu) besitzen beide Kubaturen von rund 16.000 m³, weshalb keine ausgeprägte Staublawinendynamik zu erwarten ist. Deshalb wurden für diese Anbruchgebiete keine Modellierungen von Staublawinen durchgeführt.

Die zwei Häuser in Seiche und die Wirtschaftsgebäude schräg unterhalb von Glittstein werden laut der Staublawinensimulation von Staubdrücken in der Größenordnung von 1 bis 3 kPa beeinträchtigt. Wird dieses Szenario ohne Entrainment und ohne Widerstandsgebiete wiederholt, befindet sich Seiche sogar im Staubdruckbereich von bis zu 10 kPa.

Abschließend gilt es festzuhalten, dass trotz der recht aufwendigen Simulationen nur eine grobe Abstraktion der realen Prozesse erreicht werden kann. Sowohl die Modelle als auch die Eingangsparameter wie beispielsweise das DGM, die Anbruchgebiete, die Anbruchmächtigkeiten, etc. sind mit gewissen Ungenauigkeiten behaftet. Die Lawinensimulationen stellen lediglich eine Unterstützung für die Entscheidungsfindung dar. Für die endgültige Entscheidung sind weitere Informationen wie die Lawinenchronik, Stumme Zeugen, Geländebeobachtungen oder Aussagen ortsansässiger Personen heranzuziehen.

5.5.3.4 Planungsziel

Das Ziel des Ersatzkonzeptes ist der dauerhafte Schutz der Siedlungsbereiche der Weiler Glittstein und Seiche samt Infrastruktureinrichtungen, dem Gemeindestraßennetz und der Silvrettabundesstraße (B188).

5.5.3.5 Baustellenerschließung

Um die Wegstrecken der Arbeiter, sowie die Rotationszeiten des Hubschraubers minimieren zu können, ist bei dieser Variante der Bau des bereits genannten Aufschließungsweges erforderlich. Die Detailerschließung erfolgt mit dem Hubschrauber. Im Bereich des Umkehrplatzes besteht die Möglichkeit zur Materiallagerung und Vormontage der Stahlschneebrücken.

5.5.3.6 Errichtung von 2.135 lfm Stahlschneebrücken

Im Rahmen eines Ersatzprojektes für die Stein- und Materialterrassen werden im 2,44 ha großen Anbruchgebiet G1 und im darunter liegenden 1,44 ha großen Sekundäranbruchgebiet G1_{Sek} Stahlschneebrücken errichtet. Die oberste Werksreihe im Anbruchgebiet G1_{Sek} sollte dabei aufgrund der darüber befindlichen Steilstufe und den daraus resultierenden Schneerutschen in einer verstärkten Ausführung errichtet, und mit einer Dämpferschicht vor Steinschlag geschützt werden.

Weil die Bestandeslücken im 1,75 ha großen Anbruchgebiet Gu in Falllinie teilweise über 30 m lang sind und die mittlere Neigung über 40 ° liegt, werden in den Lücken ebenfalls Stahlschneebrücken errichtet. Wegen der zahlreichen Geröllschutthalden wurde die Variante einer Verpfählung (samt Aufforstung) in diesem Anbruchgebiet als nicht durchführbar eingestuft.

Auf Grund der zu erwartenden Schneehöhen und entsprechend den Erfahrungswerten von benachbarten Lawinenverbauungen kommen überwiegend Stahlschneebrücken des Typs 4,7 – 1.1 – 1,8 zum Einsatz. Aufgrund der Ge-

ländeunebenheiten ergeben sich lokal variierende Werkshöhen. Die Anordnung der Werksreihen ist in Abbildung 32 dargestellt. Die detaillierte Abstreckung der Werksabstände wird nach den Grundsätzen ONR 24806 vor Ort durchgeführt. Der maximale Abstand zwischen den Werkreihen liegt bei 30 m. Die Untergrundverhältnisse lassen keine Probleme mit dem in Druck- und Zugteil aufgelösten Verankerungstyp (Mikropfahlbock) erwarten.

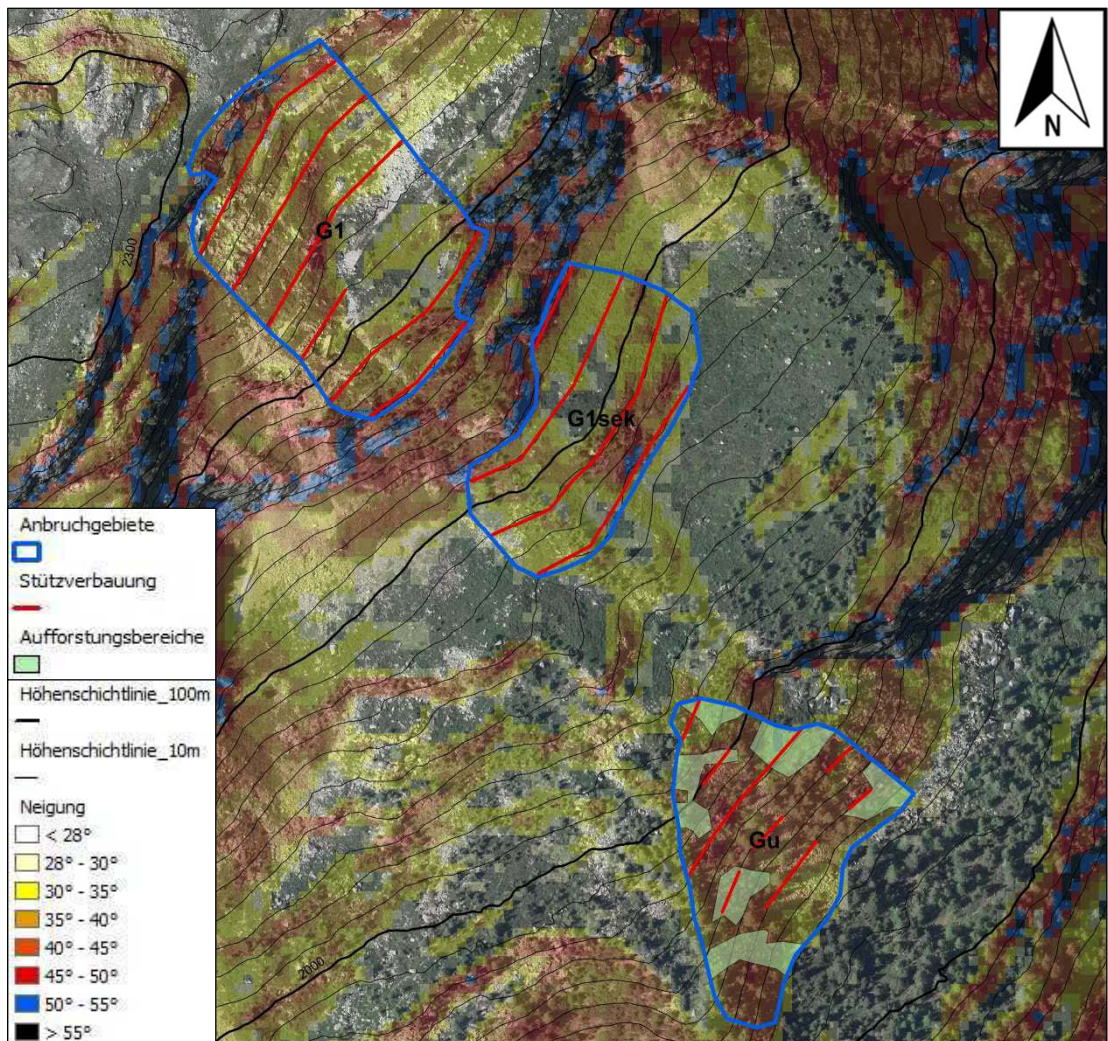


Abbildung 32: Anordnung der Stützverbauungen und Aufforstungsbereiche in den jeweiligen Teilanbruchgebieten mit dazugehöriger Hangneigung

5.5.3.7 Forstliche Maßnahmen

Im Schutze der technischen Verbauung werden im Sekundäranbruchgebiet Gu auf rund 1,75 ha die Bestandeslücken der ehemaligen Hochlagenauffors-

tung aus den 1950-er Jahren geschlossen (Abbildung 32). Nicht aufgeforstet werden dabei Geröll- und Schotterhalden und größere Mulden, welche erst spät im Frühjahr ausapern.

5.5.3.8 Kostenschätzung

Zur Abschätzung der erforderlichen Werkslängen wurde folgende Überlegung zu Grunde gelegt. Die mittlere Hangneigung im Anbruchgebiet G1 beträgt $36,5^\circ$. Entsprechend der ONR 24806 ergibt sich ein mittlerer Abstand der Werksreihen von 22 m (für Δh 13 m). Für einen Hektar Anbruchverbauung mit einem Reihenabstand von 25 m werden somit 4 Werksreihen zu je 100 m Länge benötigt. Für die 22 m Abstand ergeben sich deshalb 4,54 Werksreihen und in weiterer Folge 454 lfm Stahlschneebrücken je Hektar. Für die 2,44 Verbauungsfläche im Anbruchgebiet G1 werden deshalb rund 1.109 lfm Stahlschneebrücken benötigt.

Für das 34° steile und 1,44 ha große Anbruchgebiet G1_{Sek} werden nach dieser Überlegung rund 588 lfm Stahlschneebrücken benötigt.

Unterstellt man im 1,75 ha großen Anbruchgebiet Gu eine Überschilderung von circa 50 %, so erhält man eine geschätzte Verbauungsfläche von 0,88 ha. Für eine mittlere Hangneigung von $40,5^\circ$ ergibt sich laut ONR ein Werksabstand von 20 m. Dementsprechend werden für den Bereich Gu rund 438 lfm Stahlschneebrücken benötigt.

Entsprechend der Ausführungsnachweise für die benachbarte Flung-Lawine aus dem Jahr 2006 beliefen sich die Kosten für die Errichtung von einem Laufmeter Stützverbauung auf rund 827 €. Dabei wurden die Werke mit Höhen von 3,5 – 4,5 m mittels einer Materialeilbahn errichtet. Aufgrund des Hubschraubertransportes und der geringfügig höheren Werke wird für die Kostenschätzung ein Laufmeterpreis von 900 € unterstellt. Somit belaufen sich die geschätzten Kosten für die 2.135 lfm Stahlschneebrücken auf rund 1.921.500 €.

Entsprechend den Erfahrungswerten der Gebietsbauleitung entstehen für eine Aufforstung Kosten von rund 15.000 € je Hektar. Für die Aufforstung der

rund 0,88 ha großen Bestandeslücken betragen die geschätzten Kosten rund 13.200 €.

Zusammen mit der Errichtung des Aufschließungsweges würde die Verbauung der Glittstein-Lawine Kosten in der Höhe von rund **2,1 Mio. €** verursachen.

5.5.4 Auswirkungen auf die Gefahrenzonenplanung

In der aktuellen Fassung des GZP wurden die Stein- und Materialterrassen im Bereich der Schwager Gonde nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse aus der Wirkungsbeurteilung und die Beurteilung der Aufforstung rechtfertigen diese Entscheidung. In weiterer Folge wird beschrieben, wie sich die Gefahrenzonen nach Verbauung der Glittstein-Lawine verändern.

- Auswirkungen für den Weiler Glittstein

Nach Verbauung der Anbruchgebiete G1 und G1_{sek} wird Glittstein nach wie vor durch Lawinen aus dem Anbruchgebiet Gu gefährdet. Dabei befinden sich die talinneren Häuser gemäß SamosAT in der Druckzone von bis zu 25 kPa, die zwei Wirtschaftsgebäude (Stadel) befinden sich teilweise sogar in der Druckzone von bis zu 50 kPa. Deshalb sind auch in diesem Anbruchgebiet Verbauungsmaßnahmen erforderlich. Der Weiler Glittstein besteht laut Aussagen von Anwohnern bereits seit über 300 Jahren und bis dato konnte kein dokumentiertes Ereignis die Wohnhäuser erreichen. Zudem wird der Weiler Glittstein durch eine Geländemulde in zwei Siedlungskerne geteilt. Die Simulationsergebnisse zeigen eine deutliche Tendenz der Lawinenbewegung in dieser Mulde bzw. in Richtung der Wirtschaftsgebäude unterhalb von Glittstein.

Nach durchgeführten Verbauungsmaßnahmen kann der gesamte Weiler Glittstein zur Gelben Lawinenzone erklärt werden, diese endet dabei oberhalb der Gemeindestraße Richtung Glitt. Wenn der Wald im Anbruchgebiet Gu die volle Schutzwirksamkeit gegen Lawinenanbrüche erreicht hat, darf auch in Glittstein die Gelbe Lawinenzone entfallen.

- Auswirkungen für den Weiler Seiche

Die Simulationsergebnisse (SamosAT) zeigten deutlich, dass der Weiler Seiche auch noch vom Anbruchgebiet G_{Sek} mit Drücken bis 25 kPa gefährdet wird. Die Fließbewegung konzentriert sich dabei entlang der Tiefenlinie in Richtung des Hauses Nr. 58. Deshalb wird auch dieses Anbruchgebiet mittels Stahlschneebrücken verbaut. Bisher wurde der Weiler laut Aufzeichnungen lediglich im Jahr 1967 durch eine Staublawine beeinträchtigt. In der Chronik wird dazu erwähnt, dass der Schneestaub bis rund 100 m über die Häuser des Weilers reichte.

Nach erfolgter Verbauung könnte die Gelbe Lawinenzone zur Gänze aus dem Weiler Seiche zurückgenommen werden.

- Auswirkungen auf die Silvrettaabundesstraße

Betrachtet man die Aufzeichnungen der Lawinenchronik, ergänzend mit den historischen Orthofotos (Waldbestand) aus dem Laser- und Luftbildatlas, dann zeigt sich, dass bis dato kein dokumentiertes Ereignis bis zur Silvrettaabundesstraße vordringen konnte.

Nach durchgeführter Verbauung befindet sich die Silvrettaabundesstraße außerhalb einer Gefahrenzone.

6. Diskussion und Ausblick

Im Rahmen dieses Kapitels werden die Hauptergebnisse kurz zusammengefasst. Zudem wird die Bedeutung der Untersuchungsergebnisse hinsichtlich der vorab getroffenen Fragestellung diskutiert und in Bezug zu anderen Forschungsergebnissen gebracht.

Umsetzung der Projektziele

Der ursprüngliche Projektgedanke sah vor, durch forstliche sowie technische Maßnahmen die Lawinengefahr für die Wohnsiedlungen und Kulturgründe abzuschwächen bzw. ganz zu bannen, die Erhaltung der noch vorhandenen Waldbestände zu gewährleisten, die Schließung des Waldes durchzuführen sowie die Waldkrone anzuheben und die Talverhältnisse in bescheidenem Ausmaße zu verbessern.

Grundsätzlich konnten die damals formulierten Ziele erreicht werden, da laut Aufzeichnungen der Lawinenchronik in den Jahren nach den Verbauungsmaßnahmen große Schadereignisse ausgeblieben sind. Die Lawinengefahr ganz zu bannen ist jedoch nicht gelungen. Es sind zahlreiche Lawinenabgänge (1967, 1968, 1970, 1979, 1999) bis in die Nähe des Siedlungsraumes zu verzeichnen. Die Schäden beschränken sich dabei allerdings überwiegend auf Waldbestände und Kulturgründe. Ohne die Maßnahmen auf der Schwager Gonde wären die Auswirkungen vermutlich schwerwiegender gewesen.

Zustand und Wirkung der Bauwerke

Im Rahmen der Zustandsbewertung stellte sich heraus, dass sich die Steinterrassen in einem durchaus guten Zustand befinden und überwiegend durch Geröllablagerungen beeinträchtigt werden. Daraus lässt sich ableiten, dass die Bauwerke auch einen gewissen Schutz gegen kleinere Steinschlagereig-

nisse bieten. Gemäß der Bewertung nach ONR 24807 besitzt rund die Hälfte der 25 Steinterrassen einen guten Erhaltungszustand. DI Leys berichtete in seinem Artikel über die Bauerfahrungen in der Lawinenvorbeugung Kappl (1968), dass eine Mauerterrasse durch einen Hangrutsch zerstört wurde. Aus den Aufzeichnungen der Gebietsbauleitung geht jedoch nicht hervor, ob diese Terrasse danach wieder aufgebaut wurde oder nicht. Es lässt sich deshalb keine Aussage treffen, ob die Terrasse seit damals kaputt ist, oder in den Jahren danach neuerlich zerstört wurde. Die 62 Materialterrassen sind neben Ausbauchungen und Mauereinstürzen der trockengemauerten Segmente überwiegend durch Setzungserscheinungen beeinträchtigt. Mehrere Terrassen wurden aufgrund von Grundlawinen sogar hangparallel abgeschert. Dieses Phänomen beschrieb DI Leys bereits in seinem Artikel im Jahre 1968. Gemäß der Bewertung nach ONR 24807 befinden sich lediglich 8 % der Materialterrassen in einem guten Erhaltungszustand und nahezu alle Materialterrassen sind in ihrer Funktion teilweise bzw. erheblich eingeschränkt. Es zeigt sich somit, dass die Materialterrassen, welche aus wechselnden Lagen von Steinen und Rasenziegeln oder Polstern von Zwergstrauchheiden aufgebaut wurden, nicht in der Lage sind den Kräften des Schneedruckes Stand zu halten. DI Leys berichtete 1968 bereits von Setzungen im Bereich der Terrassenkronen, welche im Schnitt 20 cm tief waren. Hervorgerufen werden diese Schäden durch Schneedruck und Abschmelzwässer im Frühjahr. Leys erwähnte auch, dass aufgrund der robusteren Ausführung die Steinterrassen widerstandsfähiger und weniger empfindlich gegenüber Abschmelzvorgängen des Schneekörpers wären, was sich auch im Rahmen der Funktionsbewertung bestätigt hat.

Aufgrund der fehlenden Erschließung und den dadurch entstehenden Transportkosten wurde damals die Terrassenvariante gegenüber einer Verbauung durch Stahlschneebrücken bevorzugt. Eine Terrassenverbauung ist jedoch nur dann voll wirksam, wenn die Bauwerke die Schneedecke durchbrechen (Leys, 1968). Die Wirkungsbeurteilung zeigt, dass alle Bauwerke eine absolut ungenügende Bauwerkshöhe aufweisen. Bereits bei einer extremen Schneehöhe von 3,20 m müssten laut der Bewertung nach Margreth & Blum (2011) alle Terrassen in die Kategorie „Absolut Ungenügend“ eingestuft werden. In Punkto Werksabstand zeigen die Ergebnisse, dass knapp zwei Drittel

einen nicht ausreichend Werksabstand aufweisen. Zudem wurden die Terrassen nicht systematisch, sondern je nach Geländegegebenheiten (Verflachungen) und Vorhandensein von Baumaterialien angeordnet. Dies hat zu Folge, dass die Abstände sehr stark variieren und keineswegs einer systematischen Verbauung gemäß derzeitigen Richtlinien entsprechen.

Bei einem Großteil der Terrassen sind die Bauwerkshöhen deutlich niedriger als die Maximalschneehöhe für ein jährlich wiederkehrendes Ereignis. Dieses Ergebnis wird durch die Bilder aus den Befliegungen und den Gegenhangbeobachtungen vergangener Jahre bekräftigt. Auch in durchaus schneearmen Wintern waren nahezu alle Terrassen komplett überschneit.

In der derzeit gültigen Fassung des Gefahrenzonenplanes aus dem Jahre 2016 wurden die Verbauungsmaßnahmen nicht berücksichtigt. Entsprechend den Ergebnissen aus der Zustandsbewertung und der Wirkungsbeurteilung scheint diese Entscheidung durchaus gerechtfertigt zu sein. Auch umfangreiche Sanierungsmaßnahmen an den Terrassen hätten kaum Einfluss auf deren Wirkung, da die Werkhöhen eindeutig zu gering sind. Erst durch eine flächige Stützverbauung entsprechend den derzeit gültigen Richtlinien könnte ein dauerhafter Schutz des Siedlungsbereiches und der betroffenen Abschnitte der Silvrettabundesstraße und der Gemeindestraßen erzielt werden.

Aufforstungserfolg

Bei der Durchsicht der historischen Orthofotos im Laser- und Luftbildatlas des Landes Tirol zeigte sich, dass die Aufforstung erst ab Mitte der 90-er Jahre sichtbare Fortschritte machte. Bei der Begehung vor Ort konnte zudem eine wesentliche Ausdehnung der Aufforstungsbestände gegenüber dem Orthofoto aus dem Jahr 2010 festgestellt werden. Auch das Längsprofil zeigt, dass die Bäume in den letzten 6 Jahren erhebliche Höhenzuwächse geleistet haben. Die günstige Witterung im Sommer und die milden Wintern der vergangenen Jahre haben sich vermutlich positiv auf die Zuwächse ausgewirkt.

Unterhalb einer Seehöhe von circa 1.950 m besitzt der Wald bereits die volle Lawinenschutzfunktion. An günstigen Standorten reicht der lawinenschutzwirksame Wald sogar bis auf eine Seehöhe von rund 2.150 hinauf. Lediglich

in den Lawinenzügen lässt sich ein Lawinenanbruch noch nicht gänzlich ausschließen. Die Blößen innerhalb der Bestände sind für die Bildung von Waldlawinen bereits zu klein. Auf den ersten Blick scheinen auch die Lawinenbahnen recht gut bewachsen zu sein (siehe aktuelles Foto im Anhang D). Tatsächlich jedoch besteht der Bestand in diesen Bereichen überwiegend aus sommergrünen Bäumen und Sträuchern wie Birken, Weiden, Erlen, Ebereschen oder Haselnuss. Gemäß der Anleitung für Pflegemaßnahmen in Schutzwäldern (Frehner, Wasser & Schwitter, 2005) beeinflussen die Baumart und die Bestandesstruktur den Schneedeckenaufbau und damit die Lawinenbildung durch die Interzeption und das Bestandesklima. Die Interzeption ist vor allem bei niedrigen Temperaturen bei wintergrünen Baumarten größer als bei winterkahlen. Zudem wird die Abstrahlung von kurz- und langwelliger Strahlung unter einem dichten Bestand aus immergrünen Baumarten um bis zu 90 % reduziert, unter einem Bestand mit winterkahlen Baumarten nur bis zu 30 %.

Ohne eine systematische Anbruchverbauung besteht nach wie vor die Gefahr der flächigen Zerstörung der Aufforstung, falls Lawinen oberhalb der Waldgrenze anbrechen. Erst im Anschluss an eine technische Verbauung ist es sinnvoll, noch nicht bestockte und für die Aufforstung geeignete Flächen mit aufzuforsten. Hierbei sollten die Grundsätze des Wind-Schnee-Ökogrammes nach Aulitzky beachtet werden. Unterhalb einer Seehöhe von 1.950 m sind keine Aufforstungsmaßnahmen mehr erforderlich, hier wird vermutlich die Naturverjüngung die noch vorhandenen Lücken schließen. Auch in den oberen Bereichen der Aufforstung kann künftig mit Naturverjüngung gerechnet werden. Bei der Begehung war deutlich zu erkennen, dass zahlreiche Bäume die Mannbarkeit erreicht haben und bereits Zapfen tragen.

Für die Hochlagenaufforstung wurden die Ziele einst etwas zu optimistisch gesetzt. „Keine Angst vor großen Seehöhen für die Auswahl der Pflanzstandorte“, so schrieb Pitterle in seinem Artikel über die Erkenntnisse der Hochlagenaufforstung (1987). Die Erfahrungen aus der Hochlagenaufforstung der Schwager Gonde bis zu einer Seehöhe von 2.350 m belegen jedoch das Gegenteil. Einzelne Zirben kommen noch bis zu einer Seehöhe von maximal 2.300 m vor, besitzen aber im Alter von 60 Jahren erst eine Höhe von circa 2 m und weisen deutliche Winddeformationen auf. Der geschlossene

Bestand reicht bis auf eine Seehöhe von rund 2.250 m hinauf. Die aufgeforschten Pflanzen über 2.300 m Seehöhe konnten nicht überleben. Auch Heumader (2014) erwähnte in seinem Artikel, dass die damaligen Vorstellungen zur Thematik der Hochlagenaufforstungen und des Lawinenschutzes auf Annahmen basierten, die teilweise unrealistisch waren.

Beim Vergleich der mittleren Baumhöhen aus dem Längsprofil mit jenen aus den fixen Probekreisen zeigen sich geringfügige Unterschiede. Diese Differenz entsteht, weil für die Auswertung des Längsprofils die starken Ausreißer nicht beachtet wurden. Bei den fixen Probekreisen jedoch wurde der Mittelwert über alle erhobenen Bäume berechnet. Aus der hohen Anzahl an kleineren unterwüchsigen Bäumen (teilweise herrscht Rottenstruktur) resultiert ein geringerer Mittelwert. Als Bedingung für einen lawinenschutzwirksamen Wald fordern Saeki & Matsuoka (1969) eine mittlere Baumhöhe, die etwa das Ein- einhalbfache der Schneedeckenhöhe beträgt. Die Mittelwerte aus den Probekreisen erfüllen dieses Kriterium nicht. Lediglich im Längsprofil (Ohne Ausreißer) lässt sich dieser Grenzwert annähernd erreichen. Generell gilt es anzumerken, dass die Bestände kleinräumig sehr unterschiedlich ausgebildet sind und die Ergebnisse der Stichproben nur grobe Richtwerte darstellen. Peter Schier berichtete 1974 über die Pilzschäden der Schwager Gonde und die Experten rechneten damals mit einem Totalausfall der Aufforstung. Sehr erfreulich ist, dass sich trotz dieses großflächigen Befalls zahlreiche Pflanzen auf geeigneten Standorten auch ohne erfolgte Pflegemaßnahmen etablieren konnten. Gegenwärtig sind die Individuen oberhalb von 1.950 m Seehöhe noch tief bekront und geringe H/D-Werte zeigen, dass die Bäume sehr stabil sind. Pflegemaßnahmen, wie etwa eine Durchforstung sind deshalb noch nicht erforderlich. Kritisch zu betrachten ist der Umstand, dass sich ein hoher Anteil an winterkahlen Lärchen im Anbruchgebiet befindet. Gemäß der Anleitung für Pflegemaßnahmen in Schutzwäldern (Frehner et al., 2005) haben winterkahle Baumarten bei kleinen Schneefällen eine gute Wirkung gegen Lawinenanrisse, bei Großschneefällen ist diese Wirkung jedoch erheblich eingeschränkt.

Sanierungs- oder Ergänzungsmaßnahmen

Die Wirksamkeitsbeurteilung zeigt, dass die Stein und Materialterrassen, im Sinne der Bewertung nach Margreth & Blum (2011), keine relevante Schutzfunktion bieten. Lediglich die 25 Steinterrassen zeigen eine gewisse Schutzwirkung gegen kleinere Steinschlagereignisse. Dies wirft die Frage auf, ob eine Sanierung der Bauwerke tatsächlich gerechtfertigt wäre? Um diese Frage beantworten zu können, müssen neben der Wirksamkeit auch weitere Aspekte, wie Ökologie, Kultur- oder Landschaftsschutz betrachtet werden. Die vielen Öffnungen der Steinmauern bieten zahlreichen Lebewesen und Pflanzen einen willkommenen Lebensraum. Zudem verkörpern Steinterrassen und Trockensteinmauern kulturhistorisches Erbe unserer Vorfahren und sie prägen seit Jahrzehnten das Landschaftsbild in zahlreichen Lawinenanbruchgebieten. Auch wurde damals für die Verbauungsmaßnahmen sehr viel Zeit und Geld investiert. Ein kontrollierter Verfall der Terrassen könnte bei Gemeinde und Bevölkerung gegebenenfalls auf Ablehnung stoßen. In der Planung einer Erhaltungsstrategie müssen solche Aspekte auf alle Fälle berücksichtigt werden.

Erschließung

Eine denkbare Variante zur Erschließung der Schwager Gonde wäre der Bau eines Aufschließungsweges mit einer Länge von circa 1.900 m entlang dem bestehenden Wandersteig Richtung Großgallalpe. Dieser würde Baukosten von rund 142.000 € verursachen. Für die Anbruchverbauung und Aufforstungen im Rahmen des Verbauungsprojektes der benachbarten Flung-Lawine wurde bereits im Jahr 2002 ein 924 m langer Aufschließungsweg ausgehend von der Langestheialm ostwärts geplant. Falls dieser Weg für die aktuell laufenden Verbauungsmaßnahmen an der Flung-Lawine errichtet werden sollte, muss unbedingt darauf geachtet werden, dass die Möglichkeit einer Verlängerung Richtung Schwager Gonde gewährleistet bleibt.

Sanierungskonzept

Die Steinterrassen sind interessante Ergebnisse einer traditionellen Bauweise und stellen eine wesentliche Etappe in der Entwicklung des technischen Lawinenschutzes dar. Um ein Stück dieser Verbauungsgeschichte zu erhalten, wurde eine Maßnahmenvariante zur Sanierung der 25 Steinterrassen ausgearbeitet. Hierbei gilt es jedoch anzumerken, dass die Wirkung gegen Lawinenanbrüche aufgrund der Sanierungsmaßnahmen nicht verändert bzw. verbessert werden kann. Dabei sind Maßnahmen wie die Errichtung von Betonverbauten bei Fundamentschäden, Rückverankerungen bei Ausbauchungen, sowie Räumungen der Terrassen vorgesehen. Die Kosten für diese Variante belaufen sich ohne Erschließung auf rund 100.000 €.

Ersatzkonzept

Beispiele für gelungene Ergänzungen mittels Stahlschneebrücken lassen sich am Dorfberg in Davos (CH), auf der Faldumalp oberhalb von Goppenstein (CH) oder auf der Feuersanglawine in Gastein finden. Solche Ergänzungsmaßnahmen sind allerdings nur sinnvoll, wenn die Terrassen eine relevante Schutzfunktion bieten. Dabei entstehen allerdings zusätzliche Kosten für den Unterhalt der historischen Bauwerke. Angesichts des teils schlechten Zustandes der Terrassen und der nicht gegebenen Schutzwirkung ist eine Sanierung der Materialterrassen nicht gerechtfertigt. Aufgrund der langjährigen Erfahrung der Gebietsbauleitung wird in weiterer Folge der Ersatz durch gegliederte Stützwerke als die beste Variante angesehen. Ein Rückbau der Terrassen ist dabei nicht vorgesehen. Die Gefährdung der Stahlschneebrücken durch Steinschlag aufgrund von zerfallenden Bauwerken ist vertretbar. Einerseits bestehen die Materialterrassen überwiegend aus Mischmauerwerk und die darin verbauten Steine wurden alle händisch bewegt, das heißt die Größe der Steine ist deutlich beschränkt. Andererseits liegen die Abstände der Stahlschneebrücken gemäß ONR 24806 je nach Hangneigung im Mittel bei rund 20 - 25 m. In der Regel wird diese kurze Strecke nicht ausreichen, damit ein Stein genügend Energie für die Zerstörung einer Stahlschneebrücke mobilisieren kann.

Mit Hilfe der Erkenntnisse aus der Lawinenchronik, den Begehungen und Lawinensimulationen mittels RAMMS und SamosAT erfolgte die Planung von Verbauungsmaßnahmen am Beispiel der Glittstein-Lawine. In den drei Anbruchgebieten G1, G1_{Sek} und Gu werden insgesamt 2.135 lfm Stahlschneebrücken errichtet. Im Anbruchgebiet Gu werden die Lücken der Hochlagenaufforstung aus den 1950-er Jahren im Schutze der Verbauung aufgeforstet. Mit der Errichtung des Aufschließungsweges würde die Verbauung der Glittstein-Lawine entsprechend den Erfahrungswerten in der Gebietsbauleitung Kosten in der Höhe von rund 2,1 Mio. Euro verursachen.

Berücksichtigung in der Gefahrenzonenplanung

Nach der Umsetzung der oben genannten Verbauungsmaßnahmen könnte die Rote Lawinenzone im Weiler Glittstein zur Gelben Lawinenzone umgewandelt werden. Diese reicht dabei hinunter bis zur Gemeindestraße Richtung Glitt, weshalb auch die Silvrettabundesstraße nicht mehr durch die Glittstein-Lawine gefährdet wird. Erst, wenn der Wald im Anbruchgebiet Gu die volle Schutzwirksamkeit erreicht hat, darf die Gelbe Lawinenzone aus dem Weiler Glittstein zurückgenommen werden. Der Weiler Seiche kommt gänzlich außerhalb der Gelben Lawinenzone zu liegen.

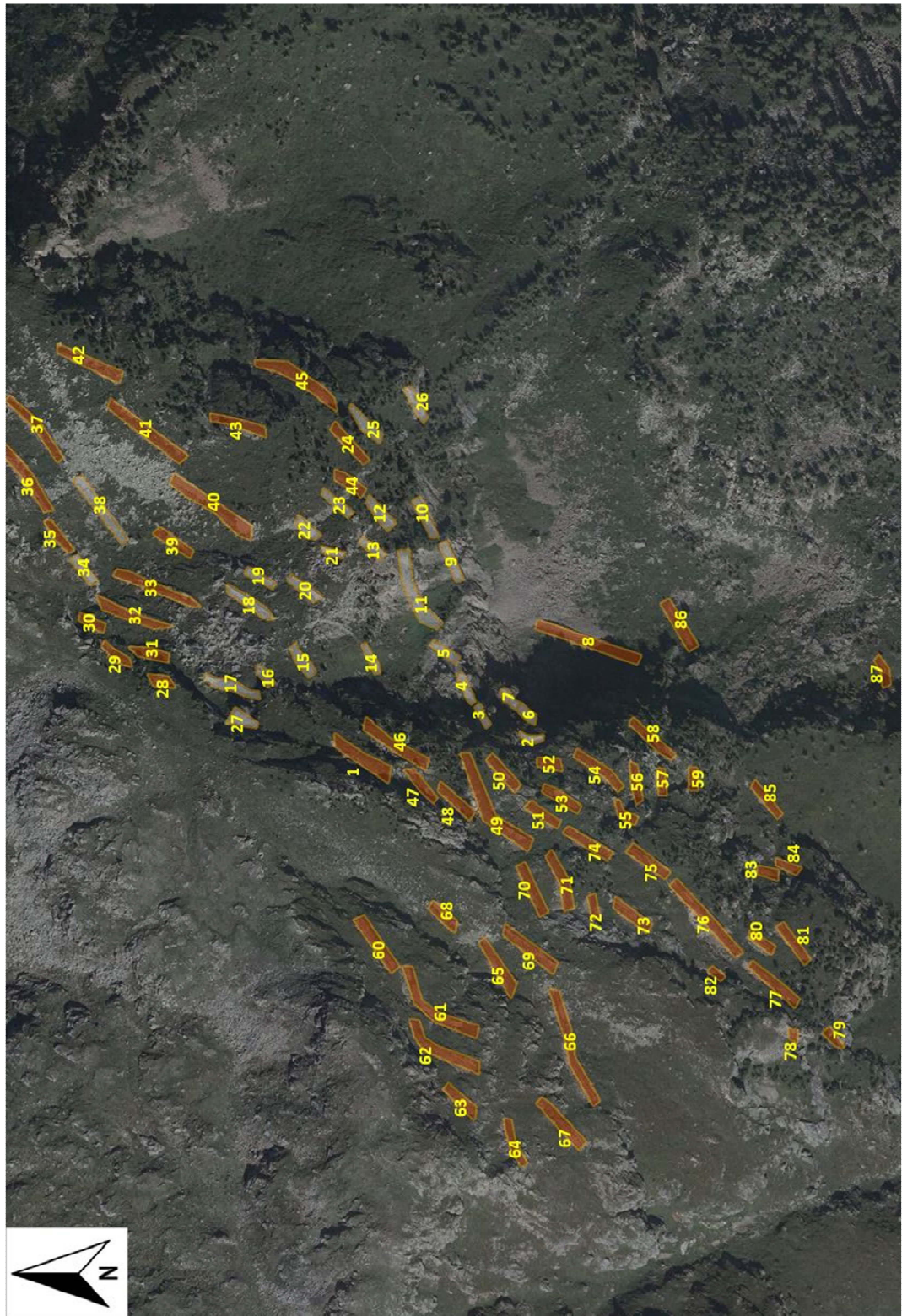
Ausblick für die Zukunft:

Abschließend stellt sich die Frage, was mit den Bauwerken in Zukunft passiert, falls keinerlei Sanierungs- oder Ergänzungsmaßnahmen vorgenommen werden? Die Terrassen wurden überwiegend auf günstigen Standorten, wie etwa Verflachungen angelegt. Zudem sind die Kubaturen der Terrassen mit einer mittleren Höhe von rund 1 m beschränkt. Steinschläge aufgrund von zerfallenden Bauwerken werden mit großer Wahrscheinlichkeit in der darunter befindlichen Verebnung oder im darunter liegenden Wirtschaftswald zum Stillstand kommen. Eine Gefährdung des Siedlungsraumes im Tal durch zerfallende Bauwerke ist deshalb nicht zu erwarten. Lediglich der darunter lie-

gende Wandersteig Richtung Großfallalpe befindet sich im unmittelbaren Gefährdungsbereich. Wie sich die zerfallenden Bauwerke auf die Aufforstung oder die Stahlschneebrücken auswirken, lässt sich nur schwer abschätzen. Offen bleibt zudem auch die Frage, wie die Wirkung der Bauwerke hinsichtlich Steinschlagereignissen oder Hanginstabilitäten ist. Ebenfalls interessant wäre herauszufinden, warum die Aufforstung gerade in den letzten 10 Jahren so massive Fortschritte machte. Hier bieten sich mögliche Anknüpfungspunkte für weitere Untersuchungen am Lawinenvorbeugungsprojekt „Schwager Gonde“.

Anhang

A: Lageplan der Terrassen



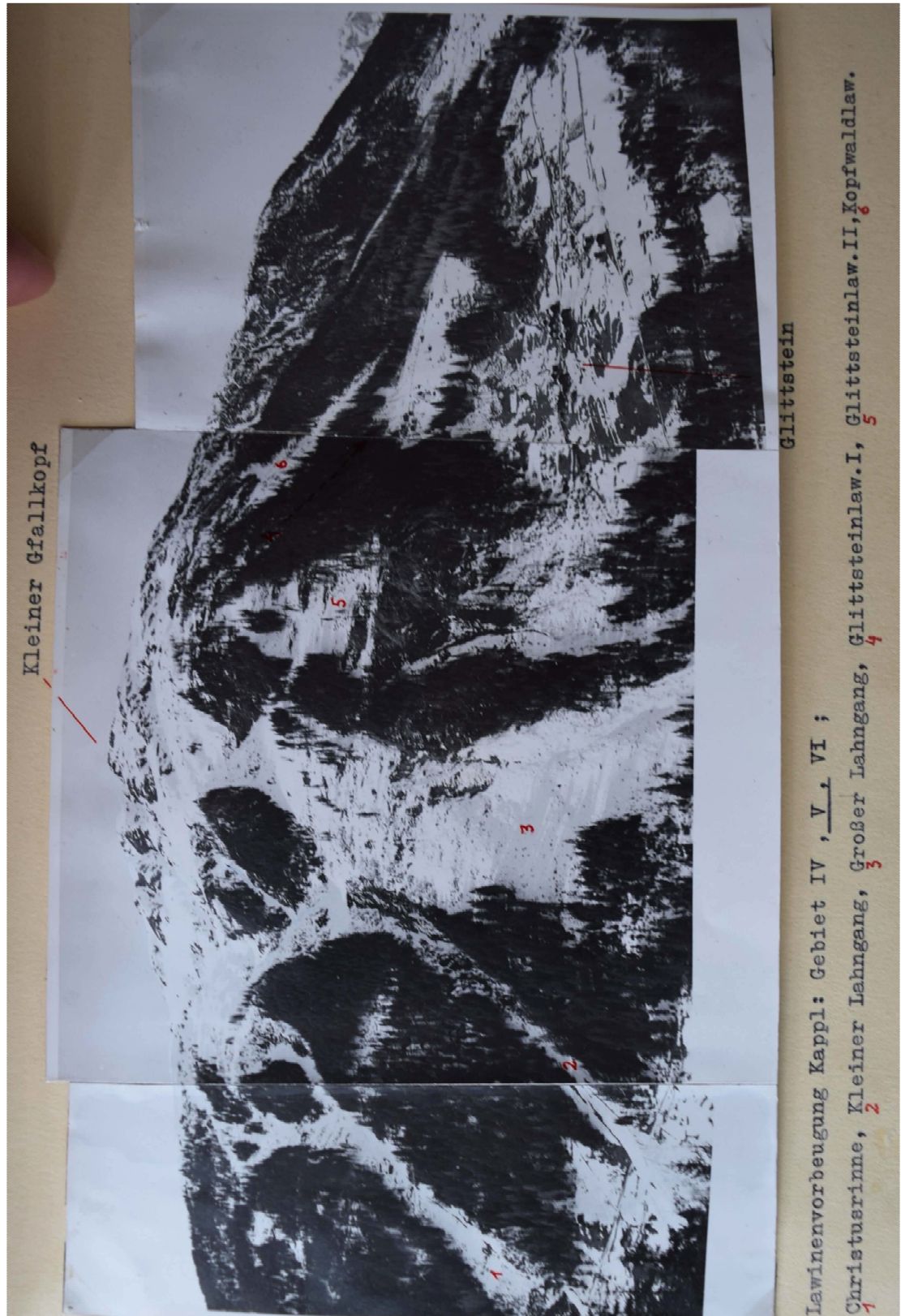
B: Detaillierergebnisse der Wirkungsbeurteilung

Terrassen Nr.	Werkshöhe hk [m]	SD -L'eff [m]	Neigung gemittelt [°]	Effektive Werkshöhe hkeff [m]	Beurteilung Werkshöhe	Abstände gemäß ONR 24806 [m]	Beurteilung Werksabstand L'eff	Wirkungsklasse (1-5)	Anbruchmächtigkeit do(30) [m]	Anbruchmächtigkeit do(150) [m]	Anbruchmächtigkeit Oberlawine do,R	Relevante Wirkung
1	0,75	25,00	51,50	0,30	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
2	1,95	31,00	55,00	0,78	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
3	3,00	60,00	57,50	1,20	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
4	3,00	70,00	57,50	1,20	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
5	0,00	100,00	55,00	0,00	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
6	2,00	40,00	57,00	0,80	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
7	2,60	40,00	56,50	1,04	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
8	1,20	61,00	44,00	0,48	Absolut Ungenügend	18,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
9	1,65	34,20	50,50	0,66	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
10	1,70	22,90	53,00	0,68	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
11	1,90	38,40	43,50	0,76	Absolut Ungenügend	19,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
12	0,70	16,80	43,00	0,28	Absolut Ungenügend	19,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
13	1,40	16,00	40,50	0,56	Absolut Ungenügend	20,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
14	1,25	36,00	43,00	0,50	Absolut Ungenügend	19,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
15	0,90	26,00	39,00	0,36	Absolut Ungenügend	20,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
16	0,90	15,00	39,50	0,36	Absolut Ungenügend	20,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
17	1,55	23,00	45,00	0,62	Absolut Ungenügend	18,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
18	1,60	50,00	40,50	0,64	Absolut Ungenügend	20,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
19	1,60	16,00	41,50	0,64	Absolut Ungenügend	19,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
20	2,00	18,00	39,00	0,80	Absolut Ungenügend	20,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
21	1,45	27,50	38,00	0,58	Absolut Ungenügend	21,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
22	1,50	44,00	36,00	0,60	Absolut Ungenügend	22,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
23	1,50	20,90	36,00	0,60	Absolut Ungenügend	22,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
24	0,60	13,30	42,50	0,24	Absolut Ungenügend	19,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
25	1,25	14,80	48,00	0,50	Absolut Ungenügend	17,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
26	2,40	38,00	45,00	0,96	Absolut Ungenügend	18,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
27	0,80	19,00	48,50	0,32	Absolut Ungenügend	17,00	Knapp Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
28	1,00	28,00	38,00	0,40	Absolut Ungenügend	21,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
29	0,70	12,00	44,50	0,28	Absolut Ungenügend	18,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
30	1,00	16,10	50,50	0,40	Absolut Ungenügend	17,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein

Terrassen Nr.	Werkshöhe h _k [m]	SD - L'eff [m]	Neigung gemittelt [°]	Effektive Werkshöhe h _{keff} [m]	Beurteilung Werkshöhe	Abstände gemäß ONR 24806 [m]	Beurteilung Werksabstand L'eff	Wirkungsklasse (1-5)	Anbruchmächtigkeit do(30) [m]	Anbruchmächtigkeit do(150) [m]	Anbruchmächtigkeit Oberlawine do,R	Relevante Wirkung
31	1,10	20,00	46,50	0,44	Absolut Ungenügend	18,00	Knapp Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
32	1,10	13,00	42,00	0,44	Absolut Ungenügend	19,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
33	1,60	19,00	39,50	0,64	Absolut Ungenügend	20,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
34	2,30	38,00	41,50	0,92	Absolut Ungenügend	19,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
35	1,15	25,00	41,50	0,46	Absolut Ungenügend	19,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
36	1,20	17,70	44,00	0,48	Absolut Ungenügend	19,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
37	1,90	22,50	37,25	0,76	Absolut Ungenügend	21,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
38	2,20	31,00	36,00	0,88	Absolut Ungenügend	22,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
39	1,30	30,00	36,50	0,52	Absolut Ungenügend	22,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
40	1,15	47,50	32,00	0,69	Absolut Ungenügend	26,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
41	1,50	48,50	31,00	0,90	Absolut Ungenügend	27,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
42	0,70	54,00	34,00	0,42	Absolut Ungenügend	24,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
43	0,90	48,00	37,50	0,36	Absolut Ungenügend	21,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
44	1,35	14,00	39,50	0,54	Absolut Ungenügend	20,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
45	1,15	69,00	43,50	0,46	Absolut Ungenügend	19,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
46	0,70	18,00	47,50	0,28	Absolut Ungenügend	17,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
47	0,70	23,00	51,00	0,28	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
48	0,75	33,00	47,00	0,30	Absolut Ungenügend	17,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
49	1,60	40,00	41,00	0,64	Absolut Ungenügend	19,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
50	1,00	17,50	40,00	0,40	Absolut Ungenügend	20,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
51	1,10	16,50	32,00	0,66	Absolut Ungenügend	26,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
52	0,90	17,50	46,50	0,36	Absolut Ungenügend	18,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
53	1,10	14,00	35,50	0,44	Absolut Ungenügend	22,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
54	0,90	28,20	45,00	0,36	Absolut Ungenügend	18,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
55	0,75	27,00	51,50	0,30	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
56	1,10	18,40	46,50	0,44	Absolut Ungenügend	18,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
57	1,10	16,60	44,00	0,44	Absolut Ungenügend	18,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
58	1,00	46,20	46,50	0,40	Absolut Ungenügend	18,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
59	1,05	17,20	44,50	0,42	Absolut Ungenügend	18,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
60	1,15	60,00	42,00	0,46	Absolut Ungenügend	19,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein

Terrassen Nr.	Werkshöhe h _k [m]	SD - L _{eff} [m]	Neigung gemittelt [°]	Effektive Werkshöhe h _{keff} [m]	Beurteilung Werkshöhe	Abstände gemäß ONR 24806 [m]	Beurteilung Werksabstand L _{eff}	Wirkungsklasse (1-5)	Anbruchmächtigkeit d ₀₍₃₀₎ [m]	Anbruchmächtigkeit d ₀₍₁₅₀₎ [m]	Anbruchmächtigkeit Oberlawine d _{0,R}	Relevante Wirkung
61	1,10	60,00	45,00	0,44	Absolut Ungenügend	18,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
62	1,20	35,00	46,50	0,48	Absolut Ungenügend	18,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
63	1,10	55,00	49,00	0,44	Absolut Ungenügend	17,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
64	1,00	75,00	49,50	0,40	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
65	1,25	42,00	36,00	0,50	Absolut Ungenügend	22,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
66	1,20	43,00	38,00	0,48	Absolut Ungenügend	21,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
67	0,95	44,00	41,50	0,38	Absolut Ungenügend	19,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
68	1,10	40,00	35,50	0,44	Absolut Ungenügend	22,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
69	1,35	23,50	36,00	0,54	Absolut Ungenügend	22,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
70	1,10	27,00	36,00	0,44	Absolut Ungenügend	22,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
71	1,05	17,00	34,00	0,63	Absolut Ungenügend	24,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
72	1,00	12,50	35,00	0,60	Absolut Ungenügend	23,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
73	0,80	19,00	38,00	0,32	Absolut Ungenügend	21,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
74	0,95	24,50	36,50	0,38	Absolut Ungenügend	22,00	Knapp Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
75	1,10	30,00	37,00	0,44	Absolut Ungenügend	22,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
76	1,20	17,00	42,50	0,48	Absolut Ungenügend	19,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
77	0,90	45,00	41,50	0,36	Absolut Ungenügend	19,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
78	0,70	24,20	44,00	0,28	Absolut Ungenügend	18,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
79	1,05	59,00	46,50	0,42	Absolut Ungenügend	18,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
80	0,95	12,10	37,00	0,38	Absolut Ungenügend	22,00	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
81	1,00	12,20	35,00	0,60	Absolut Ungenügend	23,50	Genügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
82	0,50	29,60	51,50	0,20	Absolut Ungenügend	17,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
83	0,90	27,00	41,50	0,36	Absolut Ungenügend	19,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
84	0,90	42,00	45,50	0,36	Absolut Ungenügend	18,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
85	0,90	70,00	39,00	0,36	Absolut Ungenügend	20,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
86	1,40	37,90	42,00	0,56	Absolut Ungenügend	19,50	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein
87	1,20	134,00	39,50	0,48	Absolut Ungenügend	20,00	Ungenügend	5	0,97	1,18	1,18	Nein

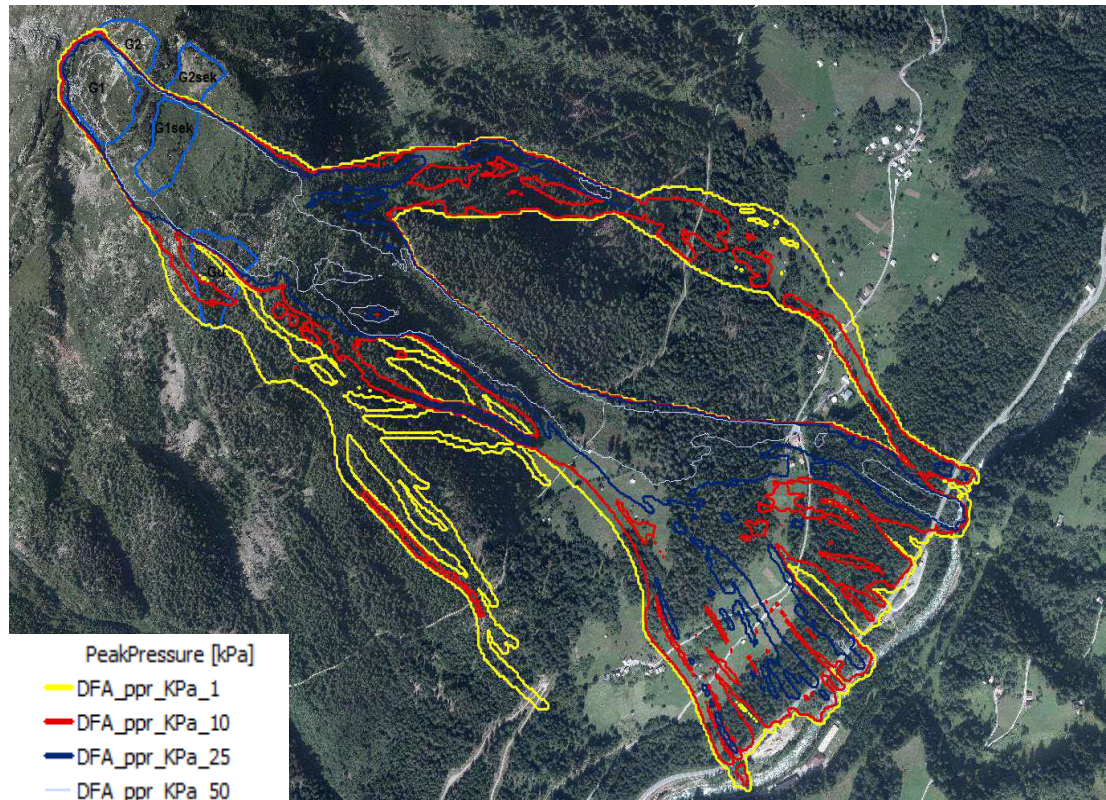
C: Waldbestand nach dem Lawinenereignis 1951



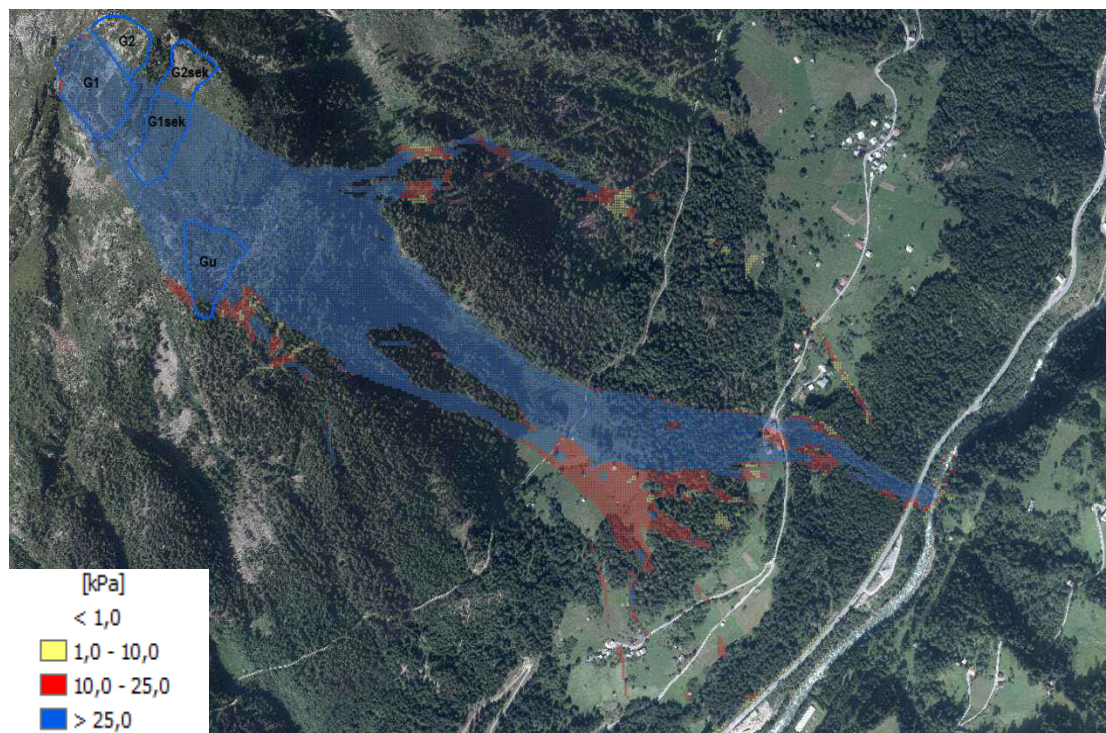
D: *Waldbestand im Jahr 2016*



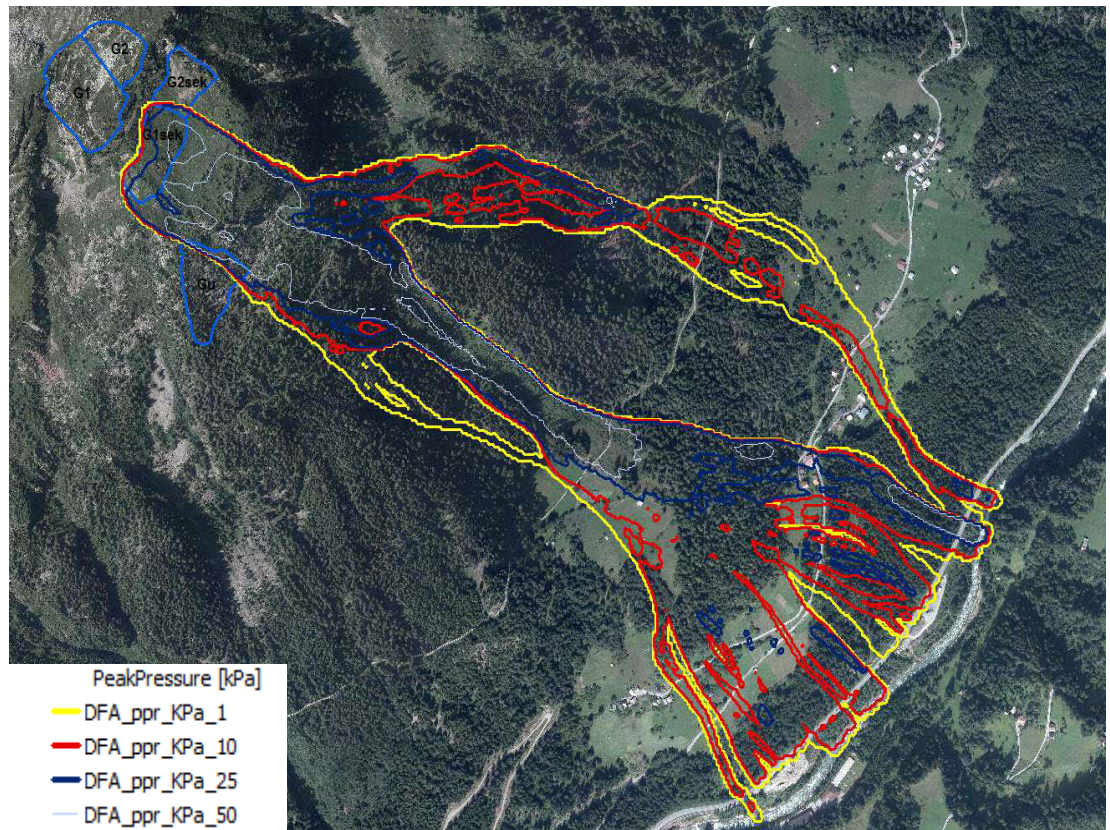
E: Simulationsergebnisse



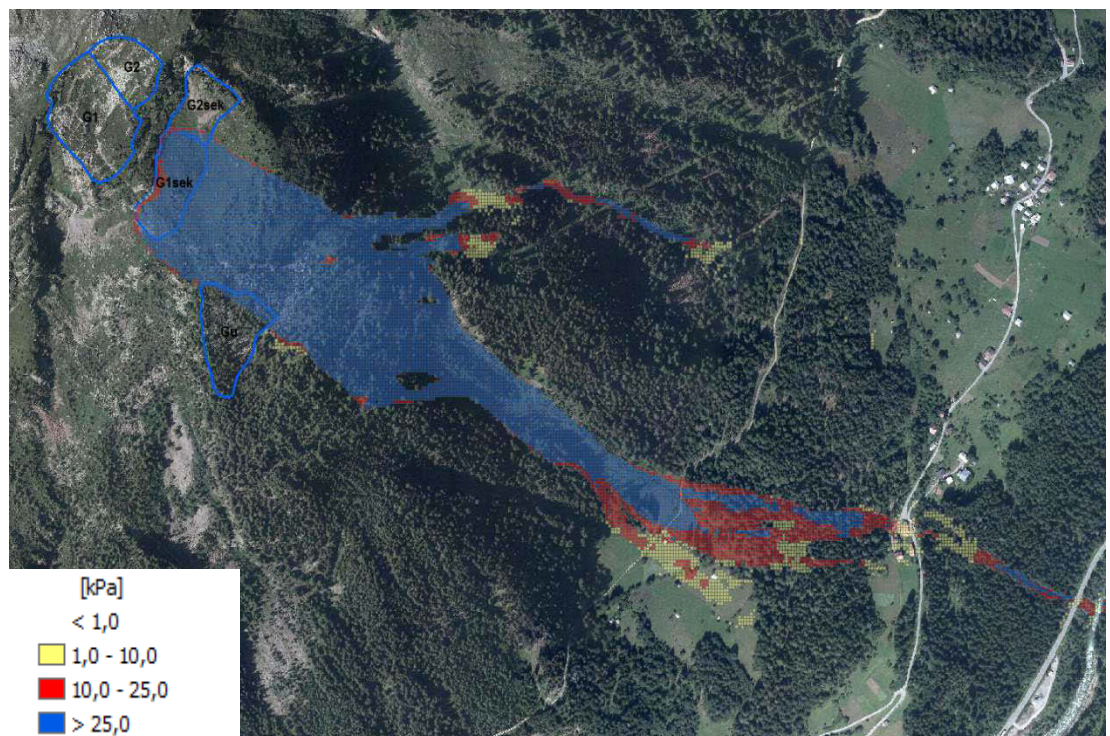
SamosAT: Anbruch G1, mit Entrainment, ohne Widerstandsgebiet, Maximaldruck



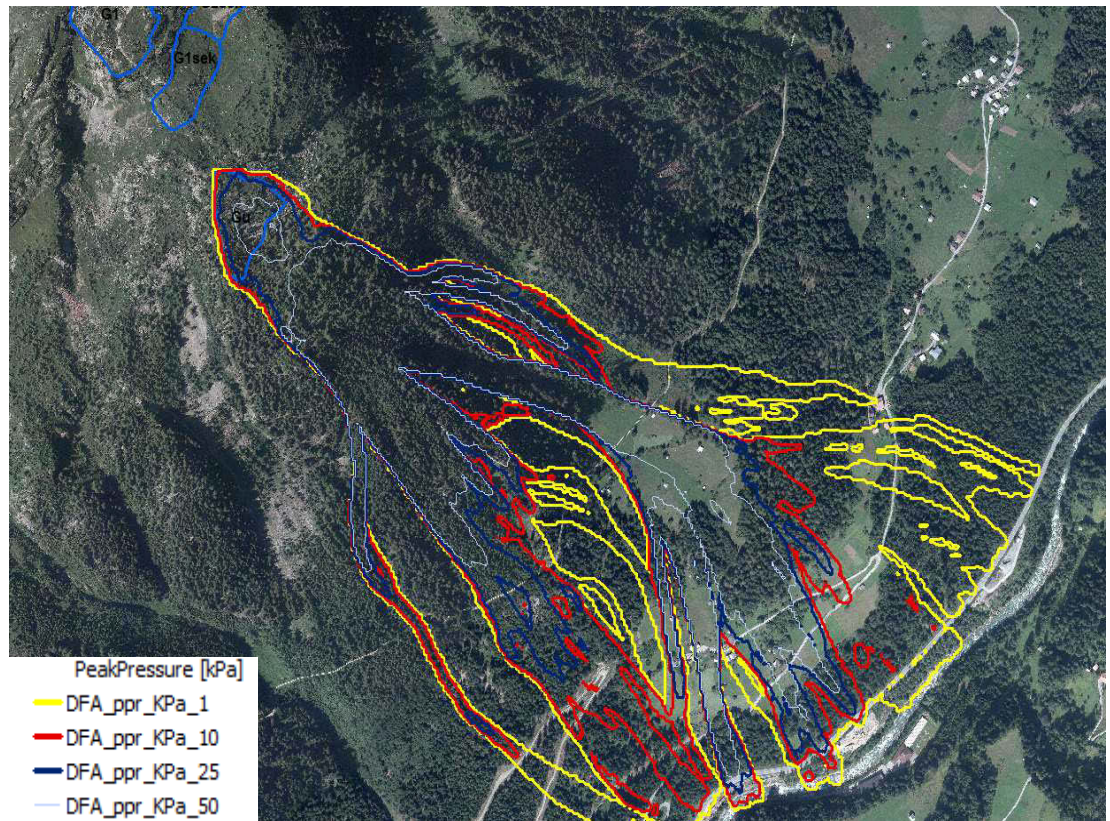
RAMMS: Anbruch G1, ohne Entrainment, ohne Widerstandsgebiet, Maximaldruck



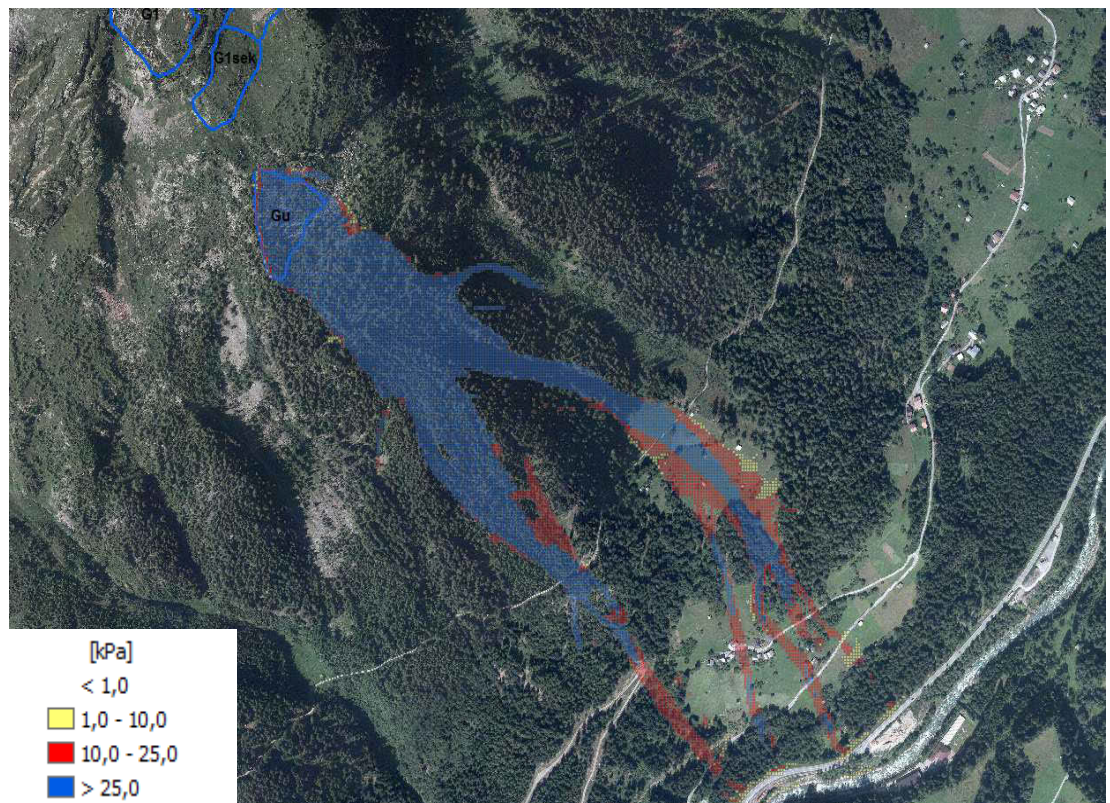
SamosAT: Anbruch G1_{Sek}, mit Entrainment, ohne Widerstandsgebiet, Maximaldruck



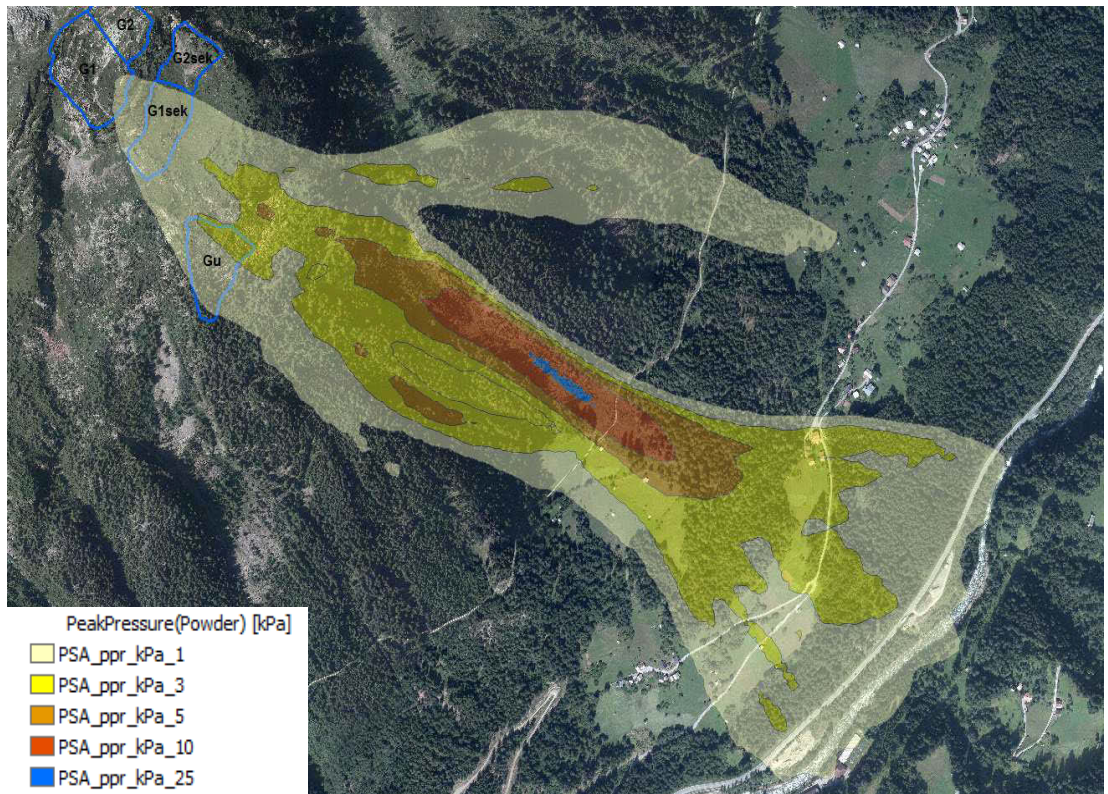
RAMMS: Anbruch G1Sek, ohne Entrainment, ohne Widerstandsgebiet, Maximaldruck



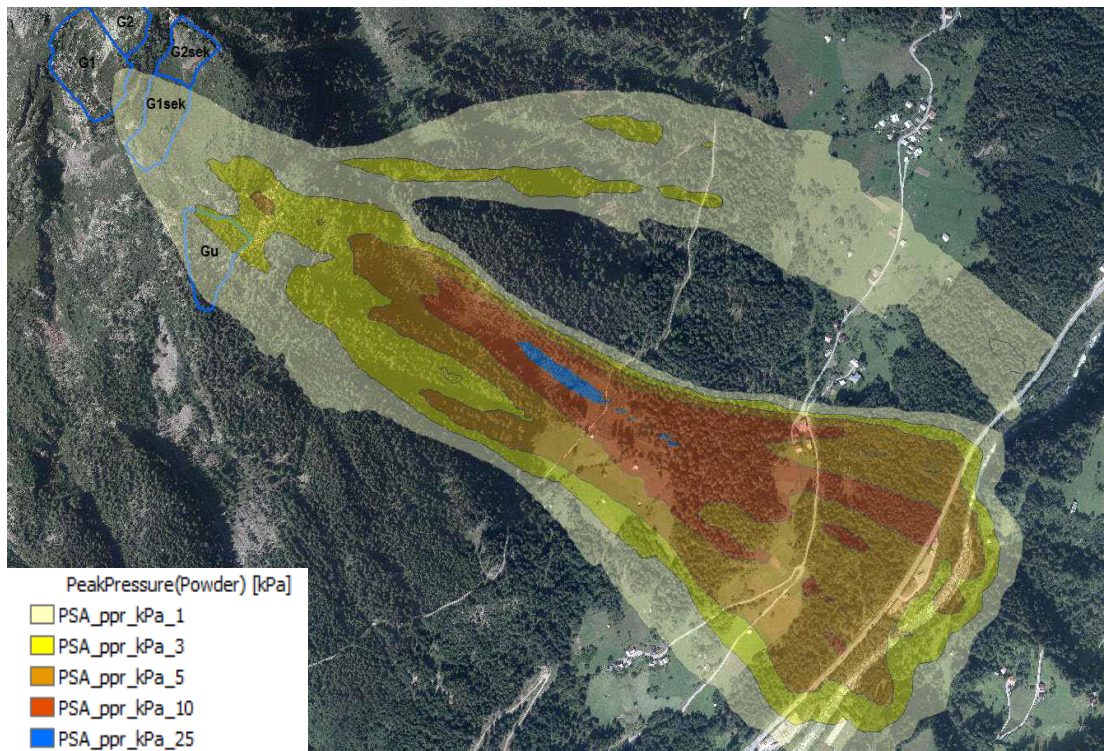
SamosAT: Anbruch Gu, mit Entrainment, ohne Widerstandsgebiet, Maximaldruck



RAMMS: Anbruch Gu, ohne Entrainment, ohne Widerstandsgebiet, Maximaldruck



SamosAT Staublawinensimulation: Anbruch G1 und G1Sek, mit Entrainment, mit Widerstandsgebiet, Maximaler Staubdruck



SamosAT Staublawinensimulation: Anbruch G1 und G1 Sek, ohne Entrainment, ohne Widerstandsgebiet, Maximaler Staubdruck

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Definition der verschiedenen Werkstypen (Margreth & Blum, 2011)	3
Abbildung 2: Links: Arbeiter bei der Errichtung einer Steinterrasse; Rechts: Kulturzaun (WLV, 1963)	7
Abbildung 3: Karte zur Lage des Projektgebietes (Tiris, 2016).....	10
Abbildung 4: Klimadiagramm nach Walter/Lieth für den Zeitraum 1980 bis 2000 (Tirol_Atlas, 2016).....	11
Abbildung 5: Links: Definition der Höhenbezeichnungen (Margreth & Blum, 2011); Rechts: Messung der Werkhöhe H_K vor Ort	19
Abbildung 6: Hangparallele Werkabstände nach fixen Höhendifferenzen gemäß derzeitig gültiger Richtlinie (ONR_24806, 2011).....	22
Abbildung 7: Übersichtskarte der Einzugsgebiete und Terrassenanordnung im Bereich der Schwager Gonde (WLKGIS, 2016).....	35
Abbildung 8: Übersichtskarte mit der Lage des oberen und unteren Abweisdammes oberhalb der Glittsteiner Wiesen (WLKGIS, 2016)	36
Abbildung 9: Foto der Hangrutschung oberhalb der zerstörten Terrasse Nummer 5 mit darüber gelegenem Steinschlagherd.....	39
Abbildung 10: Häufigkeit der erhobenen Schadensarten an Steinterrassen.....	40
Abbildung 11: Erhaltungszustand von Steinterrassen gemäß ONR 24807 ..	40
Abbildung 12: Häufigkeit der erhobenen Schadensarten an Materialterrassen	41
Abbildung 13: Erhaltungszustand von Materialterrassen gemäß ONR 24807.....	42
Abbildung 14: Gegenüberstellung der Erhaltungszustände von Stein- und Materialterrassen gemäß ONR 24807	43
Abbildung 15: Graphische Darstellung der Erhaltungszustände der Terrassen gemäß ONR 24807 aus dem Bauwerkskataster der WLV (WLKGIS, 2016)	43
Abbildung 16: Starke Bewaldung der lawinenabgewandten Seite beim unteren Abweisdamm	44
Abbildung 17: Lawinenseitige Ablagerungen von Totholz und Schäden am Dammkörper beim oberen Abweisdamm.....	45
Abbildung 18: Ergebnis der Berechnung der extremen Schneehöhe für das Verbauungsgebiet mittels Excel-Anwendung nach Leichtfried (2010) ...	49
Abbildung 19: Beurteilung der effektiven Werkhöhen gemäß der Einteilung nach dem Praxisleitfaden von Margreth & Blum (2011).....	50
Abbildung 20: Beurteilung der effektiven Werksabstände gemäß der Einteilung nach dem Praxisleitfaden von Margreth & Blum (2011).....	51

Abbildung 21: Steinablagerungen auf der Terrasse Nummer vier	53
Abbildung 22: Bewegung der östlichen Ecke der Terrasse 5 aufgrund einer Hangrutschung	54
Abbildung 23: Ausschnitt aus dem erhobenen Längsprofil im Höhenbereich von 2.100 m – 2.220 m mit entsprechenden Baumartenanteilen, gemessener mittlerer Baumhöhe, mittlerem Höhenzuwachs und mittlerem Stockdurchmesser der jeweiligen Abschnitte.....	58
Abbildung 24: Veränderung der Baumartenzusammensetzung und Stammzahl mit zunehmender Seehöhe.....	58
Abbildung 25: Veränderung der mittleren Stockdurchmesser und Baumhöhen je nach Seehöhe	59
Abbildung 26: Orthofoto aus dem Jahr 2015 mit Ausscheidung der schutzwirksamen Aufforstung (grün schraffiert), der Verbauungsfläche (rot schraffiert), dem Längsprofil (hellblau) und den sechs Probekreisen (violett).....	63
Abbildung 27: Erschließungsvariante vom bestehenden Forstweg bei der Langestheialm im Westen bis zur Schwager Gonde im Osten	65
Abbildung 28: Darstellung der Wegstrecke aufgeteilt in drei Baukategorien.....	65
Abbildung 29: Übersichtskarte mit Anbruch-, Entrainment- und Widerstandsgebieten, sowie Höhenschichtlinien und den gefährdeten Weilern Glittstein und Seiche.....	71
Abbildung 30: Aktueller GZP für den Weiler Seiche (Westteil) der Glittstein-Lawine mit der Gelben Lawinenzone und grau hinterlegten Gebäuden (WLKGIS, 2016).....	72
Abbildung 31: Aktueller GZP für den Weiler Glittstein der Glittstein-Lawine mit der Roten und Gelben Lawinenzone, sowie grau hinterlegten Gebäuden (WLKGIS, 2016).....	72
Abbildung 32: Anordnung der Stützverbauungen und Aufforstungsbereiche in den jeweiligen Teilanbruchgebieten mit dazugehöriger Hangneigung	77

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Typische Schäden an Steinterrassen mit Beispielen zu entsprechenden Ursachen (Margreth & Blum, 2011).....	14
Tabelle 2: Zuordnung der Zustandsstufen für die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit zum Aufnahmezeitpunkt und den Zeithorizont für das Auftreten von Folgeschäden (ONR_24807, 2010).....	16
Tabelle 3: Beurteilung der effektiven Werkhöhen (Margreth & Blum, 2011)	20
Tabelle 4: Beurteilung der effektiven Werksabstände (Margreth & Blum, 2011)	21
Tabelle 5: Bestimmung der Wirkungsklasse (WK) von Mauern und der Anbruchmächtigkeit von Oberlawinen $d_{0,R}$ in Funktion der Werkhöhe, des Werksabstandes und der Anbruchmächtigkeit im Ausgangszustand d_0 (Margreth & Blum, 2011)	23
Tabelle 6: Allgemeine Informationen zu den für die Extremwertstatistik herangezogenen Messstationen.....	25
Tabelle 7: Mögliche Maßnahmen, um beschädigte Steinmauern und Mauerterrassen wieder in Stand zu setzen (Margreth & Blum, 2011).....	30
Tabelle 8: Mögliche Ergänzungs- bzw. Ersatzmaßnahmen (Margreth & Blum, 2011; Rudolf-Miklau & Sauermoser, 2011).....	31
Tabelle 9: Auszüge aus der Lawinenchronik (WLV, 2001)	37
Tabelle 10: Extreme Schneehöhen für die Moosbach-Lawine von 1986 (WLV, 1986).....	48
Tabelle 11: Bestimmung der Anbruchmächtigkeit einer Oberlawine ohne Verbauung (Schellander, 2004).....	52
Tabelle 12: Ergebnisse der Extremwertstatistischen Auswertung mittels EVA+ Tool inklusive Höhengradienten für die Stationen (FLIRI und HD) in See im Paznauntal.....	55
Tabelle 13: Zuordnung der Terrassen zu einer Maximalschneehöhe einer bestimmten Jährlichkeit für die Messreihen FLIRI und HD	56
Tabelle 14: Übersicht der drei eingeteilten Bestandestypen mit entsprechender Höhenlage und Fotos vor Ort.....	62
Tabelle 15: Kostenübersicht für die jeweiligen Abschnitte des Aufschließungsweges.....	66
Tabelle 16: Auflistung der erforderlichen Sanierungsmaßnahmen an den einzelnen 25 Steinterrassen	68
Tabelle 17: Kostenaufstellung für die Sanierung der 25 Steinterrassen	69
Tabelle 18: Anbruchmächtigkeiten der Glittstein-Lawine als Ausgangswerte für die Lawinensimulation.....	73

Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung der effektiven Werkhöhe bei einer Hangneigung unter 35 Grad (Margreth & Blum, 2011)	19
Formel 2: Berechnung der effektiven Werkhöhe bei einer Hangneigung über 35 Grad (Margreth & Blum, 2011)	19
Formel 3: Berechnung der Anbruchmächtigkeit ohne Verbauung entsprechend der Hangneigung mittels Neigungsfaktor (Schellander, 2004)	23
Formel 4: Berechnung des neigungskorrigierten Radius für den fixen Probekreis (Sterba, 2011).....	27
Formel 5: Formel zur Berechnung des Blow-up-Faktors (Sterba, 2011).....	28

Literaturverzeichnis

- Aulitzky, H., Fischer, A., Forstner, A., Hanausek, E., Hoffmann, F., Kettl, W., Konrad, A. (1984). *100 Jahre Wildbachverbauung in Österreich*. Universitätsdruckerei Klagenfurt: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- BFI. (2000). *Gedenkbuch 1951 bis 2000*. 6500 Landeck: Bezirksforstinspektion Landeck.
- BMLFUW. (2014). Der Gefahrenzonenplan des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft: Abteilung IV 5, Wildbach- und Lawinenverbauung.
- Frehner, M., Wasser, B. & Schwitter, R. (2005). *NaiS - Nachhaltigkeit und Erfolgskontrolle im Schutzwald*. CH-3003 Bern: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landwirtschaft (BUWAL).
- Kilian, W., Müller, F., & Starlinger, F. (1994). *Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs: eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten* (Vol. 82). Wien: Forstl. Bundesversuchsanst., Waldforschungszentrum.
- Leys, E. (1968). *Bauerfahrungen in der Lawinenvorbeugung Kappl: Lawinenterrassen, Lawinenablenkdämme und Hochlagenaufforstung* (Vol. 1; Jahrgang 47): WLV Journal.
- Margreth, S., & Blum, M. (2011). Umgang mit Lawinenverbauungen aus Steinmauern und Mauerterrassen Anleitung für die Praxis. *Umwelt-Wissen 1109*.
- Margreth, S., Burkard, A., & Buri, H. (2008). *Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung*: Schweizerische Eidgenossenschaft.
- ONR_24806. (2011). *Permanenter technischer Lawinenschutz - Bemessung und konstruktive Ausgestaltung*. Heinestraße 38, 1020 Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON).

- ONR_24807. (2010). *Permanenter technischer Lawinenschutz - Überwachung und Instandhaltung*. Heinestraße 38, 1020 Wien: Österreichisches Normungsinstitut (ON).
- Perzl, F. (2005). *Beurteilung der Lawinen-Schutzwirkung des Waldes*. Rennweg 1, 6020 Innsbruck.
- Rudolf-Miklau, F., & Sauermoser, S. (2011). *Handbuch technischer Lawinenschutz*. Berlin: Ernst.
- Rödel, B. (2016). Die Schneeräumung auf der Arlbergbahn (Teil 1)Die Schneeräumung auf der Arlbergbahn (Teil 1). Retrieved from <http://www.arlbergbahn.at/schneeraeumung-01.html>
- SAEKI, M., & MATSUOKA, H. (1969). *Snow-Buried Young Forest Trees Growing on Steep Slopes* (Vol. 31). Journal of Japanese Society of Snow and Ice.
- Schellander, H. (2004). *Die Bestimmung von mittleren Anbruchhöhen für Lawinen in Tirol*. ZAMG.
- Schier, P. (1974). *Die Pilzschäden in der Hochlagenaufforstung Schwager Gonde* (Vol. Heft 2, Jahrgang 48): WLV Journal.
- SELVA. (1972). *Lawinenschutz in der Schweiz*. 7000 Chur, Bahnhofstraße 8: Bündnerischer Forstverein und SELVA.
- Sterba, H. (2011). *Studienunterlagen Forstliche Biometrie 1*. Universität für Bodenkultur Wien: Institut für Waldwachstumsforschung.
- Strele, G. (1950). *Grundriß der Wildbach- und Lawinenverbauung* (Vol. 2). Wien: Springer Verlag.
- Tiris. (2016). *tiris - Tiroler Rauminformationssystem* (Amt der Tiroler Landesregierung).
- Tirol_Atlas. (2016). *Klimadiagramme Land Tirol - Periode 1980 bis 2000*: Hydrographischer Dienst.
- WLKGIS. (2016). *Wildbach und Lawinen Kataster: Managementsystem zum Schutz vor Naturgefahren*. Stubenring 1, 1010 Wien: Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung.

- WLV. (1958). *Lawinenvorbeugung Kappl im Paznauntal, Detailprojekt für das Gebiet V, Lawinen bei Glittstein*. Wildbach- und Lawinenverbauung, Sektion Innsbruck.
- WLV. (1963). *Kollaudierungsoperat 1963 für die Lawinenvorbeugung Kappl (Lawinen bei Glittstein); Baujahre 1954-1961*: Wildbach- und Lawinenverbauung Sektion Tirol; Gebietsbauleitung Imst.
- WLV. (1986). *Technischer Bericht zum Verbauungsprojekt der Moosbachlawine*: Gebietsbauleitung Oberes Inntal.
- WLV. (2001). *Gefahrenzonenplan der Gemeinde Kappl*: Gebietsbauleitung Oberes Inntal.
- WLV. (2002). *Technischer Bericht zum Verbauungsprojekt der Flunglawine*. Gebietsbauleitung Oberes Inntal.