



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Bautechnik und Naturgefahren
Institut für Alpine Naturgefahren



Künstliche Auslösung von Schneebrettlawinen

Vergleich der in Österreich verwendeten Methoden

Masterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplomingenieur

an der Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)

Eingereicht von

Stefanie Buchinger Bakk. techn.

Betreuer: Univ. Prof. DI Dr. nat. techn. Johannes HÜBL

Univ. Ass. Mag. Dr. Thomas WIESINGER

Wien, März 2014

Danksagung

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

Ein großer Dank gilt allen Sprengexperten und Mitarbeitern der Bergbahnen, die sich für die Interviews viel Zeit nahmen und sehr gesprächsbereit waren. Ohne diese Hilfsbereitschaft wäre es unmöglich gewesen, die Fragestellung der Arbeit sinnvoll zu beantworten. All jenen, die mich durch das Skigebiet geführt und kostenlose Liftkarten zur Verfügung gestellt haben, möchte ich besonders danken.

Weiters möchte ich mich beim „Fachverband der Seilbahnen Österreichs“ der Wirtschaftskammer Österreich (WKO) bedanken, der mir finanzielle Unterstützung zukommen ließ, um den Aufenthalt in den Skigebieten zur Durchführung der Befragungen zu ermöglichen.

Ein ganz besonderer Dank ergeht an meine Betreuer Univ. Prof. DI Dr. nat. techn. Johannes Hübl und Univ. Ass. Mag. Dr. Thomas Wiesinger, die es mir ermöglicht haben, diese Masterarbeit zu verfassen und mich tatkräftig unterstützt haben. Besonders Dr. Thomas Wiesinger hat mir stets wertvolle Inputs gegeben und mir den Kontakt zu kompetenten Personen, die im Bereich der Künstlichen Lawinenauslösung arbeiten, verschafft. Er war auch immer sehr hilfsbereit und interessiert am Fortschritt meiner Arbeit. Durch ihn gelang es mir die nötige Motivation zur Vollendung dieser aufzubringen.

Der größte Dank gebührt jedoch meiner Familie, die mich in der gesamten Zeit meines Studiums unterstützt und die notwendige Geduld aufgebracht hat. Letztlich wurden mir erst dadurch das Verfassen dieser Arbeit und der Abschluss des Studiums ermöglicht.

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich, Stefanie Buchinger, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe, alle Ausführungen, die anderen Schriften wörtlich oder sinngemäß entnommen wurden, kenntlich gemacht sind und die Arbeit in gleicher oder ähnlicher Fassung bisher noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegt wurde.

Wien, am 18. 03. 2014

Zusammenfassung

Zur Sicherung von Skigebieten, Verkehrswegen und teilweise auch Siedlungsgebieten vor Lawinengefahren werden in den letzten Jahren vermehrt temporäre Schutzmaßnahmen verwendet. Vor allem im Bereich der Künstlichen Lawinenauslösung wurden zahlreiche neue Methoden entwickelt, die zu einer schnelleren und effektiveren Sicherung eines Gebiets führen sollen. Aufgrund der Änderung des Lawinenerlasses ist es in Österreich seit 2011 gestattet, permanente und temporäre Schutzmaßnahmen in geeigneter Weise zu kombinieren.

Fix installierte Methoden, die eine ferngesteuerte Auslösung ermöglichen, gewinnen aufgrund der Zeitersparnis immer mehr an Bedeutung. Sie sind jedoch mit höheren Kosten gegenüber herkömmlichen flexiblen Methoden verbunden und es bedarf der richtigen Standortwahl, um die gewünschte Wirkung zu erreichen.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden daher alle in Österreich eingesetzten Methoden zur Künstlichen Lawinenauslösung einem Vergleich unterzogen. Dazu wurden in 12 Skigebieten Befragungen von Sprengexperten durchgeführt, die Aufschluss über Vor- und Nachteile der dort eingesetzten Systeme gaben. Zur Auswertung der Befragungen wurden Parameter festgelegt, anhand deren eine Bewertung der Methoden vorgenommen wurde.

Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass sich die von den Herstellern angegebenen Vorteile der fix installierten Systeme (Wyssen, Gazex, Inauen-Schätti) grundsätzlich bewahrheiten. Es wird vor allem bestätigt, dass Sprengungen schneller und ohne großen Personalaufwand durchgeführt werden können. Technisch gesehen funktionieren diese ohne größere Probleme, jedoch kann es bei allen Systemen zu kleineren Störungen kommen. Bezüglich der Standortwahl wurde festgestellt, dass diese besonders beachtet werden muss, da sich eine bereits installierte Anlage sehr schwer versetzen lässt.

Flexible Methoden (v.a. Handsprengungen) kommen jedoch immer noch in allen Skigebieten zum Einsatz. Vor allem in großräumigen Gebieten wird die Sprengung mittels Helikopter bevorzugt, die bei geeignetem Wetter rasch und flexibel durchgeführt werden kann. Auf diese Methoden kann daher auch durch die technische Weiterentwicklung der fix installierten Anlagen nicht verzichtet werden.

Abstract

For the protection of ski resorts, roads and also some settlements against avalanches, active preventative measures are used more often in recent years. Especially for the use of artificial release of avalanches, plenty of new methods have been developed, which should lead to a faster and more effective protection of an area. Caused by an amendment of the “Lawinenerlass” in 2011, it is allowed in Austria to combine permanent and active preventative measures conveniently.

Remote-controlled systems on a fixed position gain more and more in importance due to saving of time and safety for the personnel. On the contrary higher expenses are incurred for these methods in comparison to flexible methods and the optimal position is required to reach the desired effects.

In this master thesis all methods of artificial release that are applied in Austria are compared. Therefore experts of artificial release in 12 ski resorts were interviewed personally. These interviews discovered important facts about advantages and disadvantages of methods used in this area. For analysis of the interviews, parameters were defined and with the help of them the evaluation of the methods was conducted.

The results indicate, that advantages declared by the companies of installed systems (Wyssen, Gazex, Inauen-Schätti) mostly proved true. Particularly was confirmed, that releases can be performed faster and without the need of much staff. None of the systems has larger technical difficulties, but small problems can occur in any of them. The position of a fixed system must be selected carefully, after the installation of a system the relocation is complicated.

Flexible methods (esp. hand charges) are still applied in all ski resorts. Particularly in large areas explosives placed by helicopter are preferred. In good weather conditions this method is flexible and conducted in a short time. Although fixed systems have been advanced, flexible systems cannot be omitted.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	10
1.1.	Problemhintergrund.....	10
1.2.	Überblick über die künstliche Lawinenauslösung.....	11
1.3.	Ziele der Arbeit.....	12
1.4.	Aufbau der Arbeit.....	12
2.	Entstehung von Schneebrettlawinen	14
2.1.	Umwandlung von Schnee.....	14
2.1.1.	Mechanische Umwandlung.....	14
2.1.2.	Abbauende Umwandlung.....	15
2.1.3.	Aufbauende Umwandlung.....	16
2.1.4.	Schmelzumwandlung	17
2.2.	Schneedeckenaufbau	17
2.2.1.	Bewegungen der Schneedecke	19
2.2.2.	Schwachschichten	19
2.2.3.	Gebundener Schnee	20
2.3.	Klassifizierung von Lawinen.....	20
2.4.	Charakteristik einer Schneebrettlawine.....	22
2.4.1.	Auslöseprozess	22
2.4.2.	Voraussetzungen für eine Schneebrettlawine	22
2.5.	Nassschneelawinen	23
2.6.	Typische Lawinensituationen	25
2.6.1.	Neuschneesituation.....	25
2.6.2.	Tribschneesituation	26
2.6.3.	Nassschneesituation.....	27
2.6.4.	Altschneesituation.....	27
3.	Möglichkeiten zum Schutz vor Lawinen	28
3.1.	Permanenter Lawinenschutz.....	28
3.1.1.	Technische Maßnahmen	28

3.1.2.	Forstliche Maßnahmen	30
3.1.3.	Raumplanerische Maßnahmen	31
3.2.	Temporärer Lawinenschutz.....	32
3.2.1.	Beurteilung der Lawinengefahr	33
3.2.2.	Temporäre Lawinenschutzmaßnahmen.....	35
3.3.	Lawinenschutzkonzepte aufgrund des Lawinenerlass 2011	36
4.	Theorie der künstlichen Lawinenauslösung	39
4.1.	Ziele und Voraussetzungen	39
4.2.	Wirkung von Sprengungen auf die Schneedecke.....	40
4.2.1.	Wellenfortpflanzung einer Detonation	40
4.2.2.	Wirkungszone einer Sprengung	43
4.3.	Sprengungen von Nassschneelawinen.....	46
5.	Methoden der künstlichen Auslösung	48
5.1.	Gazex (Frankreich).....	48
5.2.	Handwurfladungen.....	50
5.3.	Helikoptersprengung.....	51
5.4.	Inauen-Schätti: Lawinenwächter/-mast (Schweiz).....	52
5.4.1.	Lawinenwächter LW 2700/LW 5400	52
5.4.2.	Lawinenmast LM 2700/LM 5400	54
5.5.	Ski cutting	56
5.6.	Sprengseilbahnen	57
5.7.	Wyssen: Lawinen-Sprengmast und Mini-Sprengmast (Schweiz)	58
5.7.1.	Lawinen-Sprengmast LS12-5	58
5.7.2.	Mini-Sprengmast LS4-5	60
5.8.	Weitere Methoden.....	61
5.8.1.	Gratausleger und Sprengruten	61
5.8.2.	Ladungsabsenkungen aus bemannten Seilbahnen	61
5.8.3.	Sprengschlitten.....	62
5.8.4.	Geschosse, Raketen.....	62
5.8.5.	Daisybell, O'Belx	62
5.8.6.	Lawin Locker	63

6.	Methodik der Anwenderbefragungen	64
6.1.	Empirische Forschung.....	64
6.1.1.	Begriffsdefinition.....	64
6.1.2.	Hypothesen und Forschungsfragen.....	65
6.1.3.	Stichprobe und Grundgesamtheit	65
6.2.	Wissenschaftliche Fragestellung	66
6.2.1.	Zielsetzung der empirischen Untersuchung.....	66
6.2.2.	Formulierung der Forschungsfragen	67
6.3.	Experteninterviews anhand eines Fragebogens	67
6.3.1.	Auswahl der Methodik	67
6.3.2.	Auswahl der Stichprobe	68
6.3.3.	Durchführung der Erhebung.....	69
6.4.	Auswertung der Ergebnisse.....	70
7.	Auswertung der erhobenen Daten	73
7.1.	Allgemeines	73
7.2.	Erfassung der Parameter	76
7.2.1.	Wirkung der Methoden.....	76
7.2.2.	Blindgänger.....	79
7.2.3.	Dauer eines Sprengvorgangs	80
7.2.4.	Variabilität der Sprengpunkte	82
7.2.5.	Technische Probleme	83
7.2.6.	Eignung für Nassschneelawinen.....	84
7.2.7.	Personalbedarf	85
7.2.8.	Wetterabhängigkeit.....	86
7.2.9.	Nachladen der Anlage	87
7.2.10.	Lawinengefahr	87
7.2.11.	Gefahr durch Sprengstoff	88
7.3.	Bewertungsmatrix	89
7.4.	Standortwahl	91
7.5.	Überblick über den Einsatz weiterer Methoden	92

8.	Schlussfolgerungen der Ergebnisse.....	93
8.1.	Bewertungsmatrix	93
8.2.	Vergleich der erstellten Matrix mit Stoffel (2012)	95
8.3.	Standortwahl	97
8.4.	Vor- und Nachteile der standortfesten Methoden in der Praxis	98
8.5.	Verbesserungsmöglichkeiten der Arbeit	99
9.	Literaturverzeichnis.....	100
10.	Tabellenverzeichnis	104
11.	Abbildungsverzeichnis.....	105
	Anhang: Fragebogen	106

1. Einleitung

1.1. Problemhintergrund

„Die Schneebrettlawine stellt die heimtückischste Gefahr für den Skifahrer dar. Es ist nachgewiesen, dass annähernd 95% der Lawinen, in welchen Skifahrer ums Leben kamen, von diesen selbst ausgelöst wurden.“¹ Im 20-jährigen Mittel (Saison 1991/92 bis 2010/11) sind in Österreich 25 Lawinentote pro Saison zu beklagen. Die Schwankungsbreite der einzelnen Jahre ist enorm, so waren es beispielsweise in der Saison 1998/99 50 Tote und in der Saison 2010/11 nur 3 Tote. Es zeigt sich allerdings langfristig betrachtet weder ein positiver noch ein negativer Trend.²

Obwohl in den letzten Jahren und Jahrzehnten im Bereich des Lawinenschutzes viel verbessert wurde, besteht hierbei noch Handlungsbedarf, um den Schutz vor Lawinengefahren zu optimieren. Das generelle Ziel liegt in der Reduktion des Risikos durch geeignete Maßnahmen, sodass ausreichende Sicherheit auf Skipisten oder im Tourengelände, aber auch für Straßen und Siedlungen besteht. Dies kann sowohl durch permanente als auch durch temporäre Maßnahmen erreicht werden, oder auch durch eine sinnvolle Kombination beider.³

In den letzten Jahren wurden die Methoden der temporären Schutzmaßnahmen optimiert und dadurch kam es auch zu einem verstärkten Einsatz dieser: *„Inbesondere verbesserte Kenntnisse der Vorgänge bei der Lawinenbildung, aussagekräftigere, automatische Messungen in den Lawinenanrissgebieten, Modellierung der kritischen Einflussgrößen und computergestützte Entscheidungshilfen sowie Verbesserung bei der künstlichen Lawinenauslösung ermöglichen eine Senkung der Sperrzeiten bei gleichzeitiger Verkleinerung des Restrisikos für einen Lawinenunfall.“⁴*

¹ Land Tirol (2000), S. 90f

² Vgl. Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Lawinenwarndienste (2011), S.28

³ Vgl. Gubler, u.a. (2011), S.1f

⁴ Gubler, u.a. (2011), S. 1

1.2. Überblick über die Künstliche Lawinenauslösung

Künstliche Lawinenauslösung stellt daher eine besonders innovative Möglichkeit zur Risikoreduktion dar. Durch die Auslösung der Lawine zum gewünschten Zeitpunkt ergeben sich zahlreiche Vorteile, die durch andere Methoden nicht erreicht werden könnten. So können nicht nur, wie oben schon genannt, Sperrzeiten in Skigebieten verkürzt werden, sondern etwa auch Tests zur Schneedeckenstabilität durchgeführt und dadurch wertvolle Erkenntnisse für die Lawinenkommission gewonnen werden.⁵

Zum Einsatz kommen unterschiedliche Methoden, die alle das Ziel verfolgen, die Lawinensicherheit in einem bestimmten Gebiet für eine begrenzte Zeit zu erhöhen. Die Auslösung kann mechanisch erfolgen, indem die Schneemassen aus dem potentiell gefährdeten Gebiet hinausbefördert oder verteilt werden. Dies kann durch Abtreten mit den Skiern oder durch Pistengeräte geschehen.⁶

Am häufigsten werden jedoch Methoden verwendet, die mittels Sprengung die Lawine auslösen. Durch die Sprengung wird eine Druckwelle erzeugt, die Spannungen in der Schneedecke hervorruft. Es kommt bei einer erfolgreichen Sprengung zu einem Bruch in der Schneedecke, der sich ausbreitet und ein Schneebrett auslöst. Solche Sprengladungen können per Hand oder aus dem Helikopter geworfen werden. Weiters werden Sprengseilbahnen benutzt, um die Ladungen zum Sprengpunkt zu befördern. Im Zuge der letzten Jahre wurden die Varianten optimiert, weshalb aufgrund des geringeren Zeitaufwands und der einfacheren Handhabung vermehrt ortsfeste Systeme eingesetzt werden, die per Funk ausgelöst werden können. An Lawinenmasten der Firmen Wyssen und Inauen-Schätti werden die Ladungen automatisch abgesenkt und gezündet, beim Lawinenwächter der Firma Inauen-Schätti werden diese zu einem bestimmten Sprengpunkt geschossen und detonieren dort. Gazex-Anlagen der Firma TAS arbeiten mit Gasgemischen, die in einem Zündrohr zur Explosion gebracht werden.⁷

Solche fix installierten Anlagen werden weltweit zur Sicherung von Skipisten und Verkehrswegen eingesetzt. Aufgrund der guten Funktionstüchtigkeit aller Systeme kommen

⁵ Vgl. Land Tirol (2000), S. 123

⁶ Vgl. Gubler (2011), S. 3; Wikipedia (o.J. a)

⁷ Vgl. Gubler (2011), S. 15f und S.23ff

diese vermehrt zum Einsatz. Mit Stand von Ende 2012 sind rund 2150 Gazex-Zündrohre, 310 Anlagen von Inauen-Schätti und 240 Wyssen-Sprengmasten im Einsatz.⁸

1.3. Ziele der Arbeit

Im Zuge dieser Arbeit soll primär ein geeigneter Vergleich der verschiedenen Methoden der Künstlichen Lawinenauslösung geschaffen werden. Es wird auf die Vorteile gewisser Systeme sowie auf die Probleme bei der Handhabung eingegangen.

Dazu werden zahlreiche Anwender der verschiedenen Systeme in Österreich befragt, um eine Aussage darüber treffen zu können, welche Methoden für welche Bereiche am besten geeignet sind und wo es noch Verbesserungsbedarf gibt. Im besten Fall können danach Vorschläge für den Einsatz eines bestimmten Systems gegeben werden.

Der daraus resultierende Nutzen ist vielseitig. Einerseits stellt er für den Skigebietsbetreiber eine Hilfestellung dar, um aus einer Vielzahl an Varianten die für ihn beste herauszufinden. Bei der Planung eines Lawinenschutzkonzepts in ihrem Skigebiet können Erfahrungen aus anderen Gebieten eine wesentliche Rolle spielen.

Andererseits können aber auch die Hersteller einen Nutzen daraus ziehen und Verbesserungsvorschläge umsetzen. Bei einer Vielzahl von Anwendern können Probleme entstehen, die von einzelnen noch nicht erkannt wurden.

1.4. Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit gliedert sich in Kapitel, in denen die Theorie zur Künstlichen Lawinenauslösung erklärt wird, sowie in solche, in denen der empirische Teil beschrieben und die Ergebnisse der Befragungen dargestellt werden.

In der Einleitung werden der Problemhintergrund beschrieben und die Ziele der Arbeit erläutert.

⁸ Vgl. Stoffel (2012), S. 3

Kapitel 2 befasst sich mit der Entstehung von Schneebrettlawinen. Neben den grundlegenden Bedingungen zur Schneelumwandlung wird gesondert auf die Bildung von Schneebrettlawinen und auch Nassschneelawinen eingegangen. Weiters werden typische Lawinensituationen beschrieben.

Im 3. Kapitel werden die Möglichkeiten zum Schutz vor Lawinen aufgezeigt. Es handelt sich um permanente und temporäre Maßnahmen, sowie um die sinnvolle Kombination beider Varianten. Auf der Grundlage des Lawinenerlasses 2011⁹ werden Lawinenschutzkonzepte erstellt.

Ab dem 4. Kapitel behandelt die Arbeit explizit die Künstliche Lawinenauslösung. Vorerst werden die Vorgänge bei einer Auslösung theoretisch beschrieben und die Faktoren, die zu einer erfolgreichen Sprengung notwendig sind, analysiert.

In Kapitel 5 werden die Methoden zur Künstlichen Lawinenauslösung dann im Einzelnen beschrieben, wobei das Hauptaugenmerk auf jene, die in Österreich verwendet werden, gelegt wird.

Im 6. Kapitel wird die Vorgehensweise des empirischen Teils der Arbeit beschrieben. Es wird erklärt, wie die Auswahl der Praktiker erfolgt und wie die Anwenderbefragungen durchgeführt werden. Außerdem wird eine Methode zur Auswertung und Darstellung der Ergebnisse festgelegt.

Das 7. Kapitel beinhaltet die Beantwortung der eigentlichen Fragestellung. Es werden die Ergebnisse der Befragungen ausgewertet und dargestellt. Durch eine Bewertungsmatrix erhält man den Vergleich der verwendeten Methoden zur Künstlichen Lawinenauslösung.

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse, die im vorigen Kapitel dargestellt wurden, näher erläutert und diskutiert. Außerdem werden Verbesserungsvorschläge und Fehler der Arbeit beschrieben.

⁹ Vgl. BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2011)

2. Entstehung von Schneebrettlawinen

2.1. Umwandlung von Schnee

Generell unterscheidet man zwischen Neuschnee und Altschnee. Von Neuschnee spricht man, wenn „die ursprüngliche Form der Schneekristalle noch erkennbar ist, wie lange die Schneefallperiode auch zurückliegt“¹⁰. Alle anderen Schneearten, bei denen die Kristallform seit der Ablagerung umgewandelt wurde, nennt man Altschnee. Beim Wetter- und Lawinenwarndienst ist Neuschnee der in den letzten 24 Stunden gefallene Schnee, unabhängig davon, wann eine Umwandlung stattfindet.¹¹

Die gefallenen Schneekristalle sind ständig Umwandlungen, sogenannten Metamorphosen, unterzogen, die teils schon direkt nach der Ablagerung beginnen. Abhängig sind diese Metamorphosen vor allem von den Temperaturverhältnissen. Eine wichtige Rolle spielt der Temperaturgradient. Dieser beschreibt die Temperaturdifferenz pro Höhe in der Schneedecke.¹²

Prinzipiell unterscheidet man folgende Umwandlungsarten:

- Mechanische Umwandlung
- Abbauende Umwandlung
- Aufbauende Umwandlung
- Schmelzumwandlung

2.1.1. Mechanische Umwandlung

Mechanische Umwandlung bedeutet eine Formänderung der Neuschneekristalle. Dies geschieht durch Wind oder durch Druck in der Schneedecke. Schon während des Schneefalls kollidieren Kristalle miteinander und verlieren so ihre Spitzen oder Verästelungen. Durch Druck, der auf die Schneedecke ausgeübt wird, findet eine Zertrümmerung der Teilchen

¹⁰ Ernest (1981), S. 42

¹¹ Vgl. Ernest (1981), S. 42

¹² Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 24

statt. Es entstehen ähnliche Formen wie bei der abbauenden Umwandlung. Durch Wind weiterverfrachteten Schnee nennt man Tribschnee. Er ist meist stark verfestigt und spröde, wodurch Spannungen in der Schneedecke entstehen können. Tribschnee erhöht daher die Disposition für Schneebrettlawinen.¹³

2.1.2. Abbauende Umwandlung

Dieser Vorgang setzt sofort nach der Ablagerung des Neuschnees ein. Die Neuschneekristalle sind bestrebt, ihre Oberfläche zu verkleinern und wandeln sich von strukturierten hexagonalen Formen immer mehr zu Kugelformen um. Es wird ein thermodynamisches Gleichgewicht hergestellt. Als Zwischenprodukt entsteht filziger Schnee, der schon Teile der Verästelung verloren hat, und als Endprodukt entstehen kleine runde Körner.¹⁴

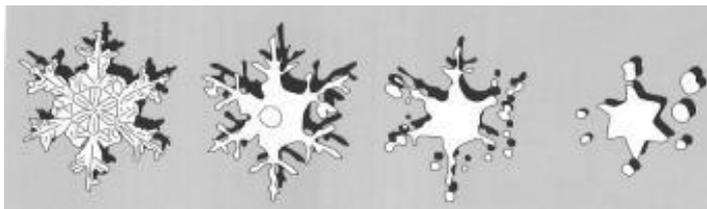


Abb. 2-1: Ablauf der abbauenden Umwandlung (v.l.n.r.: Neuschneekristall über filzigem Schnee zu runden Körnern) (Quelle: Lawinenwarndienst Tirol (2009 a))

Die Geschwindigkeit der Umwandlung ist temperaturabhängig, bei wärmeren Temperaturen wird der Vorgang beschleunigt. Aufgrund der Kugelform verringert sich das Volumen der Teilchen und führt zu einer Setzung der Schneedecke. 1 Meter Neuschnee setzt sich in 24 Stunden rund 30 Zentimeter. Außerdem erhöht sich die Bindung zwischen den einzelnen Schneekörnern und die Festigkeit steigt. Grundsätzlich bewirkt die abbauende Umwandlung, dass die Lawinengefahr aufgrund der Stabilisierung der Schneedecke verringert wird.¹⁵

¹³ Vgl. Munter (1992), S. 43

¹⁴ Vgl. Natursport Uni Freiburg (o.J.), S.3

¹⁵ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 24f; Munter (1992), S. 43

2.1.3. Aufbauende Umwandlung

Die Endprodukte der abbauenden Umwandlung sind allerdings nicht stabil und können bei entsprechenden Temperaturverhältnissen durch aufbauende Umwandlung instabil werden. Abhängig von der Temperatur eines Schneekorns wird Eis zu Wasserdampf umgewandelt, der sich im umliegenden Porenraum sammelt. Je wärmer ein Teilchen ist, desto mehr Wasserdampf befindet sich in dessen Umgebung. Herrschen Temperaturunterschiede in der Schneedecke und daher auch ein Dampfdruckgradient, muss dieser von Natur aus ausgeglichen werden. Deshalb wird Wasserdampf von wärmeren zu kälteren Teilchen transportiert und lagert sich an diesen an. Es bilden sich kantige Formen.¹⁶

Aufbauende Umwandlung findet ab einem Temperaturgradienten von 15°C pro Meter statt. Häufig ist das der Fall, wenn sich die Schneeoberfläche, beispielsweise in der Nacht, stark abkühlt, die Bodentemperatur aber konstant bleibt. Bei geringen Schneehöhen bewirkt der Temperaturunterschied einen noch größeren Gradienten, wodurch die Umwandlung schneller und stärker erfolgt.¹⁷

Das Endprodukt der aufbauenden Umwandlung sind becherartige Kristalle, die sehr große Durchmesser von mehreren Millimetern erreichen können. Sie befinden sich meist in der untersten Schicht und werden daher auch als Tiefenreif oder Schwimmschnee bezeichnet. Diese Schichten stellen typische Schwachschichten in der Schneedecke dar, da wenig Bindung zwischen den einzelnen Kristallen herrscht.¹⁸

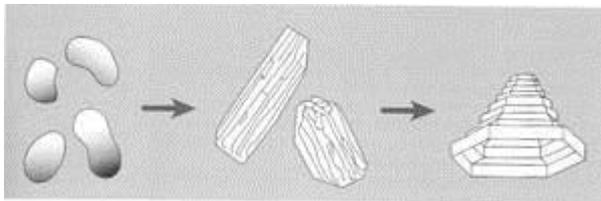


Abb. 2-2: Ablauf der aufbauenden Umwandlung (v.l.n.r.: kleine runde Körner über kantige Formen zu Becherkristallen) (Quelle: Lawinwarndienst Tirol (2009 a))

¹⁶ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 25f

¹⁷ Vgl. Heiser (2011), S. 14f

¹⁸ Vgl. Ernest (1981), S. 62

2.1.4. Schmelzumwandlung

Bei Temperaturen über dem Schmelzpunkt beginnt Schnee zu schmelzen. Dies wird durch Regen oder extreme Sonneneinstrahlung verstärkt. Schmelzwasser sammelt sich im Porenraum. Die Schneekörner nehmen das vorhandene Wasser auf und werden zu großen, runden Körnern, die man als Schmelzformen bezeichnet. Bei sehr hohem Wassergehalt kommt es zur Auflösung der Verbindungen der einzelnen Körner und die Festigkeit dieser Schicht nimmt ab. Hingegen entsteht beim Wiedergefrieren einer Schmelzschicht eine sehr stabile, harte Schicht.¹⁹

2.2. Schneedeckenaufbau

Aufgrund des Wettergeschehens entwickelt sich die Schneedecke im Laufe des Winters zu einem geschichteten Aufbau. Durch die in Kapitel 2.1. beschriebenen Umwandlungsprozesse entstehen verschiedene Schichten, die sich in ihren Kornformen, der Härte, der Feuchtigkeit und der Temperatur unterscheiden. Die Zusammensetzung der Schneedecke und die Mächtigkeit der einzelnen Schichten sind ausschlaggebend für die Lawinenbildung.²⁰

¹⁹ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 27f

²⁰ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 28

Kornform	Typische Grösse in mm	Signatur	Code	Merkmale
Graupel	1 - 5		0	Besondere Niederschlagsform; runde, weisse Kügelchen
Neuschnee	1 - 4		1	Während oder kurz nach Schneefällen sichtbar, kommt nur in den obersten Schichten vor, Kristallstruktur noch gut erkennbar, weich.
Filz	1 - 2		2	Erste Abbauf orm des Neuschnees, meist nur für kurze Zeit nach Schneefall sichtbar, kommt in den obersten Schichten vor, kleine Kriställste und -stäbe noch sichtbar, weich
kleine Runde	0.2 - 0.5		3	Abgebaute Schneef orm: sehr kleine Körner ohne Kanten, meist gebunden und etwas härter; z.B. auch Tribschnee
kantig	0.5 - 3		4	Aufgebaute Schneef orm: kleine bis grössere, eckige und kantige Körner; je grösser, desto weniger gebunden (wie Zucker)
Kantig, Kanten abgerundet	1 - 3		9	Kantiger Schnee, der sich wieder abbaut: kantige Körner, aber ohne scharfe Ecken, meist gebundener als reiner kantiger Schnee
Schwimm-schnee oder Becherkristall	2 - 5		5	Stark aufgebaute Schneef orm, kommt v.a. in den bodennahen Schneeschichten vor (aber u.U. auch oberflächennah); grosse, becherförmige Kristalle, locker
Oberflächenreif	1 - 10		6	Bildet sich an der Oberfläche, kann eingeschneit werden und über Wochen sichtbar bleiben; grosse, fächerartige Kristalle
Schmelzform	0.5 - 3		7	Bildet sich bei einer Schneetemperatur von 0°C und bei Vorhandensein von flüssigem Wasser, runde, glasig-durchsichtige Körner
Schmelzkruste	0.5 - 3		7-7 Kruste	Schmelzformen, die wieder gefroren sind und so eine harte Kruste bilden. Mindestens die erste Kornform muss zwingend eine Schmelzform sein: z.B. 7 - 4, Kruste
Eislamelle			8	Feine, kompakte, sehr harte, durchsichtig glasige Eisschicht, selten sehr dick. Entsteht meist durch Gefrieren von Regen- oder Schmelzwasser
Codierung mehrerer Kornformen			4-3	Wenn zwei verschiedenen Kornformen in derselben Schicht vorhanden sind, wird die Kornform mit weniger Anteilen in Klammer gesetzt.

Abb. 2-3: Symbole und Erklärungen der verschiedenen Kornformen (Quelle: WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (o.J.))

Die in Abbildung 2-3 dargestellten Symbole werden einheitlich in der Schweiz verwendet. In Österreich ist die Verwendung der Symbole ähnlich, jedoch im Detail unterschiedlich und nicht einheitlich.

Die Schichten einer Schneedecke bestehen größtenteils aus Umwandlungsprodukten des Schnees. Daneben kann auch Graupel und Oberflächenreif vorhanden sein. Graupel ist eine besondere Niederschlagsform, die aus runden Kügelchen besteht. Von Oberflächenreif spricht man, wenn Wasserdampf an der Schneeoberfläche sublimiert. Dieser bildet sich vor allem in klaren, kalten Nächten. An schattigen Hängen können bei kalten Temperaturen dicke Schichten von Oberflächenreif gebildet werden. Wenn dieser eingeschneit wird, stellt er eine Schwachschicht dar, die zu Schneebrettlawinen führen kann.²¹

2.2.1. Bewegungen der Schneedecke

Die Schneedecke ist einer ständigen Bewegung unterzogen. Die maßgebenden Prozesse sind das Gleiten und das Kriechen des Schnees, ausgelöst durch die Schwerkraft. Das Kriechen spielt sich innerhalb der Schneedecke ab. Aufgrund des Eigengewichts des Schnees bewegen sich die Schichten hangabwärts, wobei sich die oberflächennahen Schichten schneller bewegen und die unterste Schicht bei zu hoher Bodenrauigkeit gar nicht. Dieser Vorgang schreitet sehr langsam voran, wird allerdings bei höheren Temperaturen schneller. Im Gegensatz dazu bewegt sich beim Gleiten die gesamte Schneedecke talwärts. Die Voraussetzungen dafür sind, dass eine glatte Bodenoberfläche vorhanden und die Grenzschicht zwischen Schneedecke und Untergrund feucht ist. Durch das Gleiten der Schneedecke können Risse entstehen, die man auch Fischmäuler nennt.²²

2.2.2. Schwachschichten

In der Schneedecke vorhandene Schwachschichten weisen eine sehr poröse Struktur auf, sind sehr weich und wenig gebunden. Aus diesem Grund können sie durch eine zusätzliche Belastung leicht brechen und kollabieren.²³

²¹ Vgl. Munter (1992), S. 41

²² Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 28f

²³ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 30

Typische Schwachschichten sind:²⁴

- Eingeschneiter Oberflächenreif
- Kantige Formen
- Schwimmschnee
- Schwache Struktur ober- oder unterhalb von Krusten (kantige Kristalle aufgrund des großen Temperaturgradienten)
- Feuchte Schichtgrenzen (durch Wasserfluss in der Schneedecke an markanten Schichtgrenzen)
- Neuschnee während des Schneefalls selbst

2.2.3. Gebundener Schnee

Im Gegensatz zu den in Kapitel 2.2.2. genannten Schwachschichten, bei denen die Kristalle wenig Bindung zueinander aufweisen, können bei gebundenen Schichten Kräfte zwischen den Kristallen übertragen werden. Diese Übertragung findet in der Schicht über größere Distanzen statt. Gebundener Schnee kann sowohl hart als auch weich sein. Beispielsweise ist Tribschnee, also durch Wind verfrachteter Schnee immer gebunden.²⁵

2.3. Klassifizierung von Lawinen

*„Als Lawine ... werden große Massen von Schnee oder Eis bezeichnet, die sich von Berghängen ablösen und zu Tal gleiten oder stürzen.“*²⁶ Die Auslösung erfolgt durch eine Zusatzbelastung auf die Schneedecke, wie etwa Neuschnee oder eine Störung durch Mensch oder Tier. Wenn diese aufgrund zu geringer Haftung zum Boden oder Schwachschichten zu instabil ist um diese Belastung aufzunehmen, gerät sie in Bewegung und Schneemassen werden in Folge der Schwerkraft hangabwärts transportiert. Auch eine Reduktion der

²⁴ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 31

²⁵ Vgl. Roth (2013), S. 59 und 115

²⁶ Rudolf-Miklau/Sauer Moser (2011), S. 1

Festigkeit kann zu einer Auslösung führen, wie dies meist bei Nassschneelawinen (vgl. Kap. 2.5.) der Fall ist.²⁷

Bei Lawinen mit großen Sach-, Personen- oder Umweltschäden spricht man auch von „Schadlawinen“ und man zählt sie zu den Naturkatastrophen.²⁸ Nach morphologischen Gesichtspunkten lassen sich Lawinen durch Merkmale im Anbruchgebiet, in der Sturzbahn und im Ablagerungsgebiet klassifizieren.²⁹

Zone	Kriterium	Bezeichnung	
Anbruchgebiet	Form des Anrisses	Von einem Punkt ausgehend: Lockerschneelawine	Von einer Linie anreißend: Schneebrettlawine
	Lage der Gleitfläche	Innerhalb der Schneedecke: Oberlawine	Auf der Bodenoberfläche: Bodenlawine
	Flüssiges Wasser im Lawinenschnee	Trocken: Trockenschneelawine	Nass: Nassschneelawine
Sturzbahn	Form der Sturzbahn	Flächig: Flächenlawine	Runsenförmig: Runsenlawine
	Form der Bewegung	Stiebend, als Schneewolke durch die Luft: Staublawine	Fließend, dem Boden folgend: Fließlawine
		Gemischte Bewegungsform: Mischlawine	
Ablagerungsgebiet	Oberflächenrauigkeit der Ablagerung	Grob (über 0,3m): Grobe Ablagerung	Fein (unter 0,3m): Feine Ablagerung
	Flüssiges Wasser in der Ablagerung	Trocken: Trockene Ablagerung	Nass: Nasse Ablagerung
	Fremdmaterial in der Ablagerung	Fehlend: Reine Ablagerung	Vorhanden (Steine, Erde, Äste, Bäume): Gemischte Ablagerung

Tab. 2-1: Morphologische Lawinenklassifikation (Quelle: Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S.22)

²⁷ Vgl. Ernest (1981), S. 74; Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 40f

²⁸ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 1

²⁹ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 22

2.4. Charakteristik einer Schneebrettlawine

2.4.1. Auslöseprozess

Um eine Schneebrettlawine auszulösen muss eine gebundene Schicht (Schneebrett) über einer Schwachschicht in geringer Tiefe vorhanden sein. Die Auslösung erfolgt durch einen Bruch in der Schwachschicht, der sich in der Schneedecke fortpflanzt. Man kann diesen Prozess in drei Phasen gliedern:

- Initialbruch: Die Struktur der Schwachschicht wird in einem lokalen Bereich zerstört. Dies kann aufgrund einer Zusatzbelastung durch einen Wintersportler oder Neuschnee geschehen. Dadurch kollabiert die Schwachschicht im Bereich der Belastung und das Schneebrett senkt sich leicht ab.
- Bruchfortpflanzung: Durch die Absenkung des Schneebretts entstehen Spannungsspitzen am Rande des Risses, die zu einer Ausbreitung des Bruchs entlang der Schwachschicht führen. Dabei wird viel Energie frei, wodurch auch stabilere Schichten in der Schneedecke brechen können.
- Abgleiten des Schneebretts: Ist die Reibung zwischen den entstandenen Bruchflächen nicht groß genug, um die Schneedecke zu halten, gleitet das Schneebrett ab. Entscheidend dafür ist die Hangneigung, je steiler der Hang ist, desto eher kommt es zum Abgleiten.³⁰

2.4.2. Voraussetzungen für eine Schneebrettlawine

Für die Auslösung einer Schneebrettlawine müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein.

1. Die Neigung des Hanges muss mindestens 30 Grad betragen, damit es zum Abgleiten der Lawine kommt. Bei flacheren Hängen können sich keine Schneebrettlawinen bilden. Die meisten Schneebrettlawinen werden bei Neigungen zwischen 35 und 45 Grad ausgelöst.

³⁰ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 32ff

2. Die vorhandene Schichtung der Schneedecke muss in der Weise gegeben sein, dass sich eine gebundene Schicht über einer Schwachschicht befindet. Die gebundene Schicht darf nicht zu dick sein, damit in der Schwachschicht der Bruch initiiert werden kann. Die Belastung durch einen Wintersportler hat nur Auswirkungen bis maximal einen Meter unter der Schneeoberfläche. Darunter liegende Schichten werden durch die Belastung selbst nicht gestört. Andererseits muss allerdings die gebundene Schicht eine bestimmte Mächtigkeit aufweisen, damit sich der Bruch ausbreiten kann. Im Idealfall ist ein Schneebrett zirka 50 Zentimeter dick. Im Fall von großen Spontanlawinen können dickere Schneebretter vorhanden sein. Die Beschaffenheit des Schneebretts selbst ist auch von Bedeutung. Geeignet ist dafür weicher, gebundener Schnee (wie frischer Tribschnee) oder sehr dichter und harter Schnee.
3. Die vorhandene Schichtung (Schneebrett und Schwachschicht) muss großflächig vorhanden sein. Bei kleinräumigen Änderungen des Schneedeckenaufbaus kann sich der Bruch nicht genügend fortpflanzen.
4. Es muss eine Zusatzlast mit genügend Kraft auf die Schneedecke einwirken, die den Bruch auslöst. Solche Lasten können Neuschnee, Schneeverfrachtungen oder ein Wintersportler sein. Es können auch Veränderungen in der über der Schwachschicht liegenden Schicht, zum Beispiel durch Erwärmung, zu Auslösungen führen. Des Weiteren kann statt der Zusatzlast auch eine Schwächung einer Schicht dazu führen, dass die Bindung verloren geht und das Schneebrett abgleitet.³¹

2.5. Nassschneelawinen

Besonders im Frühjahr kann es aufgrund des Schmelzwassers oder Regen vermehrt zu Nassschneelawinen kommen. Durch das Eindringen des Wassers in die Schneedecke wird diese instabil und es kommt zu einer Auslösung. Es kann durch Wasser in der gebundenen

³¹ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 35 und S. 37ff

Schicht zu einer Zusatzbelastung kommen, sodass ein Bruch in der Schwachschicht entsteht. Dabei ist die Schwachschicht selbst aber noch trocken.³²

Meistens kommt es nicht aufgrund der erhöhten Belastung, sondern wegen dem Festigkeitsverlust der Schichten zu einer Auslösung. Harte Schichten, wie etwa eine Harschkruste, sind wasserundurchlässig, weshalb sich das eingedrungene Wasser oberhalb dieser staut. Die angrenzende Schicht wird dadurch so feucht, dass ihre Festigkeit geringer wird. Zuvor sehr stabile Schichten können durch den erhöhten Wassergehalt erheblich geschwächt werden.³³

Die Wahrscheinlichkeit von Nassschneelawinen steigt bei:³⁴

- steileren Hängen (meistens über 35 Grad)
- höherem Wassergehalt
- schwächerem Schneedeckenaufbau
- markanten Schichtunterschieden (unterschiedliche Korngrößen)
- erstmaliger Durchfeuchtung einer Schicht

Nassschneelawinen sind daher abhängig vom Festigkeitsverlust. Die Festigkeit nimmt bei der erstmaligen Durchfeuchtung der Schicht am stärksten ab, allerdings nur zu Beginn. Bei weiterer Durchfeuchtung setzt sich die Schicht und wird wieder stabiler. Erneutes Eindringen von Wasser wirkt sich nicht mehr so extrem auf diese Schicht aus. Beim Wiedergefrieren von durchfeuchteten Schichten bilden sich oberflächlich harte Krusten, die sehr stabil sind.³⁵

³² Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 40

³³ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 40f

³⁴ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 41f

³⁵ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 41

2.6. Typische Lawinensituationen

Lawinenbildende Situationen lassen sich überblicksmäßig in 4 Muster einteilen:³⁶

- Neuschnee
- Tribschnee
- Nassschnee
- Altschnee (schwache Schneedecke)

2.6.1. Neuschneesituation

Schnee, der in den letzten ein bis drei Tagen gefallen ist, kann die Lawinengefahr erheblich erhöhen. Er stellt eine zusätzliche Belastung dar und bewirkt eine Veränderung im Schneedeckenaufbau, wodurch eine Auslösung möglich wird. Abhängig ist die Gefahr von der kritischen Neuschneemenge, ab der man von erheblicher Lawinengefahr spricht. Diese ist 10 – 20 Zentimeter bei ungünstigen, 20 – 30 Zentimeter bei mittleren und 30 – 50 Zentimeter bei günstigen Verhältnissen. Ungünstige Verhältnisse sind vor allem bei Schwachschichten an der Oberfläche, bei Kälte und viel Wind.³⁷

Neuschnee ist aufgrund unterschiedlicher Verhältnisse während des Schneefalls nicht immer gleich beschaffen. So können innerhalb der Neuschneesicht einer Schneefallperiode starke Unterschiede in der Struktur vorhanden sein. Auch bei kurzen Niederschlagspausen bilden sich eventuell mehrere Neuschneesichten, die stark variieren können.³⁸

Fällt Neuschnee auf eine günstige Altschneeoberfläche, die keine Schwachschichten enthält und nicht gleichmäßig aufgebaut ist, können daher trotzdem Schneebrettlawinen entstehen. Die Schwachschicht bildet sich im Neuschnee selbst, vor allem wenn dichter Neuschnee auf weniger dichten Neuschnee fällt. Durch die schnelle Setzung von Neuschnee nimmt die Lawinengefahr jedoch schon nach einem Tag ab.³⁹

³⁶ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 69

³⁷ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 70 und S. 111

³⁸ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 71f

³⁹ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 71

Beinhaltet die Schneedecke Schwachschichten, kann der Neuschnee alleine oder zusammen mit vorhandenem Altschnee ein Schneebrett bilden, das entlang der Schwachschicht abgleitet. Diese Schwachschicht kann die oberste Schicht der Altschneedecke sein, wie etwa Oberflächenreif oder kantig aufgebauter Schnee. Dann bildet der Neuschnee selbst das Schneebrett, das bei einer Setzung nach einiger Zeit noch stärker gebunden ist. Daher steigt die Lawinengefahr noch an. Der Neuschnee kann sich aber auch mit dem Altschnee, der über einer Schwachschicht liegt, verbinden, wodurch das entstandene Schneebrett mächtiger und auslösebereiter wird.⁴⁰

Fällt kalter Neuschnee auf eine warme, feuchte Altschneeoberfläche, entsteht kurzfristig ein großer Temperaturgradient zwischen den beiden Schichten. Es findet eine aufbauende Umwandlung des Neuschnees direkt oberhalb der Altschneesicht statt. Typisch ist diese Situation, wenn nach warmen Perioden, in denen die Schneedecke feucht wird, Kaltfronten mit Neuschnee folgen.⁴¹

2.6.2. Tribschneesituation

Lockerer, ungebundener Schnee kann vom Wind sehr leicht verfrachtet werden. Die Ablagerung dieses Tribschnees ist jedoch gebunden und schneebrettartig. Tribschnee, der während eines Schneefalls entsteht, ist zum Neuschnee zu zählen. Es kann sich allerdings die Neuschneemenge an manchen Stellen erheblich erhöhen, wodurch eine kritische Neuschneesituation entstehen kann.⁴²

Setzt der Wind nach einem Schneefall ein, wird der gerade gefallene Neuschnee verfrachtet. Dieser lagert sich auf den Resten der Neuschneesicht ab. Diese stellt dann aufgrund des lockeren Aufbaus eine Schwachschicht dar, auf der der sehr gebundene Tribschnee liegt. Die Situation beruhigt sich allerdings nach ein bis zwei Tagen wieder, wenn sich der Neuschnee verfestigt und gesetzt hat.⁴³

⁴⁰ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 72f

⁴¹ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 73f

⁴² Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 76f

⁴³ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 78

Bei starkem Wind kann auch Altschnee, wenn er an der Oberfläche locker ist, verfrachtet werden. Vor allem kantige Formen, die eine typische Schwachschicht bilden, sind sehr locker gelagert. Wird dieser Schnee weiter transportiert und abgelagert, bildet sich ein sehr hartes Schneebrett, das auf den Resten der kantigen Schicht liegen bleibt. Diese Schichtabfolge begünstigt den Lawinenabgang besonders und verändert sich auch über längere Zeit nicht.⁴⁴

2.6.3. Nassschneesituation

Nassschneesituationen entstehen durch Regen oder Schneeschmelze. Die Durchfeuchtung der Schneedecke stellt eine Zusatzlast dar und gleichzeitig werden die Struktur und die Bindung geschwächt. Die Vorgänge, die zur Auslösung von Nassschneelawinen führen, sind in Kapitel 2.5. beschrieben.⁴⁵

2.6.4. Altschneesituation

Selbst wenn die Schneedecke nicht durch Niederschlag, Wind oder Schmelzprozesse beeinflusst wird, kann sich der Schneedeckenaufbau so ungünstig verändern, dass sich die Lawinengefahr erhöht. Durch Temperaturunterschiede in der Schneedecke findet eine aufbauende Umwandlung statt, die zu kantigen Formen oder sogar Schwimmschnee führt. Wird diese Schicht eingeschneit, bildet sie eine Schwachschicht. Diese ist sehr langlebig und verändert sich auch nach der Setzung des Neuschnees nicht. Ebenso bildet eingeschneiter Oberflächenreif eine Schwachschicht. Diese ist zwar dünner und nicht so langlebig, allerdings sind diese Situationen schwer zu erkennen.⁴⁶

⁴⁴ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 79f

⁴⁵ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 82

⁴⁶ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 85ff

3. Möglichkeiten zum Schutz vor Lawinen

Grundsätzlich lassen sich Lawinenschutzmaßnahmen in permanente und temporäre Maßnahmen einteilen. Aufgrund der Eingriffsart kann man auch zwischen aktivem und passivem Lawinenschutz unterscheiden.⁴⁷

3.1. Permanenter Lawinenschutz

Permanente, also dauerhaft wirksame, Maßnahmen lassen sich in technische, forstliche und raumplanerische Maßnahmen unterteilen. Hierzu zählt außerdem die generelle Information der Bevölkerung über Lawinengefahren und die Bewusstseinsbildung.⁴⁸

3.1.1. Technische Maßnahmen

Bei technischen Maßnahmen handelt es sich um konstruktive Verbauungen, die im Anbruchgebiet, in der Lawinenbahn oder im Lawinenauslauf situiert sein können.⁴⁹

Stützverbauungen befinden sich direkt im Anbruchgebiet mit dem Zweck das Anbrechen der Lawine sofort zu unterbinden bzw. Schneerutsche unschädlich zu machen. Sie sind senkrecht zur Hangneigung – vorwiegend bei Neigungen über 30° - im Boden verankert und erhöhen die Schneedeckenstabilität indem sie das Kriechen oder Gleiten der Schneedecke stoppen. Sollte es dennoch zu Anbrüchen innerhalb der Verbauungen kommen, werden diese in ihrer Größe beschränkt. Zum Einsatz kommen vor allem Stahl-Schneebrücken oder Schneesetze aus Drahtseilen.⁵⁰

⁴⁷ Vgl. Margreth (2004 b), S.1

⁴⁸ Vgl. Land Tirol (2000), S.107

⁴⁹ Vgl. Land Tirol (2000), S.108

⁵⁰ Vgl. Margreth (2004 b), S.1

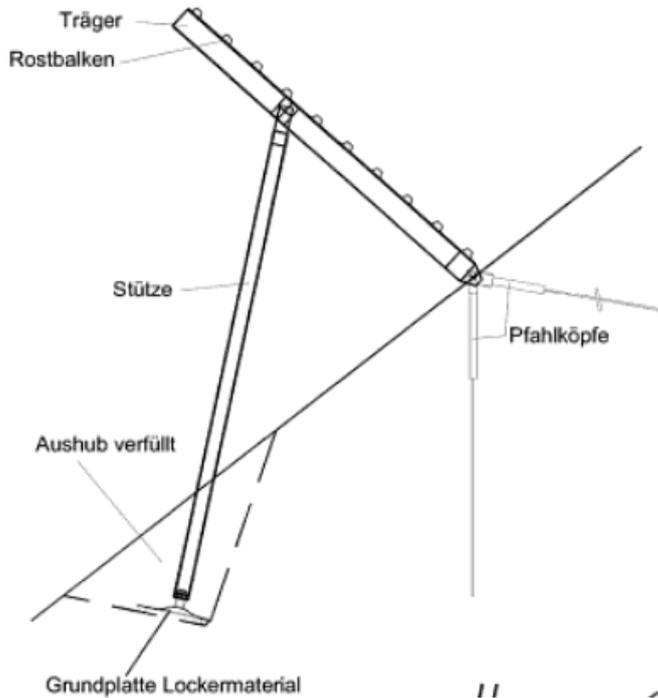


Abb.3-1: Schematik einer Stahl-Schneebrücke (Quelle: Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 165)

Zum Schutz von Tribschneeablagerungen und dadurch erhöhte Lawinengefahr werden Verwehungsbauten – meistens Schneezäune aus Holz oder Eisen - an windexponierten Stellen errichtet. Solche Schneezäune werden senkrecht zur Hauptwindrichtung auf flachen Rücken oberhalb eines lawinengefährdeten Hanges aufgestellt, um die Windgeschwindigkeit zu verringern. Dadurch wird der durch den Wind transportierte Schnee unmittelbar hinter der Verbauung abgelagert und das Einblasen ins Anbruchgebiet verhindert. Je nach Füllungsgrad (= Verhältnis von geschlossener zu gesamter Zaunfläche) werden unterschiedliche Wirkungen erzielt.⁵¹

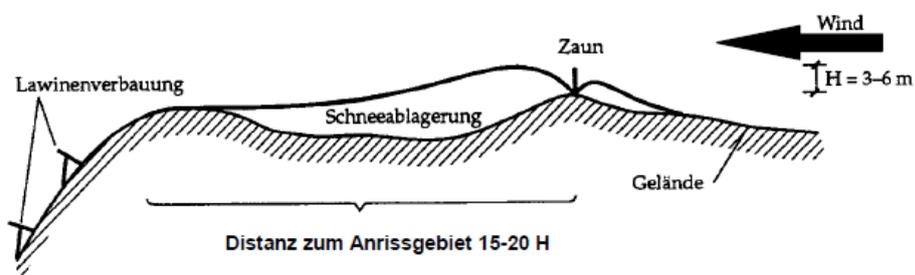


Abb. 3-2: Anordnung eines Schneezauns (Quelle: Margreth (2004 b), S.3)

⁵¹ Vgl. Land Tirol (2000), S. 109f

Zur Verhinderung der Wächtenbildung können Kolktafeln oder Winddüsen verwendet werden. Diese werden direkt auf den Geländekanten aufgestellt und beschleunigen den Wind. Dadurch wird der Schnee nicht direkt an den Geländekanten abgelagert, sondern erst im Leehang.⁵²

Wenn die Entstehung von Lawinen im Anbruchgebiet nicht verhindert werden kann, kommen Ablenk- und Bremsverbauungen zum Einsatz. Diese befinden sich in der Sturzbahn oder im Auslaufbereich. Ablenkdamme bewirken eine Richtungsänderung der Lawine, um z.B. Objekte in der Sturzbahn zu schützen. Spaltkeile zum Teilen der Lawine verringern das Ausmaß einer Lawine und bieten somit Schutz vor Großlawinen. Zum Überleiten einer Lawine über Verkehrswege verwendet man Lawinengalerien, deren Dach auf Lawinenkräfte zu bemessen ist. Bei flachen oder längeren Auslaufstrecken, in denen keine gefährdeten Objekte stehen, können geeignete Bremsvorrichtungen erstellt werden. Bremskegel, Bremskeile oder Bremshöcker können die Geschwindigkeit verringern. Durch einen Auffangdamm kann die Lawine möglicherweise gänzlich gestoppt werden.⁵³

3.1.2. Forstliche Maßnahmen

Im Anbruchgebiet bewirkt ein Wald durch günstige Faktoren für den Schneedeckenaufbau erheblichen Schutz vor Lawinen. Einerseits wird ein Großteil des Schnees auf den Baumkronen zurückgehalten, wo er entweder verdunstet oder als Schmelzwasser bzw. Nassschnee auf den Boden gelangt, was zu einer geringeren Mächtigkeit der Schneedecke führt. Andererseits bewirkt der Wald geringere Temperaturschwankungen im Tages-Nacht-Verlauf, wodurch die Bildung von Oberflächenreif verringert wird. Zusätzlich werden Schneeverfrachtungen reduziert und die Stämme stabilisieren – ähnlich den Stützverbauungen – die Schneedecke.⁵⁴

Die beste Wirkung bietet ein stufiger und gemischter Wald. Das generelle Ziel forstlicher Maßnahmen liegt daher in der Erhaltung, Pflege und Wiederherstellung solcher Bestände bis zur oberen Waldgrenze. Bei der Aufforstung wird die Verbindung mit technischen

⁵² Vgl. Land Tirol (2000), S. 110

⁵³ Vgl. Land Tirol (2000), S. 111

⁵⁴ Vgl. Margreth (2004 a), S.21f

Verbauungen angestrebt, die den Bewuchs schützen und die Schutzwirkung des Waldes vorerst ersetzen soll. Die Lebensdauer solcher Verbauungen muss zwischen 20 und 50 Jahre betragen, danach übernimmt der Wald vollständig die Schutzwirkung.⁵⁵

Um eine Aussage über das Anforderungsprofil eines Waldes treffen zu können, wurden einige Studien des Instituts für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) gemacht, in denen die Parameter Kronendeckungsgrad, Stammzahl pro Hektar und mittlere Lückenbreite untersucht wurden. Allgemein gilt, dass ein Wald mit 50% Kronendeckungsgrad bei einer Hangneigung von 35° bis zu einer Lückenbreite von 15 Metern lawinensicher ist.⁵⁶

Langjährig betrachtet stellt der Wald eine der kostengünstigsten und effektivsten Methode zum Schutz vor Lawinen in Anrissgebieten dar. Selbst bei großen Schneehöhen werden kaum Anbrüche in bewaldetem Gebiet festgestellt. Allerdings kann auch ein intakter Wald bei Anbrüchen oberhalb der Waldgrenze die Lawine im Auslauf nicht mehr stoppen.⁵⁷

3.1.3. Raumplanerische Maßnahmen

Die wichtigste passive Maßnahme des permanenten Lawinenschutzes ist Raumplanung. Hierzu zählen vor allem Lawinenkataster und Gefahrenzonenpläne. Die ersten Lawinenkataster wurden 1951 und 1952 für Tirol erstellt. Darin enthalten sind sämtliche Schadenslawinen im dauerbesiedelten Raum, sowie deren räumliche Ausdehnung und die Häufigkeit. Die Ausgabe erfolgt in Übersichtskarten im Maßstab 1:50.000 für jede Gemeinde, in denen durch Farbkennzeichnung die Häufigkeit einer Lawine in einem bestimmten Bereich ersichtlich ist. Rote Bereiche beschreiben Ereignisse, die nahezu jährlich oder häufiger eintreten, blaue Bereiche kennzeichnen Ereignisse bis max. 20 Jahre und gelbe Bereiche noch seltenere.⁵⁸

Ein Gefahrenzonenplan ist „*ein flächenhaftes Gutachten mit Prognosecharakter über die Gefährdung durch Wildbäche, Lawinen und allenfalls Erosion*“.⁵⁹ Er dient dazu, Gefahrenzonen bzw. Vorbehaltsbereiche auszuweisen, um die Forderung nach

⁵⁵ Vgl. Land Tirol (2000), S.112f

⁵⁶ Vgl. Margreth (2004 a), S.22f

⁵⁷ Vgl. Margreth (2004 a), S.21

⁵⁸ Vgl. Land Tirol (2000), S.113f

⁵⁹ Wildbach- und Lawinenverbauung (2011), S.3

Schutzmaßnahmen ersichtlich zu machen und eine Hilfestellung für die Baubehörde zu geben. Ein Gefahrenzonenplan ist für alle Gemeinden in Österreich mit Einzugsgebieten von Wildbächen und/oder Lawinen zu erstellen. Das Lawineneinzugsgebiet umfasst den Nähr-, Abbruch- und Ablagerungsbereich sowie die Lawinenbahn. Als Bemessungsereignis wird ein Ereignis mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 150 Jahren herangezogen.⁶⁰

Gefahrenzonen werden in rote und gelbe Zonen unterteilt. Rote Zonen sind „*jene Flächen, die durch (Wildbäche oder) Lawinen derart gefährdet sind, dass ihre ständige Benutzung für Siedlungs- und Verkehrszwecke ... nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist.*“⁶¹ Gelbe Zonen sind geringer gefährdet, jedoch besteht auch hier eine Beeinträchtigung für Besiedelungen. Grundsätzlich dürfen in roten Zonen keine Neubauten errichtet werden, in gelben Zonen nur unter Einhaltung bestimmter Auflagen.⁶²

Weiters werden blaue Vorbehaltsbereiche dargestellt, die zur Durchführung von Schutzmaßnahmen notwendig sind. Braune und violette Hinweisbereiche können ausgewiesen werden und dienen zur Darstellung nicht durch Wildbäche oder Lawinen gefährdeten Gebiete bzw. zur Erhaltung einer Schutzfunktion (z.B. Retentionsräume).⁶³

3.2. Temporärer Lawinenschutz

Im Falle akuter Lawinengefahr werden Schutzmaßnahmen gesetzt, die nicht auf Dauer wirksam sind, sondern nur das Risiko eines unkontrollierten Lawinenabgangs zu diesem Zeitpunkt an diesem Ort verringern sollen. Die Anwendung temporärer Schutzmaßnahmen setzt die Kenntnis der aktuellen Situation und die ständige Beobachtung dieser voraus. Daher muss zuerst eine Beurteilung der Lawinengefahr erfolgen, bevor Maßnahmen gesetzt werden können. Solche Maßnahmen zur temporären Sicherung sind Warnung, Sperre, Evakuierung und künstliche Lawinenauslösung.⁶⁴

⁶⁰ Vgl. Wildbach- und Lawinenverbauung (2011), S.3 und 17ff

⁶¹ Land Tirol (2000), S.115

⁶² Vgl. Land Tirol (2000), S. 115

⁶³ Vgl. Wildbach- und Lawinenverbauung (2011), S. 32f

⁶⁴ Vgl. Land Tirol (2000), S. 115

3.2.1. Beurteilung der Lawinengefahr

3.2.1.1. Zuständigkeiten

In Österreich erfolgt die Beurteilung der aktuellen Situation überregional durch Lawinenwarndienste und kommunal durch Lawinenkommissionen.⁶⁵

Die Aufgaben der Lawinenwarndienste sind:⁶⁶

- Warnung der Bevölkerung vor drohender Lawinengefahr (Lawinenlagebericht)
- Dokumentation von Lawinenereignissen
- Betreuung des Messstationsnetzes
- Datenarchivierung, statistische Auswertungen
- Beratung, Ausbildung, Gutachtertätigkeit

In Österreich gibt es 7 Lawinenwarndienste auf Landesebene (alle Bundesländer außer Wien und Burgenland). Europaweit bestehen in den meisten Berggebieten Lawinenwarndienste, die alle in der Arbeitsgemeinschaft „European Avalanche Warning Services“ (EAWS) zusammengeschlossen sind. Diese schafft eine Vereinheitlichung (z.B. durch die Europäische Lawinengefahrenskala) und einen Erfahrungsaustausch.⁶⁷

Örtliche Lawinenkommissionen haben die Aufgabe die aktuelle Lawinengefahr in der Gemeinde zu beurteilen. Sie ist im Normalfall dem Bürgermeister unterstellt, der die Verantwortung für die zu treffenden Maßnahmen trägt. Die Kommission steht ihm aber beratend zur Seite. Deren Mitglieder werden per Bescheid bestellt und üben ihre Tätigkeit freiwillig aus.⁶⁸

⁶⁵ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 388

⁶⁶ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 389

⁶⁷ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 389

⁶⁸ Vgl. Land Tirol (2000), S. 116

3.2.1.2. Lawinenlagebericht

Von den Lawinenwarndiensten wird täglich ein Lawinenlagebericht erstellt, der über die herrschende Lawinensituation Aufschluss gibt. Die Grundlage dafür bilden zahlreiche Informations- und Datenquellen:⁶⁹

- Automatische Wetterstationen
- Beobachter (bergerfahrene Personen)
- Wetterdienststellen
- Eigene Geländeerhebungen (Schneeprofile, Stabilitätstests)
- Rückmeldung von Wintersportlern
- Angrenzende Lawinenwarndienste

Die gewonnenen Daten werden analysiert und bewertet. Danach erfolgt die Einteilung der Lawinengefahr anhand der Europäischen Lawinengefahrenskala in eine der fünf Stufen. Der Grad der Lawinengefahr ist vor allem von der Schneedeckenstabilität und der Auslösewahrscheinlichkeit abhängig. Bei einer höheren Gefahrenstufe nehmen die Verbreitung der Gefahrenstellen und die Lawinengröße zu.⁷⁰

Gefahrenstufe	Icon	Schneedeckenstabilität	Lawinen-Auslösewahrscheinlichkeit
5 - Sehr gross		Die Schneedecke ist allgemein schwach verfestigt und weitgehend instabil.	Spontan sind viele grosse, mehrfach auch sehr grosse Lawinen, auch in mässig steilem Gelände zu erwarten.
4 - Gross		Die Schneedecke ist an den meisten Steilhängen schwach verfestigt.	Lawinenauslösung ist bereits bei geringer Zusatzbelastung** an zahlreichen Steilhängen wahrscheinlich. Fallweise sind spontan viele mittlere, mehrfach auch grosse Lawinen zu erwarten.
3 - Erheblich		Die Schneedecke ist an vielen Steilhängen* nur mässig bis schwach verfestigt.	Lawinenauslösung ist bereits bei geringer Zusatzbelastung** vor allem an den angegebenen Steilhängen* möglich. Fallweise sind spontan einige mittlere, vereinzelt aber auch grosse Lawinen möglich.
2 - Mässig		Die Schneedecke ist an einigen Steilhängen* nur mässig verfestigt, ansonsten allgemein gut verfestigt.	Lawinenauslösung ist insbesondere bei grosser Zusatzbelastung**, vor allem an den angegebenen Steilhängen* möglich. Grosse spontane Lawinen sind nicht zu erwarten.
1 - Gering		Die Schneedecke ist allgemein gut verfestigt und stabil.	Lawinenauslösung ist allgemein nur bei grosser Zusatzbelastung** an vereinzelt Stellen im extremen Steilgelände* möglich. Spontan sind nur Rutsche und kleine Lawinen möglich.

Abb. 3-3: Europäische Lawinengefahrenskala (Quelle: Lawinenwarndienst Tirol (2009 b))

Zusätzlich zur Gefahrenstufe werden im Lawinenlagebericht noch ergänzende Informationen angeführt. Es werden die besonderen Gefahrenstellen in Bezug auf Exposition, Höhenlage und Geländeteile ausgewiesen und in der Karte dargestellt. Meistens werden auch in einem

⁶⁹ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 392

⁷⁰ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 97

Text Details zum Schneedeckenaufbau, zum Wetter oder sonstigen Besonderheiten beschrieben.⁷¹

3.2.2. Temporäre Lawinenschutzmaßnahmen

Aufgrund der Beurteilung der aktuellen Lawinensituation werden unterschiedliche Maßnahmen zur Risiko- oder Schadensminderung gesetzt.

3.2.2.1. Warnung

Der Lawinenlagebericht stellt eine generelle Warnung für den alpinen Raum dar. Für Gebiete abseits des gesicherten Skiraums dient dieser zu Informationszwecken, die Situation muss aber grundsätzlich selbst beurteilt werden. Im erschlossenen Skiraum sind Lawinenwarnleuchten angebracht, die vor hoher Lawinengefahr außerhalb der geöffneten Pisten und Routen hinweisen. Dieses Blinklicht ist ab der Gefahrenstufe 4 einzuschalten und beim Sinken der Gefahrenstufe wieder auszuschalten.⁷²

3.2.2.2. Sperre

Bei akuter Lawinengefahr für öffentliche Verkehrsflächen (Pisten, Straßen, etc.) werden diese gesperrt. Eine Sperre ist in ausreichendem Maß anzuzeigen, sodass jeder Benützer diese sofort erkennt, auch wenn andere Personen diese nicht beachten. Bei Straßen verwendet man Schranken, Ampelanlagen oder Tafeln, die auf erhöhte Lawinengefahr hinweisen. Im gesicherten Skiraum wird die Sperre ebenfalls durch Tafeln angezeigt.⁷³

3.2.2.3. Evakuierung

Bei Lawinengefahr von einzelnen Häusern oder auch ganzen Ortsteilen, müssen die betroffenen Objekte evakuiert werden. Das bedeutet, dass alle Personen aus dem

⁷¹ Vgl. Harvey/Rhyner/Schweizer (2012), S. 104

⁷² Vgl. Land Tirol (2000), S. 120

⁷³ Vgl. Land Tirol (2000), S. 120f und 135

Gefahrenbereich entfernt werden müssen. Da eine Evakuierung im Ernstfall schnell gehen sollte, erfordert sie Vorbereitungen im Vorhinein. Durch die Gefahrenzonenpläne können potentiell lawinengefährdete Objekte erkannt und die betroffenen Personen informiert werden. Es sollte die Verständigung dieser Personen sowie die benötigten Fahrzeuge und eine Unterkunft im Vorfeld organisiert sein.⁷⁴

3.2.2.4. Künstliche Lawinenauslösung

Als Künstliche Lawinenauslösung bezeichnet man Verfahren, die eine Lawine zu dem gewünschten Zeitpunkt auslösen. Der Auslöseprozess und die verschiedenen Methoden werden in Kapitel 4 und 5 näher beschrieben.⁷⁵

Das generelle Ziel dabei ist eine Verkürzung der Gefahrenzeit, wodurch auch Sperrzeiten verringert werden können. Außerdem können mehrere Auslösungen in kurzen Zeitabständen (z.B. während eines Schneefalls) durchgeführt werden, wodurch große Lawinen vermieden werden. Künstliche Lawinenauslösung kann auch zum Test einer Schneedecke bzw. der Disposition einer Lawine herangezogen werden.⁷⁶

3.3. Lawinenschutzkonzepte aufgrund des Lawinenerlass 2011

Zur Sicherung von Skigebieten, Siedlungsräumen oder Verkehrswegen vor Lawinengefahren bedarf es einer Planung der Schutzmaßnahmen, um das höchste Maß an Sicherheit zu erreichen. Dafür werden Lawinenschutzkonzepte ausgearbeitet, die eine Maßnahmenkombination enthalten. Auf Basis einer Variantenstudie wird die effizienteste Kombination für das gesamte Lawineneinzugsgebiet ausgewählt. Diese kann aus permanenten und temporären Maßnahmen bestehen.⁷⁷

Die rechtliche Grundlage dafür bildet derzeit der „Erlass der Bundesministerin für Verkehr, Innovation und Technologie betreffend den Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen (Lawinenerlass 2011)“ Der erste Lawinenerlass wurde 1975 veröffentlicht. Dieser wurde

⁷⁴ Vgl. Land Tirol (2000), S. 121f

⁷⁵ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauer Moser (2011), S. 380

⁷⁶ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauer Moser (2011), S. 380

⁷⁷ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauer Moser (2011), S. 136

1996, 2004 und 2011 novelliert. Grundsätzlich beziehen sich alle Erlässe auf den Neubau einer Seilbahn sowie der zugehörigen Skipiste. 1975 war es für die Genehmigung eines Neubaus erforderlich, die Lawinensicherheit, falls nicht von Natur aus gegeben, durch permanente Schutzmaßnahmen herzustellen. 1996 wurde diesem Erlass hinzugefügt, dass in Ausnahmefällen temporäre Schutzmaßnahmen zulässig sind. Solche Ausnahmen beziehen sich auf *„Ersatzanlagen und standortgleiche, förderleistungserhöhte Umbauten von bestehenden Anlagen, bei denen sich ein permanenter Schutz nicht oder nicht zur Gänze herstellen ließ“*.⁷⁸ 2004 wurden diese Ausnahmefälle um Ergänzungsanlagen im erschlossenen Skigebiet erweitert.⁷⁹

Seit der Novelle 2011 ist es erstmals zulässig, permanente und temporäre Maßnahmen in Kombination zu verwenden, um die Lawinensicherheit einer neugebauten Anlage herzustellen. Der Lawinenerlass 2011 strebt eine *„Maximierung des Lawinenschutzes im Bereich von Seilbahnen“*⁸⁰ an. Aufgrund der Tatsache, dass sich temporäre Maßnahmen, vor allem im Bereich der Künstlichen Lawinenauslösung in den letzten Jahren stark weiterentwickelt haben, wird eine Kombination von permanenten und temporären Maßnahmen generell vorgeschlagen. Durch permanente technische Maßnahmen (z.B. Verbauungen) verbleibt ein Restrisiko, das mit temporären Schutzmaßnahmen minimiert werden soll.⁸¹

Bei der Errichtung von Seilbahnen muss die Anlagen- und Betriebssicherheit gewährleistet sein, das heißt für ein Bemessungsereignis mit einer Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 150 Jahren muss Lawinensicherheit gegeben sein. Anlagensicherheit bedeutet, dass Stationen, Stützenstandorte und die Seilführung so ausgelegt sind, dass mögliche Lawinenabgänge keinen Schaden anrichten. Bei der Gewährleistung der Betriebssicherheit muss das Erreichen und Verlassen der Seilbahn möglich sein, sowie die Stationszu- und -abgangsbereiche und die zugehörige Skipiste lawinensicher sein.⁸²

Beim Neubau von Liftanlagen und zugehörigen Skipisten, die nicht von Natur aus lawinensicher sind, sind Lawinenschutzkonzepte auszuarbeiten. Zuständig dafür ist der

⁷⁸ Fritz (2011), S.1

⁷⁹ Vgl. Fritz (2011), S.1

⁸⁰ BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2011), S. 1

⁸¹ Vgl. BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2011), S. 1

⁸² Vgl. BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2011), S. 4ff

Antragsteller des Liftbaus, der dieses in Zusammenarbeit mit der Lawinenkommission zu erstellen hat.⁸³

⁸³ Vgl. BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2011), S. 6

4. Theorie der künstlichen Lawinenauslösung

4.1. Ziele und Voraussetzungen

Künstliche Lawinenauslösung beschreibt einen Vorgang, bei dem durch systematisches Vorgehen ein Lawinenabgang hervorgerufen wird. Dies geschieht dadurch, dass eine instabile Schneedecke ausgenutzt und eine Zusatzlast aufgebracht wird, die so groß ist, dass sie zu einem Abgang führt. Die Auslösung kann mechanisch ohne Sprengstoffe oder durch den Einsatz von Sprengladungen bzw. Gasgemischen erfolgen. Genauere Beschreibungen der unterschiedlichen Methoden finden sich in Kapitel 5.⁸⁴

Grundsätzlich hat diese temporäre Methode folgende Vorteile.⁸⁵

- Die Lawine wird zu einem vorgesehenen Zeitpunkt ausgelöst. Daher können Gefahren- und auch Sperrzeiten kürzer gehalten werden.
- Lawinhänge können durch regelmäßiges Sprengen portionsweise entladen werden, wodurch größere Lawinenabgänge vermieden werden.
- Um Aussagen über die Anbruchwahrscheinlichkeit zu tätigen, können Tests zur Schneedeckenstabilität gemacht werden.
- Gegenüber passiven technischen Maßnahmen sind die Investitionskosten und die Realisierungszeit kürzer.

Es ergeben sich folgende Nachteile:⁸⁶

- Durch falsche Einschätzung der aktuellen Lawinensituation kann es zur Auslösung großer Lawinen und in seltenen Fällen zu Sekundärlawinen kommen.
- Durch vermehrtes Auslösen von Lawinen im selben Hang wird die Sturzbahn geglättet, wodurch nachfolgende Lawinen bessere Fließbedingungen haben oder durch Ablagerungen abgelenkt werden können.
- Im Gegensatz zu permanenten Maßnahmen muss mit einem größeren Personalbedarf gerechnet werden.

⁸⁴ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 10; Land Tirol (2000), S. 124;

⁸⁵ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 380; Land Tirol (2000), S. 123;

⁸⁶ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 380

Bei künstlicher Lawinenauslösung gilt es wichtige Vorschriften bzw. Bedingungen einzuhalten, um den Sicherheitsanforderungen zu entsprechen und ein hohes Maß an Effizienz zu gewährleisten. Einerseits sollte ein Sicherheitskonzept erstellt werden, in dem potentielle Lawinenanrissgebiete bestimmt und die jeweilige Methode zur Sicherung dieser dargestellt werden. Dieses umfasst nicht nur, welche Methode zum Einsatz kommt, sondern auch wie die Absperrung zu erfolgen hat, welche Sprengpunkte eingemessen wurden oder welche zusätzlichen permanenten Maßnahmen vorhanden sind. Andererseits muss jederzeit ein Überblick über die aktuelle Situation herrschen, um zu wissen, ob oder wann gesprengt werden sollte. Dazu muss unter Berücksichtigung aller Wetterdaten, Schneeprofile und Stabilitätstests die Schneedeckenstabilität berücksichtigt werden.⁸⁷

4.2. Wirkung von Sprengungen auf die Schneedecke

Bei mechanischen Auslösungen wird die Zusatzlast auf die Schneedecke durch zusätzliches Gewicht oder durch Rütteln aufgebracht. Im Gegensatz dazu werden beim Einsatz von Sprengstoffen Druckwellen erzeugt, die zu einer zusätzlichen Belastung führen.⁸⁸

Je nach Art des Sprengstoffes besitzt dieser eine unterschiedliche Abbrenngeschwindigkeit. Ist diese kleiner als 1000 m/s entsteht eine Explosion, ist sie größer, spricht man von einer Detonation. Bei Sprengstoffen, die zum Lawinensprengen eingesetzt werden, handelt es sich um solche mit Abbrenngeschwindigkeiten größer als 1000 m/s, es findet daher eine Detonation statt.⁸⁹

4.2.1. Wellenfortpflanzung einer Detonation

Bei einer Detonation wird durch die Zündung eines Sprengstoffes dieser schlagartig in Gas umgewandelt. Die entstandenen gasförmigen Produkte breiten sich in alle Richtungen ausgehend vom Detonationspunkt aus, wodurch das vorhandene Medium verdrängt wird.

⁸⁷ Vgl. Rudolf-Miklau/Sauermoser (2011), S. 380f; Gubler u.a. (2011), S. 14

⁸⁸ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 15f; Land Tirol (2000), S. 124

⁸⁹ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 16

Die Ausbreitung erfolgt in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen als Stoßwelle. Eine Stoßwelle ist eine Druckwelle mit großer Amplitude, die in Ausbreitungsrichtung schwingt (Longitudinalwelle). Das bedeutet, dass sich in Ausbreitungsrichtung Zonen mit Überdruck fortpflanzen und daher Druck- und Dichteunterschiede im vorhandenen Medium herrschen. Die Fortbewegung der Welle erfolgt mit Überschallgeschwindigkeit.⁹⁰

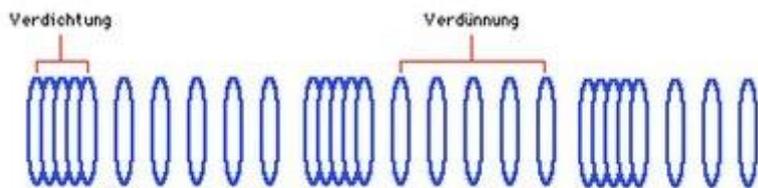


Abb. 4-1: Schema einer Longitudinalwelle (Quelle: Fachhochschule Düsseldorf (o.J.))

Mit zunehmender Entfernung zum Detonationspunkt werden die Druckunterschiede und die Geschwindigkeit geringer. Daher wandelt sich die anfängliche Schockwelle zu anderen Wellen um. In der Luft wird diese zuerst in eine N-förmige Luftdruckwelle transformiert. Dies ist eine elastische Welle mit großer Amplitude, die auch in die Schneedecke eindringen kann. Danach wird diese in eine Schallwelle umgewandelt. In der Schneedecke entstehen longitudinale Primärwellen (P-Wellen) und transversale Sekundärwellen (S-Wellen), welche grundsätzlich als Erschütterungen zu spüren sind. Im Boden entstehen seismische Wellen.⁹¹

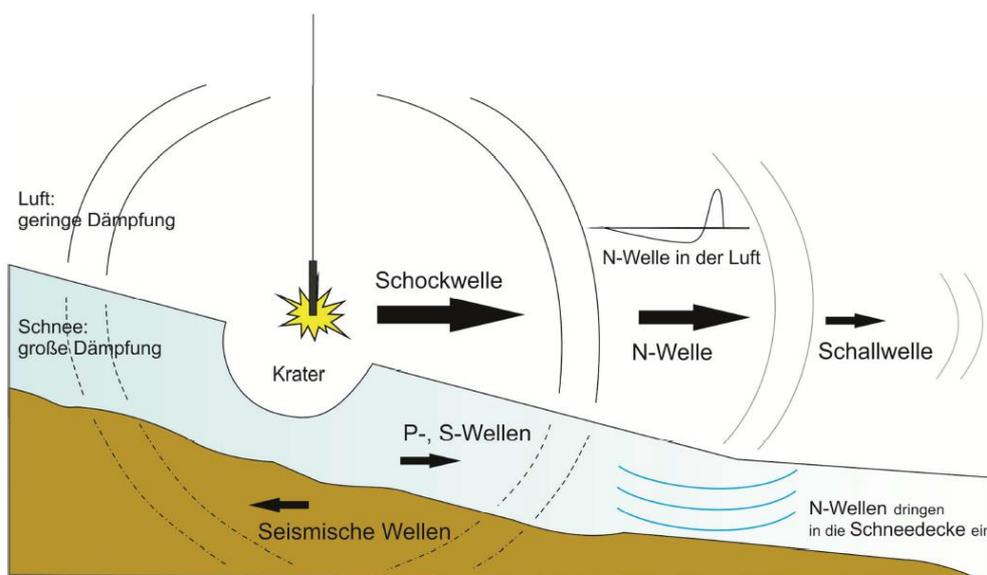


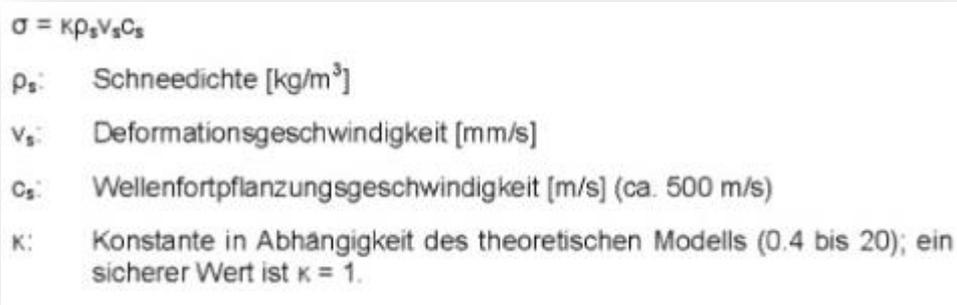
Abb. 4-2: Wellenfortpflanzung einer Detonation (Quelle: Gubler u.a. (2011), S. 16)

⁹⁰ Vgl. Stoffel (2001), S. 7; Wikipedia (o.J. b); Wikipedia (o.J. c)

⁹¹ Vgl. Wikipedia (o.J. b); Gubler u.a. (2011), S.15f

Die Schneedecke absorbiert Schockwellen besser als die Luft. Deshalb wird die Amplitude dieser mit zunehmender Entfernung bedeutend geringer, was zur Folge hat, dass Überschneesprengungen einen größeren Wirkungsradius besitzen, da die Ausbreitung in der Luft erfolgt und die Wellen in größerer Entfernung in die Schneedecke eindringen können. Eine permanente Verformung im Schnee tritt genau aus diesem Grund nur in einem sehr kleinen Radius um den Detonationspunkt auf. Dieser sogenannte Krater hat beispielsweise bei einer Ladung von einem Kilogramm nur einen Durchmesser von rund einem Meter.⁹²

Zur tatsächlichen Auslösung einer Lawine muss durch die entstandenen Wellen ein Initialbruch in der Schneedecke hervorgerufen werden. Ausschlaggebend dafür ist die Amplitude der Welle, die Zusatzspannungen in der Schneedecke auslöst. Bei größerer Amplitude (also in geringer Distanz zum Sprengpunkt) sind eine höhere Deformationsgeschwindigkeit und daher auch eine größere Spannung vorhanden. N-Wellen können auch in größerer Entfernung in den Schnee eindringen und Spannungen verursachen. Diese verursachen vor allem in größeren Entfernungen (über 10 Meter) vom Sprengpunkt die nötigen Zusatzspannungen.⁹³



$\sigma = \kappa \rho_s v_s c_s$

ρ_s : Schneedichte [kg/m³]
 v_s : Deformationsgeschwindigkeit [mm/s]
 c_s : Wellenfortpflanzungsgeschwindigkeit [m/s] (ca. 500 m/s)
 κ : Konstante in Abhängigkeit des theoretischen Modells (0.4 bis 20); ein sicherer Wert ist $\kappa = 1$.

Abb. 4-3: Berechnung der Zusatzspannungen auf die Schneedecke (Quelle: Gubler u.a. (2011), S. 17)

Die Zusatzbelastung auf die Schneedecke kann daher aus (z.B. gemessenen) Deformationsgeschwindigkeiten berechnet werden. Diese nimmt mit größerer Entfernung kontinuierlich ab. Abhängig von der Stabilität der Schneedecke kann auch eine kleinere Zusatzbelastung zu einer Auslösung führen.⁹⁴

⁹² Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 16

⁹³ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 16ff und S.21

⁹⁴ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 18

Durch die Zündung eines Gasgemisches (wie etwa in Gazex-Anlagen) wird ebenso eine Druckwelle erzeugt, die zur Auslösung führen soll. Der Unterschied besteht in der kleineren Verbrennungsgeschwindigkeit von ca. 1000 m/s, weshalb es in diesem Fall zu einer Explosion kommt.⁹⁵

4.2.2. Wirkungszone einer Sprengung

Damit eine Sprengung zur Auslösung einer Lawine führt, muss durch die entstehenden Zusatzspannungen ein Initialbruch entstehen, der sich fortpflanzt. Solche Initialbrüche können meist nur an instabilen Stellen der Schneedecke (hot spots) hervorgerufen werden, die allerdings nicht bekannt sind. Daher muss der Wirkungsradius einer Sprengung groß genug sein, um eine Schwachstelle zu erreichen.⁹⁶

Als Wirkungsradius bei Methoden mit Sprengstoff bezeichnet man den „*Radius einer Kreisfläche mit Zentrum am Quellpunkt, in welcher die zusätzliche Belastung innerhalb der Schneedecke einen Schwellenwert überschreitet*“.⁹⁷ Dieser Schwellenwert ist definiert durch die Zusatzbelastung, die ein einzelner Schneesportler auf die Basis eines 0,5 bis 1 Meter dicken Schneebretts aufbringt.⁹⁸

Dieser ist von mehreren Faktoren abhängig:⁹⁹

- Sprengpunkthöhe (Abstand zur Schneeoberfläche)
- Ladungsgröße
- Sprengstofftyp

In Bezug auf die Sprengpunkthöhe kann man zwischen Überschneesprengung, Oberflächensprengung oder Sprengung im Schnee unterscheiden. Erstere erzielt den größten Wirkungsradius, wobei die optimale Sprenghöhe auch von der Ladungsgröße abhängt. Bei Ladungsgrößen von 1,5 bis 2,5 Kilogramm befindet sich diese bei etwa 2 bis 2,5 Metern, für Ladungen von 4 bis 5 Kilogramm bei etwa 3 bis 3,5 Metern über der

⁹⁵ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 21

⁹⁶ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 18

⁹⁷ Gubler u.a. (2011), S. 18

⁹⁸ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 19

⁹⁹ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 19ff

Schneedecke. Oberflächensprengungen erzeugen im Bereich der Sprengung eine deutlich größere Wirkung, allerdings ist der Wirkungsradius erheblich kleiner, da in der Schneedecke Energie schneller umgewandelt wird. Detoniert eine Ladung unter der Schneedecke kommt es zu sehr kleinen Wirkungszonen. In Abbildung 4-3 ist die Abhängigkeit des Wirkungsradius in Bezug auf die optimale Höhe ersichtlich.¹⁰⁰

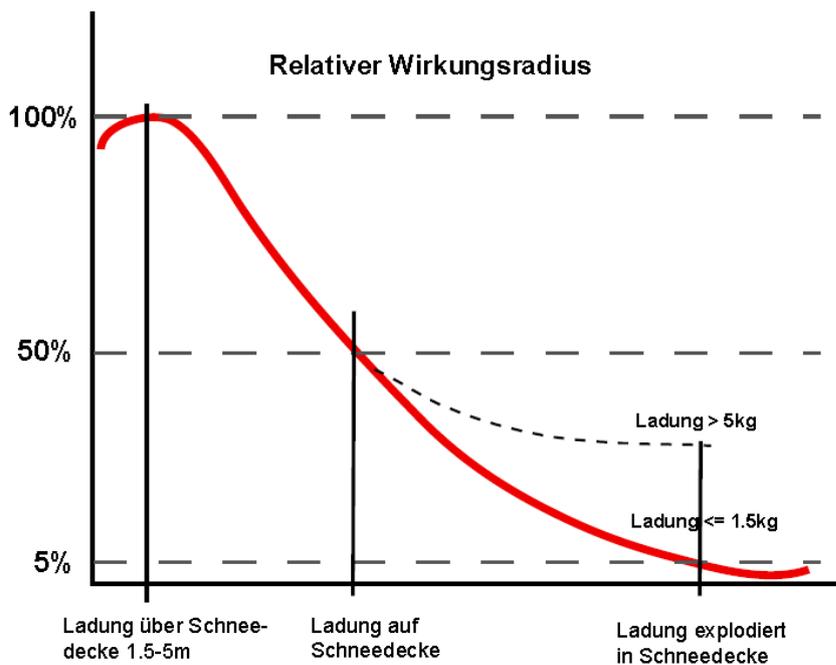


Abb. 4-4: Abhängigkeit des Wirkungsradius von der Sprengpunkthöhe (Quelle: Gubler u.a. (2011), S. 20)

Weiters ist die Wirkung einer Sprengung stark abhängig von der Ladungsgröße. Größere Ladungen erhöhen sowohl die Sprengwirkung als auch den Wirkungsradius. Der Wirkungsradius ist proportional zur Wurzel der Ladungsgröße.¹⁰¹

Je nach Sprengstofftyp variieren die Detonationsgeschwindigkeit und die Explosionswärme, welche ebenfalls zwei wichtige Eigenschaften für die Sprengwirkung darstellen. Bei Überschneesprengungen werden Sprengstoffe mit hohen Detonationsgeschwindigkeiten über 6000 m/s verwendet. Bei Oberflächensprengungen oder Sprengungen im Schnee sollte die Explosionswärme hoch sein und die Detonationsgeschwindigkeit zwischen 4500 und 5500 m/s liegen.¹⁰²

¹⁰⁰ Vgl. Stoffel (2001), S. 9f; Gubler u.a. (2011), S. 19f

¹⁰¹ Vgl. Stoffel (2001), S. 10; Gubler u.a. (2011), S. 20

¹⁰² Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 20

Ungefähre Werte zu den verschiedenen Wirkungsradien in Abhängigkeit der Sprengpunkthöhe und der Ladungsgröße, sowie im Vergleich zu Gasgemischen, sind in Tabelle 4-1 dargestellt. Dabei wird zwischen der Zone der Anbruchsicherheit und der Begehungssicherheit unterschieden. Als anbruchsicher ist der Radius anzusehen, in dem für einen begrenzten Zeitraum keine natürliche Auslösung stattfindet. In dem Radius, der begehungssicher ist, sollte es auch durch die Zusatzbelastung eines Skifahrers zu keiner Auslösung kommen.¹⁰³

	Sprengpunkthöhe [m]	Ladungsgröße [kg]	Radius Anbruchsicherheit [m]	Radius Begehungssicherheit [m]
Überschnee- sprengung	+3 bis +3,5	4 bis 5	120 bis 130	70
	+2 bis +2,5	1,5 bis 2,5	80 bis 90	50
	+1	4 bis 5	80 bis 90	50
	+1	1,5 bis 2,5	60 bis 70	35 bis 40
Oberflä- henspr.	0	4 bis 5	50 bis 60	30 bis 35
	0	1,5 bis 2,5	35 bis 40	20 bis 25
Sprengung im Schnee	-0,2	4 bis 5	40	25
	-0,2	1,5 bis 2,5	25	15
	-0,7	1,5 bis 5	10	5 bis 10
Gazex	vorwärts	3 m ³	70 bis 120	35 bis 85
	45° seitwärts	3 m ³	50 bis 100	25 bis 70
	vorwärts	1,5 m ³	50 bis 100	25 bis 70

Tab. 4-1: Wirkungsradien bei trockenem Neuschnee (Quelle: vgl. Stoffel (2001), S. 13; Gubler u.a. (2011), S. 22)

Bei der Betrachtung der Tabelle fällt auf, dass sehr starke Unterschiede der Radien abhängig von der Sprengpunkthöhe vorherrschen. Der Anbruchsradius kann bei einer Höhe von rund 3 Metern bis zu 130 Metern betragen, hingegen bei einer Sprengung im Schnee mit gleicher Ladungsgröße nur rund ein Drittel davon. Bei der Wahl der Ladungsgröße sind geringere

¹⁰³ Vgl. Stoffel (2001), S. 13

Unterschiede vorhanden. Die Schwankungen bezüglich der Ladungsgröße betragen 10 bis 20 Meter pro Kilogramm Differenz. Grundsätzlich kann daher bestätigt werden, dass besonders auf die Sprengpunkthöhe Rücksicht genommen werden muss, um den gewünschten Erfolg zu erzielen.

Gazex-Rohre können bei einer Größe von 3 m³ einen ähnlich großen Wirkungsradius wie eine Überschneesprengung erzielen. Dieser wird jedoch durch die Verwendung kleinerer Rohre geringer. Weiters ist zu beachten, dass diese Distanz nur vorwärts gerichtet gilt. 45° seitwärts ist die Wirkung schon um rund ein Viertel geringer. Bei Gazex-Rohren spielt daher der Standort eine wesentliche Rolle.

4.3. Sprengungen von Nassschneelawinen

Oben genannte Faktoren gelten im Grunde genommen nur für trockene Schneebrettlawinen. Die Auslösung von Nassschneelawinen ist erheblich schwieriger. Wie in Kapitel 2.5. beschrieben, entstehen Nassschneelawinen, wenn sich in der Schneedecke der Wassergehalt erheblich erhöht. Dies führt zu einer Schwächung der Struktur, sodass es zu keiner oder nur einer geringen Bruchfortpflanzung kommt. Daher wird bei der Sprengung von Nassschneelawinen häufig nicht der ganze Hang entladen und es werden nur Lockerschneelawinen ausgelöst.¹⁰⁴

Um dennoch eine positive Sprengung zu erreichen, müssen gewisse Faktoren eingehalten werden:¹⁰⁵

- Als Sprengzeitpunkt sollte der Nachmittag gewählt werden, am günstigsten ist der Zeitpunkt kurz nachdem keine Sonne mehr auf das Anrissgebiet scheint.
- Die Ladungen sollten möglichst groß gewählt werden.
- Oberflächensprengungen sind erfolgreicher.

Der Wirkungsradius bei nassem Schnee ist generell erheblich kleiner als bei trockenem Schnee. Meist beschränkt sich die Wirkung nur auf eine erweiterte Kraterzone von rund 10 Metern Durchmesser.¹⁰⁶

¹⁰⁴ Vgl. Land Tirol (2000), S. 123

¹⁰⁵ Vgl. Gubler (2001), S. 48

Forscher des „Instituts für Alpine Naturgefahren“ der Universität für Bodenkultur Wien beschäftigten sich mit der Instabilität von nassem Schnee und der Auslösung von Nassschneelawinen. Sie verglichen verschiedene Methoden (Radarmessungen, Sensoren) zur Messung des Wassergehalts in der Schneedecke. Es erwies sich aber keine der Methoden als verlässlich genug, um eine genaue Verteilung des Wassergehalts zu bestimmen. Außerdem wurde eine Umfrage über die Künstliche Auslösung von Nassschneelawinen im Alpenraum durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass Sprengungen von Nassschneelawinen wirksam sind und häufig durchgeführt werden. Über den richtigen Sprengzeitpunkt konnten keine Informationen gewonnen werden.¹⁰⁷

¹⁰⁶ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 21 und S. 33

¹⁰⁷ Vgl. Wiesinger u.a. (o.J.), S. 1f und S. 5

5. Methoden der künstlichen Auslösung

In diesem Kapitel werden die verschiedenen Methoden zur Künstlichen Lawinenauslösung näher beschrieben. Bei den 5.1. bis 5.7. handelt sich um solche, die häufig in Österreich eingesetzt werden. Die Reihung erfolgt alphabetisch. Kapitel 5.8. gibt noch einen kurzen Überblick über weitere Methoden. Grundsätzlich wird auf den Aufbau der Anlage bzw. die Durchführung einer Auslösung eingegangen. Weiters werden Vor- und Nachteile, die aus der Literatur entnommen werden, genannt.

5.1. Gazex (Frankreich)

Gazex ist ein Produkt der Firma TAS, das nicht mit Sprengstoff, sondern mit der Explosion eines Propan-Sauerstoffgemisches eine Lawine auslöst. Das System besteht aus Zündrohren, die im Lawinenanrissgebiet installiert sind, und einer Gaszentrale, die an einem anderen Ort in einiger Entfernung zum Zündrohr ist. Die Gaszentrale dient im Wesentlichen zur Lagerung der Gase und ist über eine Gasleitung mit den Zündrohren verbunden. Pro Gaszentrale können bis zu zehn Zündrohre in einer maximalen Entfernung von 500 Metern angeschlossen werden. Die Stromversorgung erfolgt über eine Batterie, die über ein Solarpanel aufgeladen wird.¹⁰⁸

Die Zündrohre sind in 3 Größen erhältlich, die das Füllvolumen des Rohres angeben: 0,8 m³, 1,5 m³ und 3 m³. Bei alten Anlagen sind auch 4,5 m³-Rohre vorhanden. Grundsätzlich besteht ein Rohr aus einem Schaft und einem Krümmer aus Stahl. Die Lagerung des Rohrs erfolgt entweder auf einem Federträger, der bergseitig im Boden verankert wird, oder talseitig durch ein Fundament. Bei der Auslösung, die per Funk erfolgt, wird Propan und Sauerstoff zu dem Zündrohr geleitet und dort zur Explosion gebracht. Dadurch wird Druck auf die Schneedecke direkt bei der Öffnung des Rohrs und eine Stoßwelle von 1750 m/s mit Überdruck und anschließendem Unterdruck erzeugt.¹⁰⁹

¹⁰⁸ Vgl. Stoffel (2001), S. 20; TAS (o.J. a), S. 2

¹⁰⁹ Vgl. TAS (o.J. a), S. 2; TAS (o.J. b); Stoffel (2012), S. 5



Abb. 5-1: Gazex-Zündrohr bei einer Zündung (Quelle: Interfab Snowbusiness GmbH (o.J. a))

Vorteile:¹¹⁰

- Sicht- und witterungsunabhängig
- Sicherheit des Personals (durch Fernauslösung)
- Gute Sprengwirkung (bei gutem Standort)
- Schnelle Ausführung der Sprengung
- Geringer Personalaufwand
- Geringe Betriebskosten
- Registrierung der Detonation durch Geophone
- Hohe Anzahl an Sprengungen pro Gasbehälter
- Kein Sprengstoff, daher einfachere Auflagen, Bewilligungen, etc. (abhängig vom jeweiligen Land)
- Überschneeexplosion
- Keine Rückstände im Gelände
- Keine Versager

Nachteile:¹¹¹

- Keine Variation des Sprengpunkts möglich
- Hohe Installationskosten

¹¹⁰ Vgl. Stoffel (2001), S. 20; Gubler u.a. (2011), S. 26; Stoffel (2012), S. 5

¹¹¹ Vgl. Stoffel (2001), S. 20; Gubler u.a. (2011), S. 26; Land Tirol (2000), S. 134

- Störung in der Gaszentrale wirkt sich auf alle angeschlossenen Rohre aus
- Kleiner Wirkungsradius bei kleinen Rohren (z.B. 0,8 m³)
- Fehler können meist nur im Gelände behoben werden
- Leitungsprobleme können erst im Sommer behoben werden (Zündrohr fällt für die restliche Saison aus)

5.2. Handwurfladungen

Bei dieser Methode wird eine Sprengladung von oberhalb in den Hang geworfen, dabei ist ein sicherer Standort zu wählen. Weiters kann man die Ladung je nach Gegebenheiten auch in den Hang gleiten lassen. Verwendet werden Ladungsgrößen von 1 bis 2,5 Kilogramm. Man kann die Ladung durch eine Schnur sichern (gesicherter Wurf), wodurch diese an der Schneeoberfläche in eine günstige Position gebracht werden kann und das Abrutschen an einer harten Oberfläche vermieden wird. Außerdem können Blindgänger zurückgeholt werden. Bei ungesicherten Würfeln muss die Ladung mit einer Doppelzündung ausgestattet sein.¹¹²

Des Weiteren können die Ladungen auch an einem Pfahl befestigt werden, was den Vorteil einer Überschneesprengung bringt. Allerdings besteht erhebliche Gefahr für das Personal, das lawinengefährliche Hänge betreten muss.¹¹³

Vorteile:¹¹⁴

- Keine Investitionskosten
- Sprengerfolge sofort ersichtlich
- Einfache Kontrolle für leicht zugängliche Gebiete
- Witterungsunabhängig
- Variation der Sprengpunkte

¹¹² Vgl. Stoffel (2001), S. 16; Gubler u.a. (2011), S. 23; Land Tirol (2000), S. 127

¹¹³ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 23

¹¹⁴ Vgl. Stoffel (2001), S. 16; Gubler u.a. (2011), S. 23

Nachteile:¹¹⁵

- Zeit- und Personalaufwendig
- Gefahr für das Personal (Gelände, Sprengstoff, Lawinen)
- Begrenzter Wirkungsradius durch kleine Ladungsgröße und Sprengung an der Schneeoberfläche
- Kleine Wurfweiten
- Ladung kann abrutschen

5.3. Helikoptersprengung

Bei Sprengungen aus dem Helikopter fliegt dieser möglichst tief über dem Anrissgebiet. An verschiedenen Sprengpunkten, die je nach Situation angepasst werden können, werden Ladungen abgeworfen. Die Ladungsgröße beträgt meist vier bis fünf Kilogramm. Außerdem können die Ladungen mit kleinen, gekreuzt angebrachten, Stäben versehen sein, die ein Abrutschen an einer harten Oberfläche verhindern, oder an Stangen angebracht werden. Oft wird auch ein rotes Band befestigt, um einen Blindgänger wieder zu finden. Generell werden aber Doppelzündungen verwendet, damit Versager möglichst vermieden werden.¹¹⁶

Bei Hubschrauber-Einsätzen muss immer Flugwetter herrschen, was bedeutet, dass Sprengungen nicht immer zum günstigsten Zeitpunkt durchgeführt werden können. Die Schneedecke kann in diesem Zeitraum schon wieder stabiler geworden sein und ein frühzeitiges Sprengen zur Verhinderung großer Lawinen ist daher nicht möglich. Auch bei Großschneefällen über einen längeren Zeitraum müssen diese abgewartet werden, bevor eine Sprengung durch den Helikopter erfolgen kann. Daher sollten Alternativen für solche Situationen vorhanden sein. Beispielsweise könnten an wichtigen Sprengpunkten witterungsunabhängige Systeme zur Überbrückung installiert werden.¹¹⁷

¹¹⁵ Vgl. Stoffel (2001), S. 16; Gubler u.a. (2011), S. 23

¹¹⁶ Vgl. Stoffel (2001), S. 17; Land Tirol (2000), S. 128

¹¹⁷ Vgl. Stoffel (2001), S. 17; Gubler u.a. (2011), S. 24

Vorteile:¹¹⁸

- Günstig
- Effizient
- Schnell
- Sicher
- Variation der Sprengpunkte
- Gute Sprengwirkung (durch große Ladungen)
- Große Reichweite

Nachteile:¹¹⁹

- Abhängig von Flugwetter
- Kleinere Wirkung bei Einsinken der Ladung
- Abrutschen der Ladung
- Abhängig von Verfügbarkeit des Helikopters
- Risiko durch Flug knapp über Gelände
- Erhöhter Zeitaufwand

5.4. Inauen-Schätti: Lawinenwächter/-mast (Schweiz)

5.4.1. Lawinenwächter LW 2700/LW 5400

Der Lawinenwächter der Firma Inauen-Schätti ist eine Wurfanlage, die die Ladungen je nach Ladungsgröße bis zu 180 Meter auswerfen kann. Sie besteht aus einem Steher, auf dem ein bis zwei Kästen fix montiert sind. In diesen befinden sich jeweils 10 vorbereitete Sprengladungen, die in zwei Größen - entweder 2,7 oder 5,4 Kilogramm – erhältlich sind. Bei leichteren Ladungen können größere Wurfweiten erreicht werden. Zur Energieversorgung sind Solarpanels angebracht, daher bedarf es keiner Zuleitungen im Gelände.¹²⁰

¹¹⁸ Vgl. Stoffel (2001), S. 17; Gubler u.a. (2011), S. 24

¹¹⁹ Vgl. Stoffel (2001), S. 17; Gubler u.a. (2011), S. 24

¹²⁰ Vgl. Stoffel (2012), S. 8; Inauen-Schätti AG (o.J. b)

Die Auslösung einer Sprengung erfolgt ferngesteuert über einen Computer, wodurch die Ladung durch Zündung von Schwarzpulver an einen der Sprengpunkte geworfen wird. Pro Kasten können bis zu vier Sprengpunkte eingeschossen werden. Die Ladung detoniert auf der Schneeoberfläche, es handelt sich daher um eine Oberflächensprengung, und ist aus verrottbarem Material hergestellt. Das Nachladen des Kastens erfolgt manuell.¹²¹



Abb. 5-2: Lawinenwächter Inauen-Schätti (Quelle: Stoffel (2012), S. 8)

Vorteile:¹²²

- Wirkungsradius von rund 300 Metern
- Sprengpunkte können leicht variiert werden
- Wetter- und sichtunabhängig
- Doppelzündung, daher selten Versager
- Geophon neben dem Fundament registriert Detonation
- Grundsätzlich gute Wirkung
- Verrottbare Ladungen
- Keine Zuleitungen im Gelände (Solarpanels)

¹²¹ Vgl. Stoffel (2012), S. 8

¹²² Vgl. Stoffel (2012), S. 8f; Inauen-Schätti AG (o.J. b)

Nachteile:¹²³

- Manuelles Nachfüllen
- Gesamte Anlage auch im Sommer im Gelände
- Ladung kann auf hartem Untergrund abrutschen
- Durch Austrocknen des Schwarzpulvers können die Wurfweiten variieren
- Durch Wind kann der Sprengpunkt variieren

5.4.2. Lawinenmast LM 2700/LM 5400

Neben dem Lawinenwächter bietet Inauen-Schätti auch den Lawinenmast an. Dieser besteht aus einem Kasten, der ebenfalls fix auf einem Steher montiert ist. Darin sind 10 Sprengladungen zu je 2,7 oder 5,4 Kilogramm enthalten, die an einer Schnur befestigt sind. Eine Variation des Sprengpunktes ist daher nicht möglich. Die Auslösung erfolgt ferngesteuert mit derselben Software wie beim Lawinenwächter. Die Ladungen werden auf zwei bis drei Meter über der Schneedecke abgesenkt und detonieren dort. Es findet daher eine Überschneesprengung statt. Durch die Verwendung einer Doppelzündung kommt es selten zu Versagern.¹²⁴

Analog zum Lawinenwächter wird die Stromversorgung mittels Solarpanel gesichert, das Nachladen des Kastens muss manuell erfolgen. Da es sich grundsätzlich um das gleiche System wie beim Lawinenwächter handelt, ist auch eine Kombination beider möglich. Es können aus einem Kasten daher 5 Ladungen an einer Schnur befestigt und 5 Ladungen ausgeworfen werden, wodurch zwei Sprengpunkte abgedeckt werden können.¹²⁵

¹²³ Vgl. Stoffel (2012), S. 8f

¹²⁴ Vgl. Stoffel (2012), S. 9f; Inauen-Schätti AG (o.J. b)

¹²⁵ Vgl. Stoffel (2012), S.9f



Abb. 5-3: Lawinenmast Inauen-Schätti (Quelle: Inauen-Schätti AG (o.J.a))

Vorteile:¹²⁶

- Sehr gute Wirkung durch Überschneesprengung
- Witterungs- und sichtunabhängig
- Selten Versager, da Verwendung von Doppelzündung
- Verrottbare Ladungen
- Registrierung der Detonation durch Geophon neben dem Fundament
- Sehr wirksam an steilen Hängen
- Kein Abgleiten der Ladung

Nachteile:¹²⁷

- Keine Variation des Sprengpunktes möglich
- Nachfüllen des Kastens vor Ort
- Gesamte Anlage auch im Sommer sichtbar

¹²⁶ Vgl. Stoffel (2012), S. 10; Inauen-Schätti AG (o.J. b)

¹²⁷ Vgl. Stoffel (2012), S. 10

5.5. Ski cutting

Lawinen können kleinräumig auch durch mechanische Störung der Schneedecke ausgelöst werden. Dies geschieht meist durch Abtreten der Lawinen mit Skiern, dem sogenannten „Ski cutting“. Weitere mechanische Methoden zur Auslösung können das Abtreten zu Fuß oder die Verteilung des Schnees mittels Pistengeräten sein.¹²⁸

Beim „Ski cutting“ durchfährt oder betritt ein Skifahrer den Hang möglichst weit oben, um unterhalb eine Lawine auszulösen. Der Skifahrer sollte dabei an einem Seil gesichert sein, damit er selbst nicht von der Lawine mitgerissen wird. Dabei ist zu beachten, dass man möglichst genau die Abrisslinie der Lawine befährt, um ein Mitreißen zu verhindern. Diese Methode eignet sich gut zur Entschärfung kleiner und leicht zugänglicher Hänge. Allerdings dürfen die Gefahren nicht unterschätzt werden. Daher sollte der Skifahrer gesichert und mit einem Lawinen-Verschütteten-Suchgerät ausgestattet sein.¹²⁹

Vorteile:¹³⁰

- Billig
- Unmittelbar
- Gut geeignet für kleinräumige, leicht zugängliche Gefahrenstellen, an denen aufwändigere Anlagen unrentabel wären

Nachteile:¹³¹

- Beschränkte Wirkung
- Gefahr einer Verschüttung

¹²⁸ Vgl. Wikipedia (o.J. a)

¹²⁹ Vgl. Wikipedia (o.J. a); Ernest (1981), S. 136

¹³⁰ Vgl. Ernest (1981), S. 136

¹³¹ Vgl. Ernest (1981), S. 136

5.6. Sprengseilbahnen

Sprengseilbahnen oder Lawinensprengbahnen sind Seilbahnen, die ausschließlich für Sprengungen genutzt werden. Ausgehend von einer lawinensicheren Station am Berg ist im Anbruchgebiet ein Seil über mehrere Stützen gespannt. Auf diesem wird eine Ladung zum gewünschten Sprengpunkt transportiert, wo diese über der Schneedecke detoniert. Prinzipiell lässt sich der Sprengpunkt entlang der Seilführung variieren. Oft werden auch Absenkgeräte verwendet, um die Ladung in die wirkungsvollste Höhe über der Schneedecke hinunterlassen zu können.¹³²

Verwendet werden Bautypen unterschiedlicher Hersteller (u.a. Doppelmayer, Garaventa, Wyssen, Eigenbau), welche sich in ihren Ausführungen stark unterscheiden. Eine kurze Bahn unter einem Kilometer kann per Hand angetrieben werden. Für längere Bahnen braucht man einen motorischen Antrieb, zum Beispiel einen Verbrennungsmotor oder einen hydraulischen Antrieb über ein Pistengerät. Falls eine elektrische Zuleitung möglich und vertretbar ist, wird ein elektrischer Antrieb verwendet. Bei der Station kann bei größeren Bahnen eine Kabine vorhanden sein, in der die notwendigen Einrichtungen zur Bedienung der Bahn enthalten sind.¹³³

Wetterbedingt kann es zu Problemen durch starken Wind oder Reifbildung kommen. Um der Reifbildung entgegen zu wirken, können automatische Entreifungssysteme eingesetzt werden. Damit verhindert wird, dass bei starkem Wind das Seil herauspringen kann, muss man auf eine sorgfältige Verankerung in den Stützen achten.¹³⁴

Vorteile:¹³⁵

- Gute Wirkung durch Überschneesprengung
- Variation des Sprengpunktes entlang der Seillinie
- Sicht- und witterungsunabhängig (bei sicherem Zugang zur Station)
- Große Sicherheit des Personals (bei sicherem Zugang zur Station)
- Geringe Betriebskosten

¹³² Vgl. Land Tirol (2000), S. 128f; Stoffel (2001), S.19; Gubler u. a. (2011), S. 25

¹³³ Vgl. Land Tirol (2000), S. 129f; Stoffel (2001), S. 19

¹³⁴ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 25

¹³⁵ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 25; Stoffel (2001), S. 19

- Ausführungszeit einer Sprengung relativ kurz (bei kurzer Anfahrt oder kurzen Bahnen)

Nachteile:¹³⁶

- Reifbildung, Vereisung
- Großer Zeitbedarf (v.a. bei langer Anfahrt oder langen Bahnen)
- Seilschwingungen durch Wind
- Sprengpunkte abhängig von Linienführung
- Sprengresultate oft nicht ersichtlich
- Hohe Installationskosten bei langen Bahnen
- Witterungsbedingt eventuell erschwerter Zugang zur Station

5.7. Wyssen: Lawinen-Sprengmast und Mini-Sprengmast (Schweiz)

5.7.1. Lawinen-Sprengmast LS12-5

Beim Wyssen Lawinen-Sprengmast LS12-5 handelt es sich um eine Variante, bei der die Lawine ferngesteuert ausgelöst wird. Auf dem Mast ist ein Magazinkasten, der per Funk mit der Kommandozentrale verbunden ist, mit vorbereiteten Ladungen befestigt. Im Falle einer Sprengung wird eine Ladung an einer Halteschnur abgesenkt und durch zwei Reißzünder aktiviert. Es kommt dadurch zu einer Überschneesprengung, die Sprenghöhe wird durch die Länge der Schnur bestimmt. Nach erfolgreicher Sprengung wird auch die Schnur abgeworfen.¹³⁷

Am oberen Ende des Mastes befindet sich ein Dorn, der dem Helikopter ein leichtes Aufsetzen des Magazinkastens ermöglicht. Zum Nachfüllen der Anlage wird der komplette

¹³⁶ vgl. Gubler u.a. (2011), S. 25; Stoffel (2001), S. 19

¹³⁷ Vgl. Wyssen avalanche control AG (2009), S. 1

Magazinkasten mittels eigener Klinke, die am Helikopter befestigt ist, weggeflogen und nach Befüllen wieder aufgesetzt. Dazu ist kein Personal beim Mast erforderlich.¹³⁸

Der Magazinkasten selbst ist das Kernstück des Systems. Darin befinden sich 12 Ladungen zu je max. 5 Kilogramm Sprengstoff, die bei einer Sprengung durch ein Loch im Kastenboden abgeworfen werden. Er beinhaltet außerdem die gesamte Mechanik und Steuerung zur Absenkung der Ladung, sowie eine Funkübermittlungseinheit, die die Verbindung zur Kommandozentrale herstellt. Außen sind Solarpanele angebracht, durch die er die benötigte Energie gewinnen kann. Es sind daher keine Zuleitungen im Gelände notwendig.¹³⁹

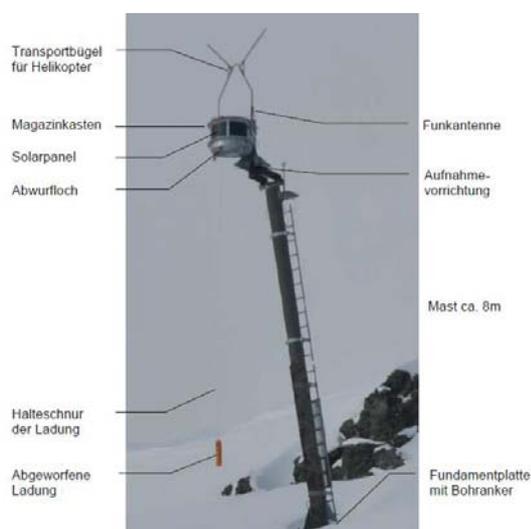


Abb. 5-4: Aufbau des Sprengmasts (Quelle: Wyssen avalanche control AG 2009, S. 2)

Vorteile:¹⁴⁰

- Großer Wirkungsbereich durch Überschneesprengung mit 5 kg-Ladung
- Sprengstoff erzeugt N-förmige Druckwelle mit guter Wirkung
- Kein Personal im Gefahrenbereich
- Wenig Personal notwendig
- Witterungs- und sichtunabhängig
- Schnelle Auslösung
- Zeitunabhängig
- Keine Zuleitungen notwendig (Solarpanel)

¹³⁸ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 28

¹³⁹ Vgl. Wyssen avalanche control AG (2009), S. 1 und S. 3

¹⁴⁰ Vgl. Stoffel (2001), S. 22; Wyssen avalanche control AG (2009), S. 1; Stoffel (2012), S. 12

- Niedrige Betriebskosten
- Geringer Eingriff in die Natur (sowohl durch Installation als auch Sprengung)
- Magazin schützt alle heiklen Teile
- Magazin kann per Helikopter abgehoben und aufgesetzt werden (ohne Bodenpersonal)
- Keine Nachladungs- und Wartungsarbeiten im Gelände
- Doppelzündung, daher selten Versager

Nachteile:¹⁴¹

- Keine Variation des Sprengpunkts möglich
- Für das Nachladen ist Helikopter und Flugwetter erforderlich
- Hohe Installationskosten

5.7.2. Mini-Sprengmast LS4-5

Neben dem Standardprodukt LS12-5 bietet Wyssen noch einen kleineren Mast an, den Mini-Sprengmast LS4-5. Dieser beruht auf demselben Prinzip, jedoch beinhaltet er nur 4 Ladungen mit jeweils 5 Kilogramm. Zum Abwerfen einer Ladung muss allerdings eine Person vor Ort sein, die die Anlage in Betrieb nimmt und mittels Handfunkgerät den Befehl zum Abwurf gibt. Die Stromversorgung wird durch eine Zuleitung in der Erde hergestellt. Das Nachladen der Anlage ist in diesem Fall nur manuell über eine fixe Leiter am Mast möglich.¹⁴²

¹⁴¹ Vgl. Stoffel (2001), S. 22

¹⁴² Vgl. Wyssen avalanche control AG (o.J.)



Abb. 5-5: Wyssen Mini-Sprengmast (Quelle: Wyssen avalanche control AG (o.J.))

5.8. Weitere Methoden

5.8.1. Gratausleger und Sprengruten

Sprengruten bestehen aus Stäben, die zusammengesoben werden können. Je nach gewünschtem Sprengpunkt können diese an einem Grat platziert und bis zu 10 Meter ausgezogen werden. Der Gratausleger ist fix am Grat angebracht. Es lässt sich ein langer Auslegerarm um die senkrechte Achse drehen. An beiden ist am vorderen Ende eine Rolle montiert, wodurch die Ladung in den Hang abgesenkt werden kann.¹⁴³

5.8.2. Ladungsabsenkungen aus bemannten Seilbahnen

Wenn es möglich ist, mit einer Seilbahn einen Lawinenhang zu erreichen, können von dieser aus die Sprengungen durchgeführt werden. Dazu werden die Ladungen entweder aus dieser hinausgeworfen (mit einer Doppelzündung, um Blindgänger zu vermeiden) oder mit einem Seil hinuntergelassen, um den Vorteil der Überschneesprengung auszunutzen. Wichtig dabei ist, dass die Seilbahn in ausreichender Höhe verläuft, um Schäden zu vermeiden.¹⁴⁴

¹⁴³ Vgl. Land Tirol (2000), S. 128

¹⁴⁴ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 24

5.8.3. Sprengschlitten

Ein Sprengschlitten besteht aus zwei Kufen, die durch ein Gestänge verbunden sind. Darauf befindet sich ein rutenartiger Ausleger, an dem die Ladung aufgehängt wird, sodass diese über der Schneedecke detoniert. Der Schlitten sollte so konstruiert sein, dass er durch die Detonation nicht beschädigt wird. Er eignet sich vor allem für steilere Hänge, in denen Handsprengungen nur schwer durchführbar sind. Sprengschlitten werden auch oft selbst aus alten Skiern gebaut.¹⁴⁵

5.8.4. Geschosse, Raketen

Vor allem in der Schweiz, Russland und den USA werden auch Armeewaffen zur Auslösung von Lawinen eingesetzt. Häufig verwendet werden Kanonen, Minenwerfer, Raketenrohre oder der Avalancheur. Mit diesen können Ladungen aus mehreren Kilometern Entfernung in das Gebiet geschossen werden, wobei eine vorher eingeschossene Flugbahn verwendet wird. Aufgrund der großen Distanz zum Sprengpunkt kann es aber – zum Beispiel durch Wind verursacht – zu sehr großen Abweichungen kommen. Der Vorteil besteht darin, zahlreiche Sprengpunkte von einem Standort aus zu erreichen. In Österreich ist diese Methode verboten.¹⁴⁶

5.8.5. Daisybell, O'Bellx

Die Firma TAS bietet neben Gazex zusätzlich die Produkte Daisybell und O'Bellx an. Daisybell ist ein Gerät, das mit einem Seil am Helikopter fixiert wird und dadurch zum gewünschten Sprengpunkt geflogen wird. Durch die Zündung eines Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisches im Konus in einer Höhe von fünf bis zehn Metern über der Schneedecke kommt es zur Auslösung. Bei O'Bellx befindet sich ein glockenartiges Funktionsmodul auf einem fix

¹⁴⁵ Vgl. Land Tirol (2000), S. 127; Stoffel (2001), S. 23

¹⁴⁶ Vgl. Gubler u.a. (2011), S. 25; Stoffel (2001), S. 18; Land Tirol (2000), S. 124

installierten Träger. Im Funktionsmodul befinden sich der Explosionskonus und die Gasreserven, sodass keine Zuleitungen nötig sind. Es wird ebenfalls ein Wasserstoff-Sauerstoff-Gemisch im Konus zur Explosion gebracht.¹⁴⁷



Abb. 5-6: Daisybell (links) und O'Bellx (rechts) (Quellen: Interfab Snowbusiness GmbH (o.J. b), Interfab Snowbusiness (o.J. c))

5.8.6. Lawin Locker

Die Firma Elma Tech bietet verschiedene Systeme an, die Sprengladungen pyrotechnisch auswerfen können. Sie bestehen aus einem bzw. zwei Rohren, deren Neigung verstellt werden kann, um unterschiedliche Sprengpunkte zu erreichen. Mit dem „Großen Bär 125“ können Wurfweiten bis zu 850 Metern erzielt werden. Dieser kann entweder fix installiert oder mit Pistengeräten zum gewünschten Standort gebracht werden. „Murmel 125“ bzw. „Fellow 125/2“ sind mobile Geräte mit kleineren Rohren, wobei ersteres ein Rohr und letzteres zwei Rohre hat. Die Wurfweiten betragen bei diesen Systemen bis zu 300 bzw. 350 Meter.¹⁴⁸

¹⁴⁷ TAS (o.J. c), S. 1; TAS (o.J. d), S. 2

¹⁴⁸ Elma Tech (2011)

6. Methodik der Anwenderbefragungen

In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise des empirischen Teils der Arbeit beschrieben. Die Varianten zur Künstlichen Lawinenauslösung, die in Kap. 5 erklärt wurden, sollen anhand einer geeigneten Forschungsmethode miteinander verglichen werden.

6.1. Empirische Forschung

6.1.1. Begriffsdefinition

„Unter Empirie (...) wird in der Wissenschaft eine im Labor oder im Feld durchgeführte Sammlung (oft Erhebung) von Informationen verstanden, die auf gezielten, systematisch verlaufenden Untersuchungen beruht.“¹⁴⁹

Im Gegensatz zu nicht-empirischen Wissenschaften, bei denen neue Erkenntnisse allein durch logische Zusammenhänge oder reines Nachdenken gewonnen werden (z.B. Mathematik oder Philosophie), werden bei empirischen Untersuchungen Experimente, Beobachtungen oder Befragungen durchgeführt.¹⁵⁰

Damit es sich bei empirischen Methoden um eine wissenschaftliche Technik und nicht um Alltagsbeobachtungen handelt, müssen gewisse Voraussetzungen erfüllt sein. Die Hauptkriterien empirischer Untersuchungen sind folgendermaßen festgelegt:¹⁵¹

- Objektivität: Die Ergebnisse dürfen sich bei Durchführung und Auswertung derselben Untersuchung durch verschiedene Personen nicht unterscheiden und müssen daher unabhängig vom Untersuchungsleiter sein.
- Reliabilität (Zuverlässigkeit): Wiederholungen von Untersuchung an gleichen Gegenständen und unter gleichen Bedingungen müssen zu gleichen Ergebnissen führen.

¹⁴⁹ Wikipedia (o.J. d)

¹⁵⁰ Vgl. Wikipedia (o.J. d)

¹⁵¹ Vgl. Stangl (o.J.)

- Validität (Gültigkeit): Dieses Kriterium legt den Grad der Genauigkeit fest, mit der das zu Untersuchende erfasst wird.

6.1.2. Hypothesen und Forschungsfragen

Den Ausgangspunkt jeder empirischen Forschung stellt eine wissenschaftliche Fragestellung dar. Vor Beginn der Forschung muss diese genau definiert und konkretisiert sein, um die Rahmenbedingungen für die Erhebung und die Auswertung festzulegen und die Ergebnisse nachvollziehbar zu machen.¹⁵²

Bei der Konkretisierung wissenschaftlicher Fragestellungen unterscheidet man zwischen Hypothesen und Forschungsfragen. Hypothesen sind Vermutungen, die durch Vorwissen oder gewisse Annahmen entstehen, und durch geeignete Forschungsmethoden verifiziert oder verworfen werden. Im Gegensatz dazu werden, meistens bei Fragestellungen, die nicht quantifiziert werden können, Forschungsfragen gestellt, die im Zuge der Erhebung und Auswertung beantwortet werden sollen. In dieser Arbeit werden zur Erreichung der wissenschaftlichen Fragestellung Forschungsfragen formuliert (siehe Kapitel 6.2.2.)¹⁵³

6.1.3. Stichprobe und Grundgesamtheit

Durch Definition der Hypothese oder der Forschungsfragen wird gleichzeitig auch die Grundgesamtheit festgelegt, auf die sich die Untersuchung bezieht. Eine wissenschaftliche Fragestellung behandelt meist Themen, von denen eine große Anzahl an Individuen betroffen ist.¹⁵⁴

Da die Aussagen dieser nicht alle erfasst werden können, muss eine geeignete Stichprobe ausgewählt werden. Generell gilt, dass diese Stichprobe repräsentativ für die Grundgesamtheit sein muss. Die Merkmale der Stichprobe müssen daher jenen der

¹⁵² Vgl. Ebster/Stalzer (2008), S. 143

¹⁵³ Vgl. Ebster/Stalzer (2008), S. 143

¹⁵⁴ Vgl. Mayer (2008), S.59

Grundgesamtheit entsprechen, um aussagekräftige Rückschlüsse ziehen zu können. Die Stichprobe stellt somit ein „verkleinertes Abbild der Grundgesamtheit“ dar.¹⁵⁵

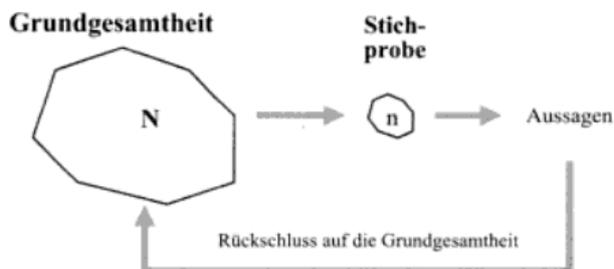


Abb. 6-1: Grundgesamtheit und Stichprobe (Quelle: Mayer (2008), S. 60)

Die Auswahl der Stichprobe kann zufallsgesteuert oder bewusst erfolgen. Eine zufallsgesteuerte Stichprobe ist schon aufgrund des Auswahlverfahrens repräsentativ. Bei der bewussten Auswahl von Individuen muss darauf geachtet werden, dass die Merkmale der Grundgesamtheit auch in der Stichprobe enthalten sind.¹⁵⁶

6.2. Wissenschaftliche Fragestellung

6.2.1. Zielsetzung der empirischen Untersuchung

In Österreich werden seit einigen Jahren verstärkt Methoden zur künstlichen Lawinenauslösung eingesetzt. Von einer Vielzahl an Herstellern werden immer neue Produkte entwickelt. Jede Methode hat klarerweise ihre Vor- und Nachteile. Bisher können aber keine generellen Aussagen darüber getroffen werden, welche aus einer Vielzahl an Varianten für bestimmte Zwecke die geeignetste ist.

Deshalb ist das Ziel der Arbeit, die Methoden genauer zu untersuchen und durch charakteristische Merkmale zu vergleichen. Es sollen dabei die Vor- und Nachteile jeder

¹⁵⁵ Vgl. Mayer (2008), S.60

¹⁵⁶ Vgl. Mayer (2008), S.60

Methode beachtet und durch die in Kap. 6.3. beschriebene Methode ein sinnvoller Vergleich geschaffen werden. Das Hauptaugenmerk liegt dabei bei der Anwendung der Methoden durch die Praktiker. Im nächsten Kapitel werden dazu die Forschungsfragen formuliert, die im Zuge der Arbeit beantwortet werden sollen.

6.2.2. Formulierung der Forschungsfragen

- Kann man eine Aussage darüber treffen, welche Methode der Künstlichen Lawinenauslösung zu welchen Zwecken am besten geeignet ist?
- Bewahrheiten sich die Vorteile, die von den Herstellern garantiert werden, bei der Anwendung durch die Praktiker?
- Gibt es Probleme bei der Anwendung von künstlicher Lawinenauslösung, die bis jetzt noch nicht erkannt wurden?

6.3. Experteninterviews anhand eines Fragebogens

6.3.1. Auswahl der Methodik

Bei der Wahl der Methode für die Datenerhebung wurde darauf geachtet, dass durch geeignete Auswahl die Zielsetzung erfüllt werden kann. Da es sich bei den Daten vorwiegend um die Handhabung der Systeme und dadurch entstandene Probleme in der Praxis handelt, wurde eine persönliche Befragung bevorzugt. Durch eine schriftliche Befragung (z.B. Fragebogen per Mail) könnten zwar Daten von einer größeren Stichprobe erhoben werden, die Qualität würde aber sinken. Bei Gesprächen mit den ausgewählten Personen kann man näher auf gewisse Fragestellungen eingehen und dadurch auch Hintergrundinformationen oder Begründungen erfahren. Dass die Zahl der Befragten geringer ist, stellt in diesem Fall kein Problem dar, weil die Befragten Experten auf ihrem Gebiet sind. Die Daten können als

qualitativ hochwertiger angesehen werden. Es wurde aber trotzdem darauf geachtet, dass die Stichprobe groß genug ist, um daraus sinnvolle Erkenntnisse gewinnen zu können.

Um die Daten der Befragten miteinander vergleichbar zu machen, wurde ein Fragebogen als Gesprächsgrundlage gewählt. Da die erhobenen Daten zum Großteil nicht quantifizierbar sind, handelt es sich vor allem um offene Fragen. Der Fragebogen wird im Gespräch beantwortet, allerdings kann auch bei Unklarheiten genauer nachgefragt werden. Er dient sozusagen als Leitfaden für das Gespräch und wird nicht nur der Reihe nach durchgegangen.

6.3.2. Auswahl der Stichprobe

Bevor die Stichprobe ausgewählt werden kann, müssen die Rahmenbedingungen und das Gebiet festgelegt werden, um eine Grundgesamtheit zu erhalten. Räumlich beschränkt sich die Erhebung und Auswertung auf österreichische Skigebiete. Künstliche Lawinenauslösung wird zwar auch zum Schutz von Verkehrswegen und Siedlungen verwendet, allerdings viel seltener und auch mit weniger Erfahrung.

Die Methoden der Künstlichen Lawinenauslösung, die miteinander verglichen werden, sind solche, die in Österreich weit verbreitet sind und schon länger zur Anwendung kommen. Über neuere oder weniger verbreitete Systeme werden die Experten nur am Rande befragt, da dadurch keine sinnvollen Erkenntnisse gewonnen werden können. Es handelt sich meist um Einzelerfahrungen, die nicht repräsentativ für die Grundgesamtheit sind. Interessante Details über neuere Methoden sollen aber auch, ohne jegliche Bewertung, erwähnt werden.

Folgende Methoden werden in der Befragung berücksichtigt:

- Handsprengung
- Ski cutting
- Wyssen-Sprengmast
- Gazex
- Lawinenwächter Inauen-Schätti
- Lawinenmast Inauen-Schätti
- Sprengseilbahnen
- Helikoptersprengung

Die Auswahl der Skigebiete, in denen die Befragungen durchgeführt werden, erfolgt nach zwei Gesichtspunkten. Einerseits sollen möglichst viele der oben genannten Methoden im jeweiligen Gebiet angewendet werden, andererseits sollen die Befragten genug Erfahrung mit diesen aufweisen. Dankenswerterweise sendeten die betroffenen Firmen Bestandslisten, wo ihre Produkte zum Einsatz kommen. Dadurch konnte die Auswahl erleichtert werden.

Die Befragungen wurden in insgesamt 12 Skigebieten bei folgenden Liftgesellschaften durchgeführt:

Obertauern Seilbahn GmbH & Co KG
Gasteiner Bergbahnen AG
Gletscherbahnen Kaprun AG
Berg- und Skilift Hochsöll GmbH & Co KG
Seilbahn Komperdell GmbH (Serfaus)
Silvretta Montafon Bergbahnen AG (St. Gallenkirch)
Ötztaler Gletscherbahn GmbH & Co KG (Sölden)
Bergbahnen Silvretta Galtür GmbH & Co KG
Silvretta Seilbahn AG (Ischgl)
Ski Zürs AG
Rüfikopf-Seilbahn AG (Lech)
Arlberger Bergbahnen AG (St. Anton)

6.3.3. Durchführung der Erhebung

Zur Durchführung der Erhebung wurde ein Fragebogen erstellt, anhand dessen die Befragung gesteuert wurde. Er gliedert sich in 14 Punkte bzw. Fragen, wobei die meisten davon Detailfragen beinhalten. Es handelt sich zum Großteil um offene Fragen. Der Fragebogen befindet sich im Anhang.

Bei der Erstellung wurde darauf geachtet, dass die Fragen klar und deutlich formuliert sind, damit bei der Befragung keine Missverständnisse entstehen können. Außerdem wurde auf die Reihung der Fragen geachtet. Diese wurde so vorgenommen, dass er mit allgemeinen Fragen beginnt und danach immer mehr ins Detail gehen soll. Vor der Erhebung wurde eine

Pretest-Phase durchgeführt. Der Fragebogen wurde von einigen Personen, die Erfahrung auf diesem Gebiet haben, kontrolliert und danach wurden noch einige Änderungen vorgenommen.

Die Befragungen wurden zwischen 10. und 22. März jeweils vor Ort im jeweiligen Skigebiet durchgeführt. Das Gespräch dauerte zwischen 30 und 60 Minuten, abhängig davon wie viele Sprengmethoden angewendet werden und welche Probleme vorhanden sind. Alle Befragten erklärten sich sehr gesprächsbereit und gaben detailliert Auskunft. Auf den Fragebögen wurden die Antworten bzw. Zusatzbemerkungen notiert und für die Auswertung gesammelt.

6.4. Auswertung der Ergebnisse

Zur Auswertung der erhobenen Daten werden bestimmte Parameter festgelegt, anhand deren der Vergleich der verschiedenen Methoden durchzuführen ist. Diese Parameter enthalten sowohl positive als auch negative Effekte der einzelnen Methoden, damit die Fragestellungen beantwortet werden können und Vor- bzw. Nachteile erkennbar werden.

Im Konkreten werden folgende Parameter festgelegt:

- Wirkung der Methode
- Häufigkeit der Blindgänger
- Dauer eines Sprengvorgangs
- Variabilität des Sprengpunkts
- Technische Störungen (Totalausfälle, kleinere Störungen)
- Eignung für Nassschneelawinen
- Personalbedarf
- Wetterabhängigkeit
- Nachladen der Anlage
- Lawinengefahr
- Gefahr durch Sprengstoff

Verglichen werden alle in Kap. 6.3.2. festgelegten Methoden der Stichprobe. Anhand einer fünfstufigen Skala wird jede Methode in Bezug auf jeden Parameter bewertet. Folgende Skala wurde gewählt:

++	Sehr günstig
+	Günstig
+/-	Ausgeglichen
-	Ungünstig
--	Sehr ungünstig

Tab. 6-1: Skalenfestlegung für die Bewertung der Parameter

Für jeden Parameter werden jeweils Bereiche (im Falle von metrischen Daten) oder Zuordnungen zu einer gewissen Kategorie festgelegt. Die Bewertungen werden dann in einer gemeinsamen Matrix dargestellt.

Um quantitativen Schätzungen eines Parameters einen Wert zuzuordnen, wurden je nach Art der Daten unterschiedliche Methoden angewandt:

- **Bildung des arithmetischen Mittels:** Die Annahme besteht darin, dass sich die Daten der Erhebung gleichmäßig um den „wahren“ Wert verteilen. Durch Mittelwertbildung wird eine, abhängig vom Stichprobenumfang, möglichst genaue Schätzung des tatsächlichen Werts vorgenommen.
- **Erstellung von Box-Plots:** Bei großer Streuung der Daten ist das arithmetische Mittel nur bedingt aussagekräftig, daher eignet sich eine Darstellung des gesamten Bereichs besser. In Box-Plots sind der Minimal- und der Maximalwert der Stichprobe durch Striche dargestellt, die Box wird durch die beiden Quartile Q25 und Q75 (25 bzw. 75% aller Daten sind kleiner als dieser Wert) begrenzt und innerhalb dieser wird der Median eingezeichnet.

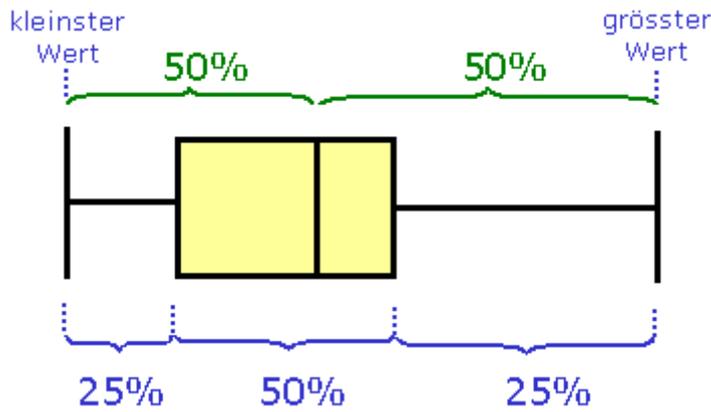


Abb. 6-2: Beispiel eines Boxplots (Quelle: MESOSworld (o.J.))

- **Regressionsanalyse:** Zur Darstellung der Zusammenhänge zwischen zwei Datenreihen wurde eine lineare Regressionsanalyse gewählt. Dabei wird eine lineare Funktion ermittelt, die die Summe der Quadrate der Fehler aller Daten minimiert. Zum Einsatz kommt diese Methode bei einer Variablen, die im Zusammenhang mit einer anderen betrachtet werden muss, um aussagekräftig zu sein.

Neben diesen Parametern soll auch untersucht werden, wie die Standortwahl der verschiedenen Methoden der Künstlichen Lawinenauslösung erfolgen soll. Diese Fragestellung bezieht sich klarerweise nur auf fix installierte Systeme. Die Experten wurden gefragt, ob sie mit gewissen Standorten unzufrieden sind bzw. ob sie manche Systeme an gewissen Standorten bevorzugen würden. Die Aussagen sollen ebenfalls zusammenfassend in einer Matrix dargestellt werden, wobei die gleiche Skala verwendet wird. Mit einem Punktesystem wird die Häufigkeit der Aussagen bewertet.

7. Auswertung der erhobenen Daten

7.1. Allgemeines

Die Befragungen wurden in insgesamt 12 Skigebieten durchgeführt. In all diesen Skigebieten werden mindestens zwei der zu vergleichenden Methoden eingesetzt und in ausreichendem Maße Sprengungen durchgeführt, um aussagekräftige Antworten zu den Problemstellungen geben zu können. In Tabelle 7-1 sind die Methoden nach der Anzahl der Skigebiete, in denen sie jeweils verwendet werden, angegeben.

Methode	Anzahl der Skigebiete	% der Skigebiete
Handsprengung	12	100
Ski cutting	7	58
Wyssen-Sprengmast	7	58
Gazex	10	83
Lawinenwächter Inauen-Schätti	4	33
Lawinenmast Inauen-Schätti	3	25
Sprengseilbahn	7	58
Helikopter-Sprengung	7	58

Tab. 7-1: Anwendung der einzelnen Methoden nach ausgewerteten Skigebieten

Im Zuge der Befragung wurden die Sprengexperten jedes Skigebiets gefragt, welche Methode in ihrem Gebiet am häufigsten zur Anwendung kommt. Teilweise waren auch Doppelnennungen vorhanden, wenn zum Beispiel die Hälfte des Gebiets mit Handsprengungen abgedeckt wird und der abgelegene Teil mit einer bestimmten fixen Methode. Diese Situation kommt in den Skigebieten häufiger vor. Tabelle 7-2 gibt Aufschluss darüber, in wie vielen der Skigebiete eine bestimmte Methode die am meisten verwendete/eine der beiden meist verwendeten ist.

Methode	Anzahl der Skigebiete, in denen diese am häufigsten verwendet wird	Prozentuell in Bezug auf die Anzahl der Skigebiete, in denen sie verwendet wird
Handsprengung	7	58,33 %
Ski cutting	0	0,00 %
Wyssen-Sprengmast	1	14,29 %
Gazex	4	40,00 %
Lawinenwächter Inauen-Schätti	0	0,00 %
Lawinenmast Inauen-Schätti	0	0,00 %
Sprengseilbahn	1	14,29 %
Helikopter-Sprengung	4	57,14 %

Tab. 7-2: am häufigsten eingesetzte Methoden der jeweiligen Skigebiete nach Anzahl der Sprengungen

Handsprengung und Helikoptersprengungen sind mit Abstand die meist eingesetzten Methoden. Begründet wurde diese vor allem mit der Flexibilität, die in großen Skigebieten einen entscheidenden Vorteil bringt. Daneben werden auch Gazex-Anlagen sehr häufig eingesetzt. In jeweils einem Skigebiet sind der Wyssen-Sprengmast und die Sprengseilbahn die am meisten verwendete Methode.

In Punkt 2 des Fragebogens wurde ermittelt, welche Bereiche durch Künstliche Lawinenauslösung abgedeckt werden:

Bereich	Anzahl der Skigebietsbetreiber, die diesen Bereich sichern
Pisten/Skirouten	12
Varianten	6
Straßen/Einzelobjekte	6

Tab. 7-3: Sicherung verschiedener Bereiche durch Künstliche Lawinenauslösung

Man sieht, dass neben Pisten und Skirouten, die in der Verantwortung der zuständigen Lawinenkommission stehen, auch andere Bereiche gesichert werden. Die Hälfte der Befragten gab an, auch einige Varianten zu sichern. Dies sind vor allem solche Varianten, die

viel befahren werden oder in der Nähe von Pisten liegen. Ebenfalls die Hälfte der Befragten sichert auch Straßen oder Einzelobjekte, die im oder unmittelbar neben dem Skigebiet liegen. Zwei der Befragten stehen der Gemeinde beratend zur Seite, die die Sicherung des Ortsgebiets vornehmen muss.

Punkt 3 des Fragebogens befasste sich mit den Kriterien, durch die von den Experten beschlossen wird, dass eine Sprengung notwendig ist (wobei Mehrfachnennungen möglich waren).

Wetter	11	91,67	%
einfach probieren	4	33,33	%
Schneedeckentests	4	33,33	%
Fixe Sprengrouten	3	25,00	%
Lawinenlagebericht	2	16,67	%
Erfahrung	1	8,33	%

Tab. 7-4: Kriterien, die entscheiden, ob eine Sprengung nötig ist

Fast alle Experten geben an, dass das Wetter ausschlaggebend ist und dieses genau beobachtet wird. Daneben gibt es aber auch einige, die nach einem Schneefall einfach probieren, ob Sprengungen erfolgreich sind oder fixe Sprengrouten haben, die prinzipiell abgefahren werden. 4 der 12 Befragten geben an, dass sie Schneedeckentests machen, um über die aktuelle Situation Bescheid zu wissen und 2 der 12 Befragten nennen den Lawinenlagebericht als wichtige Entscheidungsgrundlage. Einer gibt an, dass die Erfahrung eine wichtige Rolle spielt.

Der Zeitpunkt der Sprengungen ist durchgehend in der Früh, bevor das Skigebiet geöffnet wird. Je nach Gebietsgröße und Öffnungszeiten wird zwischen 5:30 und 8:00 Uhr mit den Sprengarbeiten begonnen. In speziellen Fällen kommt es vor, dass Sprengungen am Nachmittag oder Abend durchgeführt werden, weil sie in der Früh noch nicht möglich sind. Nach den Aussagen der Experten ist dies nur bis zu 20 Mal pro Saison erforderlich. Die Gründe dafür sind, dass vorher kein Flugwetter herrscht oder Nassschneelawinen am Nachmittag besser gesprengt werden können.

7.2. Erfassung der Parameter

7.2.1. Wirkung der Methoden

Der Wirkungsradius einer Sprengung ist theoretisch abhängig von der Ladungsgröße und der Sprengpunkthöhe. In Tabelle 7-5 sind die theoretischen Wirkungsradien der einzelnen Methoden aufgelistet, die aus Tabelle 4-1 berechnet wurden. Die Schwankungsbreite ergibt sich durch die Verwendung unterschiedlicher Ladungsgrößen bzw. Sprengpunkthöhen.

	Sprengpunkthöhe	Ladungsgröße [kg]	Maximaler Wirkungsradius [m]
Handsprengung	Oberfl./Überschn.	1 – 2,5	35 -70
Wyssen-Sprengmast	Überschneespr.	5	80 – 130
Gazex			50 – 120
Lawinenwächter Inauen-Schätti	Oberflächenspr.	2,7 – 5,4	40 – 60
Lawinenmast Inauen- Schätti	Überschneespr.	2,7 – 5,4	70 – 130
Sprengbahn	Oberfl./Überschn.	2,5 - 5	40 – 90
Helikopter	Oberflächenspr.	2,5 - 5	40 - 60

Tab. 7-5: Maximale theoretische Wirkungsradien (berechnet aus Stoffel (2001), S.13; Gubler u.a. (2011), S. 22)

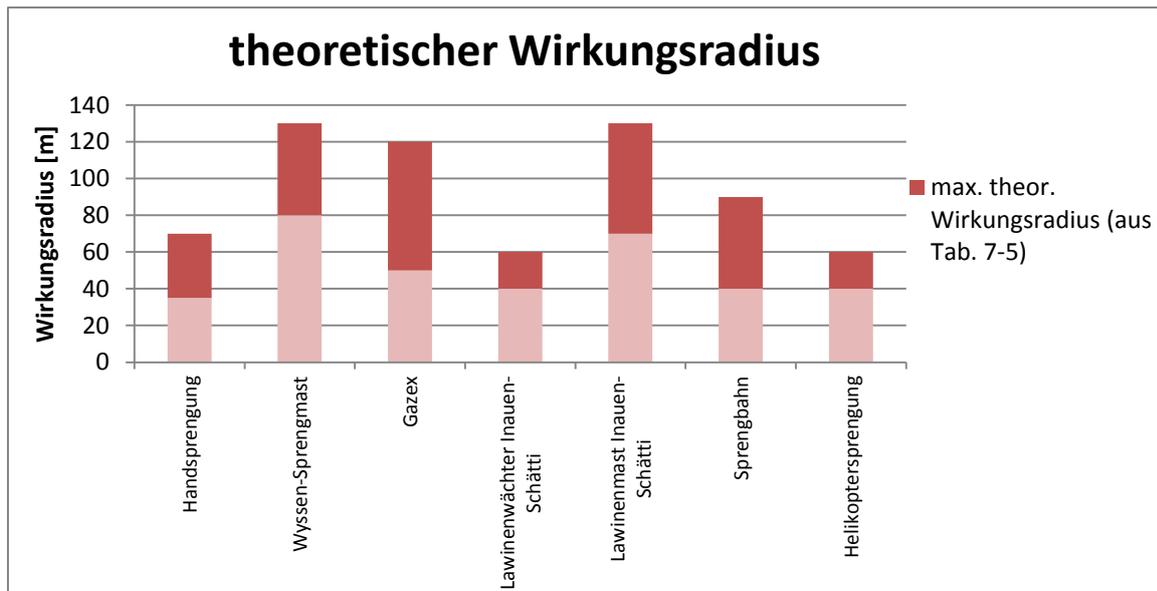


Abb. 7-1: Theoretische Wirkungsradien der einzelnen Methoden

Die Wirkungsradien der fix installierten Methoden wurden im Zuge der Befragung ermittelt. Dabei sollten die Experten eine Schätzung abgeben, die in ihrem Gebiet zutrifft. Je nach Standort einer Anlage kann es zu unterschiedlichen Radien kommen, da diese auch vom vorhandenen Gelände abhängen. Bei den Schätzungen ergab sich eine sehr große Streuung, weshalb diese durch Box-Plots dargestellt werden.

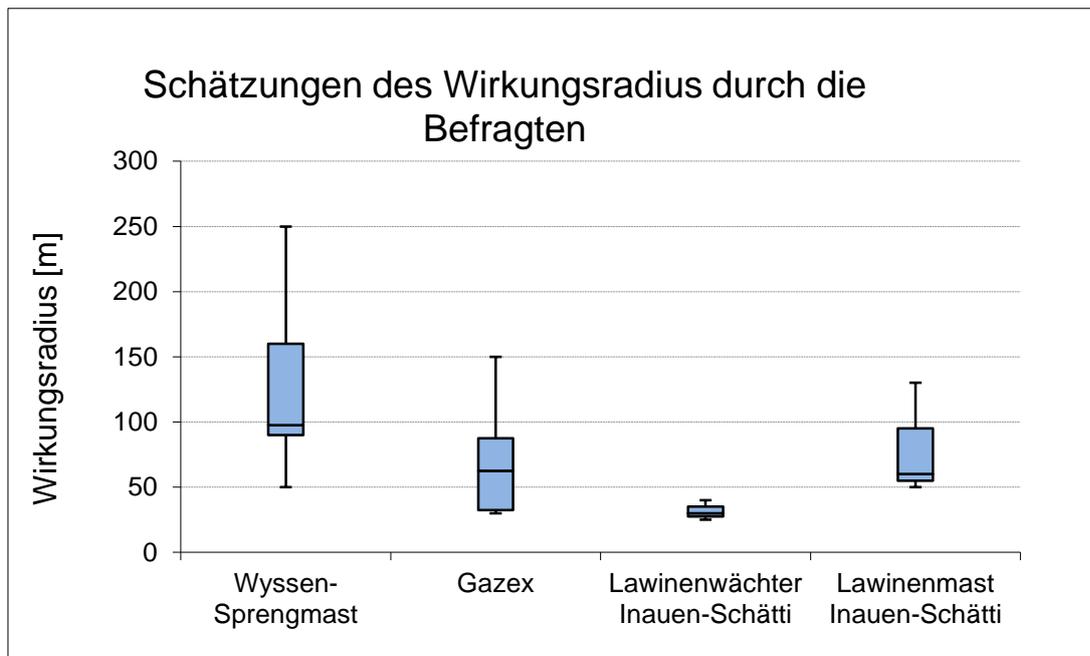


Abb. 7-2: Schätzungen der Wirkungsradien fix installierter Methoden

Man erkennt vor allem beim Wyssen-Sprengmast und auch beim Lawinenmast von Inauen-Schätti große Abweichungen nach oben. Die vermutliche Überschätzung des Radius durch die Lawinen-Sprengexperten führt dazu, dass der Mittelwert nicht aussagekräftig wäre. Bei Gazex-Anlagen besteht eine Schwankungsbreite, die aber mit der Verwendung vier verschiedener Rohrgrößen zu erklären ist. Bei den Befragten wurden alle Größen von 0,8 – 4,5 m³ verwendet, eine Differenzierung des Radius abhängig von der Größe war allerdings nicht möglich. Ziemlich genaue Schätzungen wurden beim Lawinenwächter von Inauen-Schätti getätigt.

Beim Vergleich der „boxes“ (=Abstand zwischen dem unteren und dem oberen Quartil) mit den theoretischen Wirkungsradien gibt es keine komplette Übereinstimmung. Beim Wyssen-Sprengmast überschneiden sich die Bereiche, die Schätzungen der Befragten geben aber um einiges höhere Werte an. Bei Gazex-Anlagen und dem Lawinenmast von Inauen-Schätti gibt es ebenfalls eine Überschneidung, allerdings sind die Werte der Experten in Summe kleiner. Für den Wirkungsradius vom Lawinenwächter geben die Befragten deutlich kleinere Werte als theoretisch angenommen an.

Der Median liegt bei allen Methoden eher im unteren Bereich. Daher kann angenommen werden, dass die Maximalwerte als Ausreißer zu betrachten sind. Für die Bewertung dieses Parameters wurden deshalb die Mediane herangezogen. Bei allen anderen Methoden wurden die Bereiche des theoretischen Radius mit den Bereichen der Bewertungsskala verglichen. Der Bereich, der am besten übereinstimmt, wurde gewählt.

Alle Methoden, die mit Sprengstoffen arbeiten, besitzen einen kreisförmigen Wirkungsradius, das heißt der Wirkungsradius ist in alle Richtungen um den Detonationspunkt gleich (auch nach oben). Dies wurde auch von den Befragten bestätigt. Bei Gazex-Anlagen gilt der angegebene Radius nur nach unten, seitlich ist eine Wirkung in abgeschwächter Form vorhanden, nach oben zeigt sich keine Wirkung. 8 der 10 Betreiber von Gazex-Anlagen bestätigten das, weshalb die Bewertung der Gazex-Anlagen eine Stufe herabgesetzt wird.

Wirkungsradius		Bewertungsschlüssel	
Handsprengung	+/-	--	unter 20 m
Ski cutting	--	-	20 - 39 m
Wyssen-Sprengmast	++	+/-	40 - 59 m
Gazex	+/-	+	60 - 79 m
Lawinenwächter Inauen –Schätti	-	++	über 80 m
Lawinenmast Inauen-Schätti	+		
Seilbahnsprengung	+		
Helikoptersprengung	+/-		

Tab. 7-6: Bewertung der Wirkungsradien der Sprengmethoden

7.2.2. Blindgänger

Zur Ermittlung der Blindgänger wurden Durchschnittswerte in Bezug auf jede Methode angegeben, wie viele davon es pro Jahr gibt. Mit Hilfe der Gesamtzahl der Sprengungen wurden Prozentwerte berechnet, die dann gemittelt wurden. In Abbildung 7-3 sind die Mittelwerte dargestellt. Man kann erkennen, dass alle Werte unter 1 % liegen, daher kann man sagen, dass Blindgänger grundsätzlich selten sind und kein wesentliches Problem darstellen.

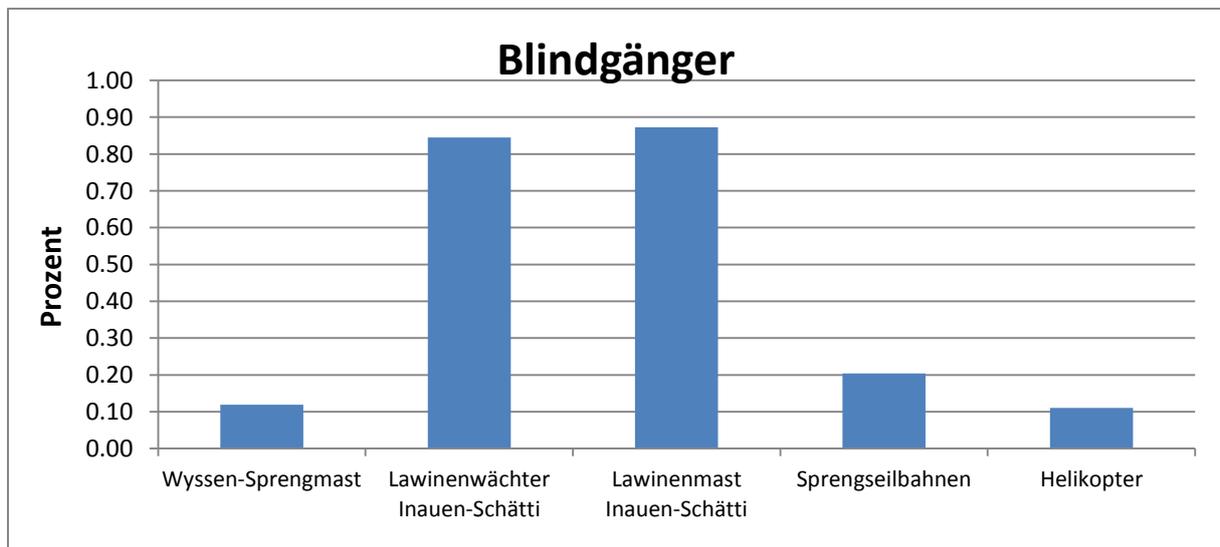


Abb. 7-3: Mittelwerte der vorhandenen Blindgänger

Zur Bewertung wurden trotzdem Abstufungen vorgenommen, um eine Differenzierung der einzelnen Methoden zu erreichen. Für Methoden, bei denen keine Blindgänger möglich sind (Gazex und Ski cutting), wurde der Höchstwert vergeben.

Blindgänger		Bewertungsschlüssel	
Handsprengung	k.A.	- -	über 1,5 %
Ski cutting	++	-	1 – 1,5 %
Wyssen-Sprengmast	+	+/-	0,5 - 1 %
Gazex	++	+	unter 0,5 %
Lawinenwächter Inauen –Schätti	+/-	++	keine
Lawinenmast Inauen-Schätti	+/-		
Seilbahnsprengung	+		
Helikoptersprengung	+		

Tab. 7-7: Bewertung der Blindgänger nach Sprengmethoden

Das Zurückholen der Blindgänger ist vor allem bei Helikopter-Sprengungen schwierig, da diese eventuell in schwer zugänglichem Gelände liegen könnten. 5 von 7 Experten statten ihre Ladungen mit Recco-Reflektoren aus, um diese leichter wieder finden zu können und bergen diese entweder per Hand oder mit dem Helikopter an einem Tau. Einer der Befragten gibt an, dass in diesem Gebiet eine zweite Ladung an derselben Stelle hinuntergeworfen wird, wodurch die erste mitdetoniert. Prinzipiell werden aber laut Aussagen der Experten alle Blindgänger zurückgeholt.

7.2.3. Dauer eines Sprengvorgangs

Die Dauer eines Sprengvorgangs vom Einleiten der Sprengung bis zur tatsächlichen Auslösung wurde für Wyssen-Sprengmast, Gazex-Anlagen und Lawinenmast/-wächter von Inauen-Schätti von allen Befragten angegeben. Aus diesen Werten wurde das arithmetische Mittel gebildet. Die Werte zeigen, dass eine Auslösung mit diesen Systemen grundsätzlich unter 5 Minuten durchgeführt werden kann, was schon einen erheblichen Vorteil gegenüber den Methoden, die vor Ort stattfinden, bringt.

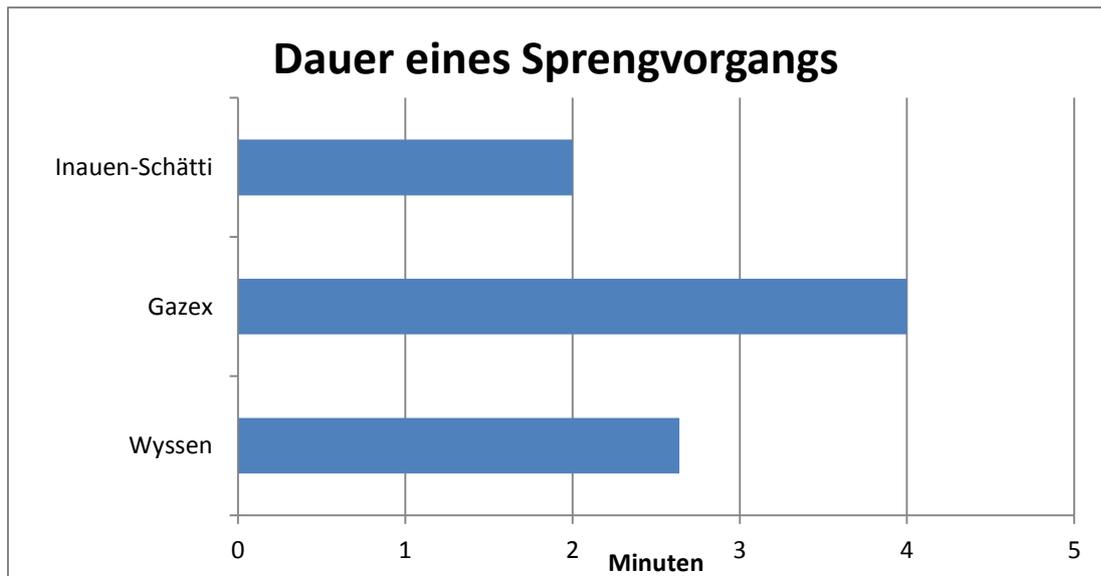


Abb. 7-4: Mittelwerte der Dauer eines Sprengvorgangs

Die Bewertung wurde anhand dieser Werte vorgenommen. Für die übrigen Methoden wurden grundsätzliche Überlegungen angestellt. Die Anfahrt zu jedem Sprengpunkt bei Handsprengungen bzw. beim Ski cutting stellen erhebliche Zeitverzögerungen dar. Ebenso muss die einmalige Anfahrt zur Station einer Sprengseilbahn und die Anfahrt mit der Ladung zum Sprengpunkt berücksichtigt werden, die je nach Lage auch Zeiteinbußen hervorruft. Bei Helikoptersprengereinsätzen sind zwar Wartezeiten auf den Hubschrauber und die Anflugzeit etwas zeitaufwendig, jedoch können innerhalb weniger Minuten mehrere Sprengungen durchgeführt werden. Die Befragung ergab, dass durchschnittlich 60 Sprengungen pro Helikoptereinsatz verrichtet werden. Deshalb ist die etwas längere Anlaufzeit in Summe nicht aussagekräftig. Außerdem gaben 5 der 7 Experten, die Helikoptersprengung verwenden, an, dass diese Methode sehr viel Zeitersparnis bringt.

Um den Faktor Zeit bewerten zu können, muss man bei den standortfesten Methoden auch beachten, ob die Sprengung bei mehreren Anlagen derselben Art gleichzeitig möglich ist oder ob Wartezeiten entstehen. Grundsätzlich kann beim Wyssen-Sprengmast, bei Gazex-Anlagen und bei Systemen der Firma Inauen-Schätti eine zweite Sprengung erst nach Vollendung der ersten Sprengung eingeleitet werden. Das heißt, es muss auch bei mehreren Sprengungen die volle Dauer aus Abbildung 7-4 berücksichtigt werden. Bei Sprengungen im gleichen Zündrohr einer Gazex-Anlage muss 10 bis 15 Minuten gewartet werden, bevor

dieses nochmals gezündet werden kann. Da dies jedoch eher selten der Fall ist, stellt es keinen erheblichen Nachteil dar.¹⁵⁷

Dauer einer Sprengung			
Handsprengung	-		
Ski cutting	-		
Wyssen-Sprengmast	+		
Gazex	+		
Lawinenwächter Inauen –Schätti	+		
Lawinenmast Inauen-Schätti	+		
Seilbahnsprengung	+/-		
Helikoptersprengung	+		
		Bewertungsschlüssel	
		-	Anfahrt zu jedem Punkt
		+/-	Über 5 min/Sprengung
		+	Unter 5 min/Sprengung

Tab. 7-8: Bewertung der Dauer eines Sprengvorgangs nach Sprengmethoden

7.2.4. Variabilität der Sprengpunkte

Die Variabilität eines Systems bezieht sich hauptsächlich auf die Anzahl der Sprengpunkte, die damit erreicht werden können. Dieser Punkt war nicht Teil der Befragung, wird jedoch der Vollständigkeit halber trotzdem in die Bewertung aufgenommen. Fix installierte Methoden, die die Ladung abwerfen, oder Gazex-Anlagen können nur einen Punkt bzw. eine Rinne erreichen. Vom Lawinenwächter können theoretisch bis zu vier Punkte eingeschossen werden. Inauen-Schätti bietet auch Anlagen an, die Wächter und Mast verbinden, das heißt es können aus derselben Anlage Ladungen abgeseht und hinausgeschossen werden. Dadurch können laut Aussagen der Experten zwei Standorte zu einem vereint werden, da der andere durch das Schießen der Ladungen erreicht wird. Bei Sprengseilbahnen werden die Punkte je nach Länge und Gebiet unterschiedlich ausgewählt. Im Durchschnitt sind in den ausgewählten Gebieten rund 7 Sprengpunkte pro Bahn eingemessen worden. Für Handsprengungen und Ski cutting sind alle zugänglichen Punkte möglich, für Helikoptersprengung theoretisch alle Punkte.

¹⁵⁷ Vgl. Stoffel (2012), S. 6

Variabilität der Sprengpunkte			
Handsprengung	+		
Ski cutting	+		
Wyssen-Sprengmast	--		
Gazex	--		
Lawinenwächter Inauen –Schätti	-		
Lawinenmast Inauen-Schätti	--		
Seilbahnsprengung	+/-		
Helikoptersprengung	++		
		Bewertungsschlüssel	
		--	1 Sprengpunkt
		-	1 - 5 Sprengpunkte
		+/-	> 5 Sprengpunkte
		+	überall wo zugänglich
		++	im ganzen Gebiet

Tab. 7-9: Variabilität der Sprengpunkte nach Sprengmethoden

7.2.5. Technische Probleme

Die Befragung nach den technischen Problemen bzw. Totalausfällen bezog sich einerseits auf die Häufigkeit und andererseits auf die Art der Probleme. Die Häufigkeit wurde in vier Kategorien (nie, alle 2 – 5 Jahre, jedes Jahr, mehrmals pro Jahr) unterteilt. Die Kategorie „mehrmals pro Jahr“ wurde nie ausgewählt. Die Kategorien wurden in Werte „Anzahl der technischen Probleme pro Jahr“ umgewandelt (nie = 0; 2 – 5 Jahre = 0,5; jedes Jahr = 1). In Abhängigkeit der Anzahl der Sprengungen konnte ein linearer Zusammenhang erkannt werden, der mittels Regressionsanalyse geschätzt wurde.

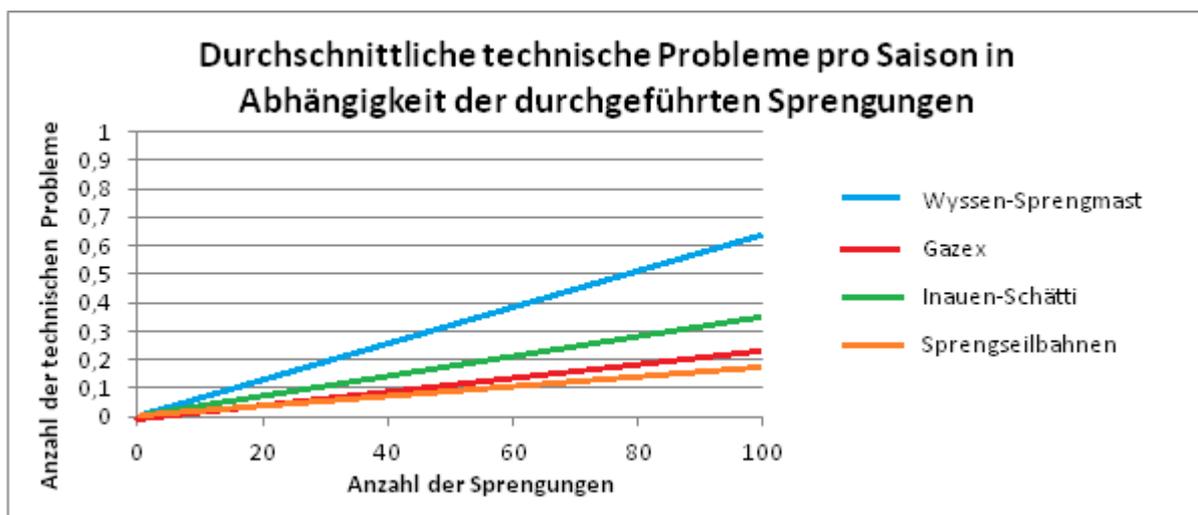


Abb. 7-5: Anzahl der technischen Probleme pro Jahr in Abhängigkeit der Anzahl der durchgeführten Sprengungen

In Abbildung 7-5 sind die Regressionsgeraden der Methoden dargestellt. Es ist zu erkennen, dass technische Probleme relativ selten auftreten. In der Grafik stellt der Wert 1 auf der vertikalen Achse genau eine Störung dar. Dieser Wert wird bei keiner der Methoden in der Darstellung bis 100 Sprengungen erreicht. Das bedeutet, man kann normalerweise 100 Sprengungen mit einem System durchführen ohne jegliches technische Problem. An dem Anstieg der Geraden erkennt man, dass beim Wyssen-Sprengmast die meisten (wenn auch trotzdem sehr wenige) Probleme auftreten und bei Sprengseilbahnen die wenigsten. Zur Bewertung wurde der theoretische Wert herangezogen, der die durchschnittlichen Probleme pro 100 Sprengungen angibt. Bei den nicht dargestellten Methoden ist grundsätzlich keine technische Störung möglich.

Häufigkeit der technischen Probleme		Bewertungsschlüssel	
Handsprengung	++	--	über 1,5 Störungen/100 Sprengungen
Ski cutting	++	-	1 – 1,5 Störungen/100 Sprengungen
Wyssen-Sprengmast	+/-	+/-	0,5 – 1 Störungen/100 Sprengungen
Gazex	+	+	unter 0,5 Störungen/100 Sprengungen
Lawinenwächter Inauen –Schätti	+	++	keine techn. Störung möglich
Lawinenmast Inauen-Schätti	+		
Seilbahnsprengung	+		
Helikoptersprengung	++		

Tab. 7-10: Bewertung der Häufigkeit der technischen Probleme nach Sprengmethoden

Bezüglich der Art der Probleme wurden lediglich kleinere Störungen genannt. Es kam zu keinen Totalausfällen oder Problemen des Systems, die über einen längeren Zeitraum gingen. Nicht-systemabhängige Probleme traten allerdings in einigen Gebieten durch eine schlechte Funkverbindung bzw. Störfrequenz auf, was aber nicht in den Bereich der Verantwortlichen fällt.

7.2.6. Eignung für Nassschneelawinen

Ob ein gewisses System für Nassschneelawinen besonders oder gar nicht geeignet ist, wurde dadurch überprüft, dass dieses mit dem Sprengerfolg und dem Sprengzeitpunkt verglichen

wurde. In Tabelle 7-7 sind Aussagen über erfolgreiche und nicht erfolgreiche Sprengungen gegenübergestellt.

ERFOLGREICH			WENIGER ERFOLGREICH		
System	Erfolg	Zeitpunkt	System	Erfolg	Zeitpunkt
Ski Cutting, Hand, Bahn	ja	Sonne weg	Hand	selten	Nachmittag, Abend
Gazex, Hubschrauber	ja	Sonne weg	Hand	selten	Nachmittag
alle	ja	verschieden, laufende Untersuchung	alle	nein	wenn Sonne dort ist
alle	ja	nach Sonneneinstrahlung	Hand	nein	Abend
Hubschrauber	ja	Sonne weg	Sprengbahnen	nein	Früh
			Hand, Bahn	nein	Vormittag, Nachmittag
			Hand	nein	Früh

Tab. 7-11: Erfolgsquote der Nassschneelawinen in Abhängigkeit der Sprengmethode und des Sprengzeitpunkts

Die Erfolgsquote zeigt keine signifikante Systemabhängigkeit. Vielmehr verdeutlicht sie, dass der richtige Zeitpunkt bei der Sprengung entscheidend ist. Erfolgreiche Sprengungen wurden immer am Nachmittag, unmittelbar nachdem keine direkte Sonneneinstrahlung mehr auf den betroffenen Hang stattfand, durchgeführt. Sprengungen am Morgen oder bei direkter Sonneneinstrahlung sind weniger erfolgreich. Da kein direkter Zusammenhang mit der verwendeten Methode besteht, wird dieser Parameter nicht in die Bewertung aufgenommen.

7.2.7. Personalbedarf

Der Personalbedarf wurde in der Befragung nicht direkt ermittelt, aber es konnte aufgrund positiver bzw. negativer Aussagen interpretiert werden, ob dies eine Rolle bei der Auswahl einer Methode spielt. Grundsätzlich besteht bei fix installierten Methoden ein sehr geringer, bei Helikopter- und Seilbahnsprengungen ein etwas höherer und bei Handsprengungen und Ski cutting ein hoher Personalbedarf. Dies gab jedoch nur ein Befragter bei der Frage nach den Nachteilen der Handsprengung an. Die restlichen dürften damit kein Problem haben bzw. ist das Personal vermutlich sowieso vorhanden.

Eine generelle Bewertung erfolgt in diesem Punkt nur in drei Kategorien, da nicht genauer differenziert werden kann.

Personalbedarf			
Handsprengung	-		
Ski cutting	-		
Wyssen-Sprengmast	+		
Gazex	+		
Lawinenwächter Inauen –Schätti	+		
Lawinenmast Inauen-Schätti	+		
Seilbahnsprengung	+/-		
Helikoptersprengung	+/-		
		Bewertungsschlüssel	
		-	hoher Personalbedarf
		+/-	mittlerer Personalbedarf
		+	geringer Personalbedarf

Tab. 7-12: Bewertung des Personalbedarfs nach Sprengmethoden

7.2.8. Wetterabhängigkeit

Die Wetterabhängigkeit wurde ebenfalls nicht direkt in den Befragungen ermittelt, sondern es wurden logische Überlegungen angestellt. Helikoptersprengungen können nur bei Flugwetter durchgeführt werden, weshalb bei Wahl dieser Methode die momentane Witterung eine sehr große Rolle spielt. Sprengmethoden, bei denen man zur Durchführung einer Sprengung vor Ort sein muss, sind bei schlechtem Wetter schwieriger und mühsamer, aber grundsätzlich möglich. Die Bewertung kann an dieser Stelle auch nur in drei Kategorien erfolgen.

Wetterabhängigkeit			
Handsprengung	+/-		
Ski cutting	+/-		
Wyssen-Sprengmast	+		
Gazex	+		
Lawinenwächter Inauen –Schätti	+		
Lawinenmast Inauen-Schätti	+		
Seilbahnsprengung	+/-		
Helikoptersprengung	-		
		Bewertungsschlüssel	
		-	sehr wetterabhängig
		+/-	bedingt wetterabhängig
		+	nicht wetterabhängig

Tab. 7-13: Bewertung der Wetterabhängigkeit nach Sprengmethoden

Bei den Befragungen nannten 6 von 12 als Vorteil von fix installierten Methoden, dass diese bei jedem Wetter durchgeführt werden können, und 2 von 12, dass man nicht ins Gebiet muss, um eine Sprengung durchzuführen. Jedoch gaben auch 4 von 12 an, dass Handsprengungen bei jedem Wetter durchgeführt werden können.

7.2.9. Nachladen der Anlage

Der Nachladen kann während der Saison oder, falls die Ladungen oder Gasbehälter für die ganze Saison reichen, nur einmal im Sommer erfolgen. Mehr als die Hälfte der Befragten müssen während der Saison, teilweise auch mehrmals, nachladen. Grundsätzlich gibt es dabei laut den Experten keine größeren Probleme. Beim Nachladen eines Wyssen-Sprengmast muss der Magazinkasten per Helikopter weggeflogen werden, daher muss Flugwetter herrschen und es kann nicht zu jedem Zeitpunkt erfolgen. Bei Betreibern der Anlagen von Inauen-Schätti nannten zwei der fünf Befragten, dass das Nachladen viel Zeit in Anspruch nimmt. Die Betreiber von Gazex-Anlagen gaben keine Probleme beim Tauschen der Gasbehälter an.

Probleme beim Nachladen			
Handsprengung	k.A.		
Ski cutting	k.A.		
Wyssen-Sprengmast	+/-		
Gazex	+		
Lawinenwächter Inauen –Schätti	+/-		
Lawinenmast Inauen-Schätti	+/-		
Seilbahnsprengung	k.A.		
Helikoptersprengung	k.A.		
		Bewertungsschlüssel	
		-	problematisch
		+/-	kleine Probleme
		+	keine Probleme

Tab. 7-14: Bewertung der Probleme des Nachladens nach Sprengmethoden

7.2.10. Lawinengefahr

Lawinengefahr für das Personal besteht bei allen Methoden, bei denen Personen vor Ort sind. In den Befragungen wurde nicht explizit auf das Thema eingegangen, jedoch wurde nach Unfällen in Zusammenhang mit Handsprengungen und Ski cutting gefragt. Zwei der Befragten gaben an, in ihrem Gebiet (allerdings schon Jahre früher) einen Lawinenunfall

gesehen zu haben, der im Zuge einer Handsprengung passiert war. Beim Ski cutting passiere es öfters, dass Personen mitrutschen, aber verschüttet wurde in den letzten Jahren keiner. Bei den Nachteilen einer Handsprengung gab die Mehrheit an, dass die Lawinengefahr schon ein Thema ist, warum auf fixe Methoden umgestiegen wird.

Lawinengefahr			
Handsprengung	-		
Ski cutting	-		
Wyssen-Sprengmast	+		
Gazex	+		
Lawinenwächter Inauen –Schätti	+		
Lawinenmast Inauen-Schätti	+		
Seilbahnsprengung	+/-		
Helikoptersprengung	+		
		Bewertungsschlüssel	
		-	gefährlich
		+/-	kleine Gefahren
		+	nicht gefährlich

Tab. 7-15: Bewertung der Lawinengefahr nach Sprengmethoden

Sprengtrupps bestehen grundsätzlich immer aus mindestens zwei Personen (teilweise sogar vier Personen), die über die notwendige Schutzausrüstung verfügen und immer nur untertags unterwegs sind. Nicht in allen Gebieten werden bei Handsprengungen und Ski cutting die ausführenden Personen gesichert. In mehr als der Hälfte der Gebiete wird der Ausführende, der den Hang befährt, von anderen Personen, die nicht im Gefahrenbereich sind, beobachtet.

7.2.11. Gefahr durch Sprengstoff

Fünf Betreiber von Gazex-Anlagen geben als wesentlichen Vorteil eines Gasgemischs gegenüber Sprengstoff die Sicherheit des Personals an. Durch das Hantieren mit Sprengstoff begibt sich das Personal in eine Gefahr, die nicht unterschätzt werden darf. Als Nachteil von Handsprengungen wurde dies von der Hälfte der Befragten genannt. Unfälle passierten jedoch größtenteils nicht. Ein Befragter konnte sich an einen kleinen Unfall im Zusammenhang mit Sprengstoff erinnern, der jedoch schon einige Zeit zurückliegt.

Gefahr durch Sprengstoff			
Handsprengung	-		
Ski cutting	+		
Wyssen-Sprengmast	+/-		
Gazex	+		
Lawinenwächter Inauen –Schätti	+/-		
Lawinenmast Inauen-Schätti	+/-		
Seilbahnsprengung	-		
Helikoptersprengung	+/-		
		Bewertungsschlüssel	
		-	gefährlich
		+/-	kleine Gefahren
		+	nicht gefährlich

Tab. 7-16: Bewertung der Gefahren durch Sprengstoff nach Sprengmethoden

7.3. Bewertungsmatrix

In der Bewertungsmatrix sind alle Parameter, die in Kapitel 7.2. beschrieben wurden, enthalten. Die einzige Ausnahme stellt die Eignung für Nassschneelawinen dar, da festgestellt wurde, dass die Sprengung von Nassschneelawinen nicht systemabhängig ist. Falls ein Parameter für eine Methode nicht zutreffend ist oder nicht in den Befragungen integriert war, wird dieser nicht bewertet und mit „k.A.“ (keine Angabe) eingetragen. Die einzelnen Parameter sind alleine zu betrachten und sollten nicht aufsummiert werden. Das heißt, es kann keine generelle Aussage getroffen werden, welches System besser oder schlechter ist, sondern nur in Bezug auf einen Parameter. Würde man eine Bilanz jeder Methode erstellen, müssten die Parameter je nach Präferenz gewichtet werden. Diese Präferenzen können aber unterschiedlich ausgeprägt sein. Beispielsweise steht bei manchen Anwendern die Dauer im Vordergrund, bei anderen das Personal.

	Handsprengung	Ski cutting	Wysen-Sprengmast	Gazex	Lawinenwächter Inauen-Schätti	Lawinenmast Inauen-Schätti	Sprengbahn	Helikopter
Wirkungsradius	+/-	--	++	+/-	-	+	+	+/-
Blindgänger	k.A. ¹	++	+	++	+/-	+/-	+	+
Dauer eines Sprengvorgangs	-	-	+	+	+	+	+/-	+
Variabilität der Sprengpunkte	+	+	--	--	-	--	+/-	++
Technische Störungen	++	++	+/-	+	+	+	+	++
Personalbedarf	-	-	+	+	+	+	+/-	+/-
Wetterabhängigkeit	+/-	+/-	+	+	+	+	+/-	- ²
Nachladen	k.A.	k.A.	+/- ²	+	+/-	+/-	k.A.	k.A.
Lawinengefahr	-	-	+	+	+	+	+/-	+
Gefahr durch Sprengstoff	-	+	+/-	+	+/-	+/-	-	+/-

¹ nicht in der Befragung erfasst

² Flugwetter notwendig

Tab. 7-17: Bewertungsmatrix

7.4. Standortwahl

Für die fix installierten Methoden ist die Wahl des richtigen Standorts von erheblicher Bedeutung. Im Grunde genommen lassen sich die Anlagen nach einmaliger Installation an einer Stelle nicht mehr oder nur schwer umplatzieren. Im 9. Punkt des Fragebogens wurde auf diese Fragestellung eingegangen. Gefragt wurde nach der Meinung, ob für ein gewisses Gelände eine bestimmte Methode zu bevorzugen wäre oder ob das keine Rolle spielt. Weiters wurden Standorte, die aufgrund des dort vorhandenen Systems keine Erfolge bringen, ermittelt.

Die Auswertung erfolgte, indem die einzelnen positiven und negativen Aussagen über ein System an einem bestimmten Ort aufsummiert und durch eine fünfstufige Bewertungsskala (vgl. Kap. 6.4.) dargestellt wurden.

	Sprengmast Wyssen / Inauen-Schätti	Gazex	Lawinenwächter Inauen-Schätti	Sprengseilbahn
Großflächige Hänge	++	+/-	+	++
Kleinflächige Hänge	+/-	+	+/-	+/-
Rücken/Kuppen	+	+/-	+/-	+/-
Rinnen	++	+	+/-	+/-
Flaches Gelände	+	-	+/-	+
Steiles Gelände	+	+	+	+

Tab. 7-18: Eignung der Systeme für unterschiedliches Gelände

Folgende Skaleneinteilung wurde verwendet:

++	min. 3 positive Aussagen
+	min. 1 positive Aussage
+/-	Pos. und neg. Aussagen gleichen sich aus
-	min. 1 negative Aussage
--	min. 3 negative Aussagen

7.5. Überblick über den Einsatz weiterer Methoden

Jedes Skigebiet bevorzugt gewisse Methoden. Das ist natürlich auch abhängig von der jeweiligen Größe des Gebiets, des Geländes und der Erreichbarkeit der Sprengpunkte. Klarerweise sind die Methoden, die in die Befragung und Auswertung integriert wurden, am häufigsten im Einsatz. Daneben konnten aber noch interessante Details über am Rande verwendete Methoden im Zuge der Erhebung erfragt werden.

Mit unterschiedlichen (teilweise selbstgebaute) Hilfsmitteln werden Handsprengungen vereinfacht bzw. an das Gelände angepasst. So werden unterschiedliche Arten von **Sprengrutten oder Lawinenangeln** verwendet, um die Ladung an die richtige Stelle zu positionieren. Die Sprengbefugten weisen langjährige Erfahrung auf, weshalb angenommen werden kann, dass diese Methoden für die Standorte, an denen sie eingesetzt werden, erfolgreich sind.

Wie in Kapitel 5.7.2. beschrieben, bietet die Firma Wyssen einen **Mini-Sprengmast** an, in dem nur vier Ladungen enthalten sind. Diese billigere Variante wird in zwei Skigebieten eingesetzt, wo sich jeweils zwei solcher Masten befinden. In einem der Skigebiete werden sie hauptsächlich zum Wechtensprengen benutzt, was laut dem Befragten sehr gut funktioniert.

Zu Testzwecken befindet sich in zwei Skigebieten der **O'Bellx** der Firma TAS. Das System funktioniert ohne Zuleitungen, weshalb es sich gut für Gletschergebiete eignet. Da das System noch nicht ganz ausgereift ist, wird in Zusammenarbeit mit der zuständigen Firma versucht, die optimale Höhe, Größe und Position zu finden. Zum Zeitpunkt der Befragung funktionierte die Auslösung noch nicht optimal.

In einem Skigebiet kommt „**Lawin Locker Murrel 125**“ zum Einsatz. Dieses in Kapitel 5.8.6. beschriebene Gerät bringt den Vorteil, von verschiedenen Standorten aus Ladungen an Sprengpunkte schießen zu können. Transportiert wird es meist mit einem Ski-Doo, wodurch auch der Standortwechsel rasch funktioniert.

8. Schlussfolgerungen der Ergebnisse

8.1. Bewertungsmatrix

Bei der Erstellung der Bewertungsmatrix wurde darauf geachtet, dass alle wesentlichen Faktoren, die die Methoden beschreiben, in dieser integriert sind. Die insgesamt 10 Parameter sollen grundsätzlich Aufschluss über die Methode geben, wobei natürlich auch andere Eigenschaften dazu beitragen können, eine gewisse Methode zu bevorzugen. Beispielsweise spielt die Sympathie eine gewisse Rolle. Bei der Befragung der Experten wurde erkannt, dass in manchen Skigebieten grundsätzlich ein bestimmtes System bevorzugt wird und die zuständigen Personen über die anderen (nicht verwendeten) Methoden nur in geringem Maße Bescheid wissen. Dies gilt klarerweise nicht für alle Skigebiete. In vielen Skigebieten wählen die mit dem Lawinenschutz beauftragten Personen aus allen Methoden die beste für ihr Gebiet aus.

Ein wichtiger Faktor für die Auswahl einer Methode sind die Kosten. Dabei müssen sowohl die einmaligen Investitionskosten, als auch die (jährlichen) Wartungskosten und die Kosten, die pro Sprengung entstehen, betrachtet werden. Bei standortfesten Anlagen entstehen höhere Investitions- und Wartungskosten, die bei Handsprengungen, Ski cutting und Helikoptersprengungen entfallen. Die Kosten, die pro Sprengung entstehen, beziehen sich auf den Sprengstoff, die Zünder und andere Materialien, die benötigt werden. Diese sind bei allen Methoden, die Sprengstoff verwenden, in etwa gleich. Auf eine genauere Angabe der jeweiligen Kosten bzw. der Bewertung der Kosten in der Matrix wurde absichtlich verzichtet. Der Faktor Kosten wurde zwar in den Fragebogen aufgenommen, jedoch waren große Schwankungen (vor allem bei den Investitionskosten) vorhanden, weshalb keine genaue Aussage getroffen werden kann. Vermutlich hängt der Preis von der Anzahl der angeschafften Anlagen sowie dem Zeitpunkt der Anschaffung (es sind teils schon ältere Anlagen in Betrieb, die damals einen anderen Preis hatten) ab. Grundsätzlich sollten fix installierte Methoden, die ja mit höheren Kosten verbunden sind, eine bessere Effizienz aufweisen bzw. generelle Vorteile gegenüber den anderen Methoden haben. Die Bewertungsmatrix selbst sollte daher nur unter diesem Aspekt betrachtet werden.

Einen weiteren wichtigen Parameter stellt die Wirkung dar. Allgemein ist ersichtlich, dass eine Überschneesprengung in Bezug auf den Radius einen erheblichen Vorteil bringt. Der Wyssen-Sprengmast weist dabei den größten Wirkungsradius auf. Große Gazex-Rohre, Lawinenmasten von Inauen-Schätti und Sprengseilbahnen mit Ladungen, die über der Schneedecke detonieren, zeigen in der Praxis ebenfalls eine gute Wirkung. Oberflächensprengungen ergeben einen deutlich kleineren Radius, allerdings kann dieser für das nötige Einsatzgebiet ausreichend sein.

Bei Betrachtung der Blindgänger wird ersichtlich, dass diese relativ selten sind und kein grundlegendes Problem darstellen. Bei allen Methoden liegt die Häufigkeit unter 1 %, was darauf schließen lässt, dass aufgrund von Blindgängern keine Methode auszuschließen ist.

Beim Sprengvorgang selbst sind die Dauer, das Wetter, der Personalbedarf und die entstehenden Gefahren von Bedeutung. Fixe Sprengmethoden weisen in allen vier Bereichen unabhängig von der Methode große Vorteile auf. Die Dauer eines Sprengvorgangs beschränkt sich auf ein paar Minuten, wodurch die Sprengungen in Summe schneller erledigt werden können und eventuelle Sperrzeiten vermieden werden. Das Wetter spielt ebenfalls keine Rolle und es reichen wenige Personen aus, um die Systeme auszulösen. Es besteht weder Lawinengefahr noch die Gefahr durch Hantieren mit Sprengstoff (außer beim Nachladen). Bei den übrigen Methoden ist vor allem die Dauer zu nennen, die erheblich länger ist. Die Sicherheit des Personals steht zwar im Vordergrund, jedoch gibt es kaum Unfälle, was darauf zurückzuführen ist, dass es sich ausschließlich um geschultes, erfahrenes Personal handelt.

Die Variabilität der Sprengpunkte bringt wieder bei nicht fixen Methoden einen großen Vorteil. Theoretisch kann an jedem Punkt gesprengt werden. In der Praxis sind aber meist fixe Sprengpunkte vorhanden. Bei der Anschaffung fixer Methoden wurde von den Zuständigen immer darauf geachtet, einen passenden Sprengpunkt zu wählen. Fixe Systeme wurden meist an vorhandenen Sprengpunkten, an denen häufig gesprengt werden musste oder die schwer zugänglich sind, errichtet. Diese Anlage hat dann zwar nur einen fixen Sprengpunkt, jedoch kann es sehr hilfreich sein, dort keine Handsprengung durchführen zu müssen.

Bei den fixen Methoden sind auch das Nachladen und die Funktionsfähigkeit der Technik von großer Bedeutung. Das Nachladen funktioniert bei allen Systemen gut. Der Wyssen-Sprengmast bringt den Vorteil, dass der Magazinkasten weggeflogen werden kann. Bei Anlagen von Gazex und Inauen-Schätti werden aber teilweise auch die Ladungen oder Gasbehälter per Helikopter transportiert, wodurch kein Mehraufwand entsteht. Technisch gesehen funktionieren alle Systeme einwandfrei. Es gibt zwar teilweise kleinere Probleme mit Bestandteilen der Anlage oder Verschleißteile, die zu tauschen sind, jedoch kommen keine Totalausfälle vor, wodurch das System für längere Zeit ausfallen würde.

Zusammenfassend fällt auf, dass jede Methode Vorteile in gewissen Bereichen, aber dafür Nachteile in anderen Bereichen bringt. Es kann also keine generelle Aussage darüber getroffen werden, welche grundsätzlich zu bevorzugen ist. Die Matrix bietet aber einen guten Anhaltspunkt, um Aufschluss über die Eigenschaften eines Systems zu gewinnen. Beispielsweise können vor der Anschaffung einer Anlage Parameter miteinander verglichen werden, um die Auswahl zu erleichtern.

8.2. Vergleich der erstellten Matrix mit Stoffel (2012)

Lukas Stoffel, Mitarbeiter des „Instituts für Schnee- und Lawinenforschung SLF“, erstellte 2012 einen ausführlichen Bericht über den „Vergleich der Sprengmethoden: Gazex, Lawinenwächter/-mast Inauen-Schätti, Wyssen Sprengmast, Avalancheur“. Darin enthalten sind detaillierte Beschreibungen dieser Systeme sowie eine Vergleich dieser (siehe Tab. 8-1). Die Bewertung erfolgt in dieser Tabelle nur in drei Stufen (günstig, mittel, ungünstig). Der Avalancheur, der in der Schweiz häufig eingesetzt wird, kommt in Österreich nicht zur Anwendung und kann daher nicht mit der in dieser Arbeit erstellten Bewertungsmatrix verglichen werden.

Faktoren	Gazex	Inauen-Schätti Lawinen- wächter	Lawinen- mast	Wyszen Sprengmast	Avalancheur
Sprengwirkung (Wirkungszone)	+ bis +/- (abhängig von Gasmenge)	+/-	+	+	+/-
Installation im Gelände	- (Leitungen)	+	+	+	+
Sprengstoffmagazin / Arbeit mit Sprengstoff / Lawinensprengkurs	+	-	-	-	+/-
Versager	+	-	-	+/- (Ladung angehängt)	+/- (Wartezeit)
Rückstände im Gelände (nach positiver Sprengung)	+	+/-	+/-	+/-	-
Anzahl Sprengungen ohne Nachfüllen	+	+/-	+/-	+/-	
Ort: Sprengladungen nachfüllen, Gasflaschen wechseln, resp. Inbetriebnahme	- (Person vor Ort)	- (Person vor Ort)	- (Person vor Ort)	+	(jedoch Flugwetter notwendig)
Anzahl Sprengpunkte (pro Zündrohr / Mast)	-	+	-(+/-)	-	+
Dauer einer Aktion	+	+	+	+	-
Verschiebung eines bereits gebauten Zündrohrs / Masts (Standortkorrektur)	-	+	+	+	

+ günstig
- ungünstig
+/- mittel, ausgeglichen

Tab. 8-1: Vergleich der Sprengmethoden Gazex, Lawinenwächter/-mast Inauen-Schätti, Wyszen Sprengmast, Avalancheur (Quelle: Stoffel (2012), S. 17)

Bezüglich der Parameter, die in beiden Fällen gleich gewählt wurden, herrscht grundsätzlich eine gute Übereinstimmung. Die Wirkungszone ist beim Lawinenmast von Inauen-Schätti und beim Wyszen-Sprengmast am besten beurteilt wurden, was mit der in dieser Arbeit erstellten Bewertungsmatrix vergleichbar ist, jedoch wird bei Stoffel nur eine dreistufige Skala verwendet. Die Reihenfolge der Methoden bei der Beurteilung der Versager stimmt auch überein, jedoch wird bei Stoffel eine schlechtere Bewertung vorgenommen. Im Zuge der Befragung stellte sich allerdings heraus, dass Versager grundsätzlich sehr selten sind, weshalb schlechte Bewertungen übertrieben wären. Stoffel beurteilt das Nachladen der Geräte bei dem Wyszen-Sprengmast mit „gut“, bei allen anderen Methoden mit „schlecht“, weil Personen vor Ort sein müssen. In der Praxis zeigt sich aber, dass die Ladungen bzw. Gasbehälter auch bei Gazex-Anlagen oder Systemen von Inauen-Schätti mit dem Hubschrauber transportiert werden können und das Nachladen grundsätzlich kein Problem darstellt. Deshalb wurde die Bewertung in der Bewertungsmatrix dieser Arbeit besser vorgenommen als bei Stoffel. Bei der Anzahl der Sprengpunkte ist die Reihenfolge der

Methoden gleich, die Skaleneinteilung jedoch wieder eine andere. Der Grund dafür liegt darin, dass Stoffel nur fix installierte Methoden beurteilt, in dieser Arbeit jedoch auch nicht ortsfeste Methoden integriert sind. Bei der Dauer einer Aktion herrscht komplette Übereinstimmung der beiden Bewertungen.

8.3. Standortwahl

Bei der Standortwahl wurde von den Experten bzw. Planern eines Sicherheitskonzepts genau darauf geachtet, dass dieser richtig gewählt wird, weil Anlagen im Nachhinein nicht oder nur mehr schwer versetzt werden können. Die Befragten sind grundsätzlich mit den Standorten der Anlagen zufrieden und wurden auch gut von den jeweiligen Firmen bzw. von den zuständigen Behörden beraten. Die Entscheidung über den tatsächlichen Standort liegt aber bei den Betreibern des Skigebiets.

In einem Fall wurde laut Aussagen des Experten der Standort eines Gazex-Rohres nicht optimal gewählt. Dieses befindet sich zu weit vom Grat entfernt, wodurch nicht der ganze Hang entladen wird, sondern oberhalb des Rohres einige Meter nicht ausgelöst werden. Es wird in diesem Fall überlegt das Rohr umzuplatzieren bzw. durch ein anderes System zu ersetzen.

In Tabelle 7-14 ist die prinzipielle Eignung eines bestimmten Systems in Bezug auf die Beschaffenheit des Geländes ersichtlich. Es zeigt sich, dass schon große Unterschiede herrschen und vor der Systemauswahl auf das vorhandene Gelände Rücksicht genommen werden muss.

Ein Sprengmast zeigt laut Aussagen der Experten eine sehr gute Wirkung auf einem großen/breiten Hang. Dies ist darauf zurückzuführen, dass er einen großen Wirkungsradius besitzt und daher möglicherweise den ganzen Hang auslösen könnte, wofür andere Systeme mehrere Sprengpunkte brauchen würden, wodurch die Kosten steigen würden. Im Gegensatz dazu ist auf kleinflächigeren Hängen Gazex zu bevorzugen. In steilem Gelände kommt es bei allen Systemen zu einer erfolgreichen Auslösung, weshalb die gewählte Variante nicht entscheidend ist. Ist das Gelände flacher, ist die Wirkung von Gazex-Rohren laut den Aussagen kleiner. Vermutlich liegt das am etwas kleineren Wirkungsradius als bei

einem Sprengmast, wodurch es im flachen Gelände schwieriger wird, einen Bruch in der Schneedecke hervorzurufen. Betrachtet man die Geländeform sind keine Methoden zu benachteiligen. Sowohl auf Kuppen als auch in Rinnen weisen die Sprengmasten und auch Gazex-Anlagen eine sehr gute Wirkung auf, die Kuppierung spielt daher keine große Rolle in Bezug auf die Wahl der Sprengmethode.

8.4. Vor- und Nachteile der standortfesten Methoden in der Praxis

Die Vor- und Nachteile der standortfesten Methoden, die sich durch die Befragungen der Experten ergeben haben, sind in der Bewertungsmatrix (Tab. 7-17) und in der Eignung der Systeme für unterschiedliches Gelände (Tab. 7-18) zusammengefasst. Man kann erkennen, dass gegenüber den nicht standortfesten Methoden die Vorteile in vielen Bereichen überwiegen. Jedoch ist zu beachten, dass nur eine begrenzte Anzahl an Sprengpunkten zur Verfügung steht und die Investitionskosten erheblich höher sind.

Beim Vergleich der Bewertungsmatrix mit den theoretischen Vor- und Nachteilen der jeweiligen Methoden aus Kapitel 5 ergibt sich eine gute Übereinstimmung. Die durch die Hersteller genannten Vorteile bewahrheiten sich größtenteils auch in der Praxis. Die hauptsächlichlichen Vorteile der fix installierten Methoden, dass diese zeit- und witterungsunabhängig sind und wenig Personal und Zeit notwendig sind, wurden bestätigt. Bezüglich der Wirkung wurde die Überschneesprengung der Sprengmasten besonders hervorgehoben, die einen deutlich größeren Wirkungsradius hervorruft. Es wurden auch keine schwerwiegenden Probleme gewisser Systeme erkannt. Die Systeme funktionieren technisch gesehen einwandfrei. Kleinere Probleme, die genannt wurden (Funkstörungen, Probleme mit Sprengstoff, usw.) beziehen sich nicht auf die Systeme selbst.

Generell kann daher gesagt werden, dass die Entwicklungen der letzten Jahre bzw. Jahrzehnte dazu beigetragen haben, die Künstliche Lawinenauslösung durch die technischen Verbesserungen der Methoden erheblich einfacher zu machen.

8.5. Verbesserungsmöglichkeiten der Arbeit

Bei jeder empirischen Arbeit bestehen gewisse Unsicherheit in der Erhebung und Auswertung der Daten. Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass alle Befragten wahrheitsgemäße Auskunft gegeben haben und keine Fehler in der Auswertung gemacht wurden. Im Nachhinein wurde aber erkannt, dass manches verbesserungswürdig wäre:

- Der **Stichprobenumfang** ist zwar prinzipiell groß genug, um aussagekräftig zu sein. Jedoch wurde zu wenig darauf geachtet, auch den Stichprobenumfang der einzelnen Systeme ausreichend zu berücksichtigen. In keinem Skigebiet werden alle Methoden verwendet. Deshalb wäre es möglicherweise sinnvoll gewesen, darauf zu achten, dass die Stichprobe jeder Methode ausreichend ist, anstatt Skigebiete mit möglichst vielen Varianten zu wählen.
- Bei der Erstellung des **Fragebogens** wurden viele offene Fragen verwendet, wovon einige bei der Auswertung nicht berücksichtigt werden konnten. Manche Fragen waren auch in keinem Zusammenhang mit der eigentlichen Fragestellung, weshalb sie zwar interessant sind, aber nicht direkt einfließen konnten. Bei der Auswertung der Ergebnisse stellte sich heraus, dass manche Gebiete unzureichend behandelt wurden, um vernünftige Aussagen treffen zu können. Beispielsweise wurden manche Parameter der Bewertungsmatrix nicht zu allen Methoden erhoben, was einen geeigneten Vergleich erschwerte.
- Eine Schwierigkeit stellte die **Schätzung** metrischer Werte durch die Befragten dar. Es gab große Schwankungsbreiten bei Schätzungen bezüglich des Radius oder der Dauer eines Vorgangs. Die Auswertung dieser kann dadurch fehlerbehaftet sein. Jedoch wird angenommen, dass es sowohl Über- als auch Unterschätzungen gab, wodurch die Ergebnisse in Summe gut sein sollten.
- Bei der Einteilung der **Skala** für die Bewertungsmatrix wurden die Grenzen zwischen den einzelnen Stufen teilweise subjektiv gewählt, da es nicht anders möglich war. Es wurde aber darauf geachtet, die Intervalle gleich groß zu halten.

9. Literaturverzeichnis

- Arbeitsgemeinschaft der österreichischen Lawinenwarndienste (2011): *Saisonbericht der österreichischen Lawinenwarndienste 2010/11*, URL: http://lawine.tirol.gv.at/uploads/media/Endbericht_ARGE_Lawinenwarndienste_Oestreich_2010_11_Teil1.pdf, Stand: 11. April 2013.
- BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (2011): *Erlass betreffend den Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen (Lawinenerlass)*.
- Ebster, Claus/Stalzer, Lieselotte (2008): *Wissenschaftliches Arbeiten für Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler*, 3. Auflage, Wien.
- Elma Tech (2011): *Lawin Locker*, URL: http://www.elma-tech.com/cms/lawin_locker/index.html, Stand: 11. Dezember 2013.
- Ernest, Albert (1981): *Wetter, Schnee und Lawinen – Lawinengefahr, Einflüsse, Beurteilung, Verhalten*, Leopold Stocker Verlag, Graz – Stuttgart.
- Fachhochschule Düsseldorf (o.J.): *Vox Loci – Archiv „Akustische Recherchen“*, URL: http://weblogs.mki.fh-duesseldorf.de/voxloci/archive/cat_akustische_recherchen.html, Stand: 08. 11. 2013.
- Fritz, Marianne (2011): *Lawinenschutz neu geregelt*, BMVIT Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, URL: http://www.isr.at/fileadmin/user_upload/BMVIT/ISR5_2011s06-07_Layout_1_x3.pdf, Stand: 09. Oktober 2013.
- Gubler, Hansueli u.a. (2011): *Leitfaden künstliche Lawinenauslösung*, wysen avalanche control AG, Reichenbach.
- Harvey, Stephan/Rhyner, Hansueli/Schweizer, Jürg (2012): *Lawinenkunde – Praxiswissen für Einsteiger und Profis zu Gefahren, Risiken und Strategien*, Bruckmann Verlag GmbH, München.
- Heiser, Micha (2011): *Schnee- und Lawinengefahren: Analyse und Bewertung*, Vorlesungsskript, Universität für Bodenkultur, Wien.
- Inauen-Schätti AG (o.J. a): *Lawinensicherung Hochalpila, Montafon*, URL: <http://www.seilbahnen.ch/de/Lawinenwaechter/Projekte/010-Lawinensicherung-Hochalpila.php>, Stand: 22. 10. 2013.

- Inauen-Schätti AG (o.J. b): *Beschreibung Lawinenwächter*, URL:
<http://www.seilbahnen.ch/de/Lawinenwaechter/Beschreibung-Lawinenwaechter.php>,
 Stand: 11. 10. 2013.
- Interfab Snowbusiness GmbH (o.J. a): *Gazex – Lawinenauslösung ohne Sprengstoff*, URL:
<http://www.interfab.at/de/produkte/gazex.html?o=7&parent=LAWINENAUSL%D6SUNG&op=24>, Stand: 03. 11. 2013.
- Interfab Snowbusiness GmbH (o.J. b): *Daisybell – Der vorbeugende Lawinenschutz aus der Luft*, URL: <http://www.interfab.at/de/Produkte/daisybell.html?o=7&parent=LAWINENAUSL%D6SUNG&op=30>, Stand: 03. 11. 2013.
- Interfab Snowbusiness GmbH (o.J. c): *Das O'Bellx System – die allerneueste Technologie, die T.A.S. für die künstliche Lawinenauslösung anbietet*, URL:
<http://www.interfab.at/de/Produkte/o-bellx.html?o=7&parent=LAWINENAUSL%D6SUNG&op=113>, Stand: 03. 11. 2013.
- Land Tirol (2000): *Lawinenhandbuch*, 7.aktualisierte Auflage, Tyrolia-Verlag, Innsbruck-Wien.
- Lawinenwarndienst Tirol (2009 a): *European Avalanche Warning Services EAWS*, URL:
<http://www.avalanches.org/basics/glossar-de>, Stand: 17. September 2013
- Lawinenwarndienst Tirol (2009 b): *European Avalanche Warning Services EAWS*, URL:
<http://www.avalanches.org/basics/lawinengefahrenskala>, Stand: 08. Oktober 2013
- Margreth, Stefan (2004 a): *Die Wirkung des Waldes bei Lawinen - Schutzwald und Naturgefahren*, Forum für Wissen, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.
- Margreth, Stefan (2004 b): *Technische Lawinenschutzmaßnahmen*, URL:
http://www.planat.ch/fileadmin/PLANAT/planat_pdf/alle/R1248d.pdf , Stand: 28. April 2013
- Mayer, Horst Otto (2008): *Interview und schriftliche Befragung, Entwicklung, Durchführung, Auswertung*, 4. Auflage, München.
- MESOSworld (o.J.): *Der Boxplot – Vertiefung*, URL:
http://www.mesosworld.ch/lerninhalte/Univ_GrafischDarst/de/html/unit_Boxplot.html, Stand: 14. 11. 2013.
- Munter, Werner (1992): *Neue Lawinenkunde – Ein Leitfaden für die Praxis*, 2. Auflage, Verlag des SAC, Bern.
- Natursport Uni Freiburg (o.J.): *Schnee- und Lawinenkunde*, URL: <http://www.nuf.uni-freiburg.de/downloads/Lawinenkunde>, Stand: 14. Mai 2013.

- Roth, Eike (2013): *Lawinen, Verstehen – Vermeiden – Praxistipps*, Bergverlag Rother GmbH, München.
- Rudolf-Miklau, Florian/Sauermoser, Siegfried (2011): *Handbuch Technischer Lawinenschutz*, Ernst & Sohn GmbH & Co. KG., Berlin.
- Stangl, Werner (o.J.): *Gütekriterien empirischer Forschung*, URL: <http://arbeitsblaetter.stangl-taller.at/FORSCHUNGSMETHODEN/Guetekriterien.shtml>, Stand: 10. 05. 2013
- Stoffel, Lukas (2001): *Künstliche Lawinenauslösung - Praxishilfe*, 2. Auflage, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos.
- Stoffel, Lukas (2012): *Vergleich der Sprengmethoden: Gazex, Lawinenwächter/-mast Inauen-Schätti, Wyssen Sprengmast, Avalancheur*, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos.
- TAS (o.J. a): *Gazex, Gazflex – Vorbeugung par excellence*, URL: <http://www.tas.fr/downloads/Fiche-Gazex-DE.pdf>, Stand: 03. 11. 2013.
- TAS (o.J. b): *Gazex / Gazflex*, URL: <http://www.tas.fr/de/produits-de/pravention-von-lawine/104-gazex-gazflex-de>, Stand: 03. 11. 2013.
- TAS (o.J. c): *Daisybell – Vorbeugung aus der Luft*, URL: <http://www.tas.fr/downloads/Fiche-DaisyBell-DE.pdf>, Stand: 03. 11. 2013.
- TAS (o.J. d): *O’Bellx – Vorbeugung im Einklang mit der Natur*, URL: <http://www.tas.fr/downloads/Fiche-Obellx-DE.pdf>, Stand: 03. 11. 2013.
- Wiesinger, Thomas u.a. (o.J.): *Wet Snow Instabilities – Multiple Approaches to lift the Veil*, Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Alpine Naturgefahren.
- Wikipedia (o.J. a): *Avalanche control*, URL: http://en.wikipedia.org/wiki/Avalanche_control, Stand: 24. 10. 2013.
- Wikipedia (o.J. b): *Detonationswelle*, URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Detonationswelle>, Stand: 08. 11. 2013.
- Wikipedia (o.J. c): *Stoßwelle*, URL: <http://de.wikipedia.org/wiki/Stoßwelle>, Stand: 08. 11. 2013.
- Wikipedia (o.J. d): *Empirie*, URL: <https://de.wikipedia.org/wiki/Empirie>, Stand: 05. 05. 2013.
- Wildbach- und Lawinenverbauung (2011): *Richtlinie für die Gefahrenzonenplanung*, BMLFUW-LE.3.3.3/0185-IV/5/2007.

WSL – Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (o.J.): *Merkblatt zur Bestimmung der Kornform und Korngröße*, URL:

http://www.slf.ch/schneeinfo/schneekarten/sds/Kornformen_Korngroesse_DEU.pdf,

Stand: 08. Oktober 2013

Wyssen avalanche control AG (2009): *Systembeschreibung Wyssen Lawinen-Sprengmast LS12-5*,

URL: <http://www.wyssen.com/fileadmin/documents/wac/beschreibung-sprengmast-LS12-5%202009.pdf>, Stand: 25. Jänner 2013.

Wyssen avalanche control AG (o.J.): *Mini-Sprengmast LS4-5*, URL:

<http://www.wyssen.com/wac/produkte/mini-sprengmast-ls4-5/uebersicht/>, Stand: 09. Oktober 2013.

10. Tabellenverzeichnis

Tab. 2-1:	Morphologische Lawinenklassifikation	21
Tab. 4-1:	Wirkungsradien bei trockenem Neuschnee	45
Tab. 6-1:	Skalenfestlegung für die Bewertung der Parameter	71
Tab. 7-1:	Anwendung der einzelnen Methoden nach ausgewerteten Skigebieten	73
Tab. 7-2:	Am häufigsten eingesetzte Methoden der jeweiligen Skigebiete nach Anzahl der Sprengungen	74
Tab. 7-3:	Sicherung verschiedener Bereiche durch Künstliche Lawinenauslösung	74
Tab. 7-4:	Kriterien, die entscheiden, ob eine Sprengung nötig ist	75
Tab. 7-5:	Maximale theoretische Wirkungsradien	76
Tab. 7-6:	Bewertung der Wirkungsradien der Sprengmethoden	79
Tab. 7-7:	Bewertung der Blindgänger nach Sprengmethoden	80
Tab. 7-8:	Bewertung der Dauer eines Sprengvorgangs nach Sprengmethoden	82
Tab. 7-9:	Variabilität der Sprengpunkte nach Sprengmethoden	83
Tab. 7-10:	Bewertung der Häufigkeit der technischen Probleme nach Sprengmethoden	84
Tab. 7-11:	Erfolgsquote der Nassschneelawinen in Abhängigkeit der Sprengmethode und des Sprengzeitpunkts	85
Tab. 7-12:	Bewertung des Personalbedarfs nach Sprengmethoden	86
Tab. 7-13:	Bewertung der Wetterabhängigkeit nach Sprengmethoden	86
Tab. 7-14:	Bewertung der Probleme des Nachladens nach Sprengmethoden	87
Tab. 7-15:	Bewertung der Lawinengefahr nach Sprengmethoden	88
Tab. 7-16:	Bewertung der Gefahren durch Sprengstoff nach Sprengmethoden	89
Tab. 7-17:	Bewertungsmatrix	90
Tab. 7-18:	Eignung der Systeme für unterschiedliches Gelände	91
Tab. 8-1:	Vergleich der Sprengmethoden Gazex, Lawinenwächter/-mast Inauen-Schätti, Wyssen Sprengmast, Avalancheur	96

11. Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1:	Ablauf der abbauenden Umwandlung	15
Abb. 2-2:	Ablauf der aufbauenden Umwandlung	16
Abb. 2-3:	Symbole und Erklärungen der verschiedenen Kornformen	18
Abb.3-1:	Schematik einer Stahl-Schneebrücke	29
Abb. 3-2:	Anordnung eines Schneezauns	29
Abb. 3-3:	Europäische Lawinengefahrenskala	34
Abb. 4-1:	Schema einer Longitudinalwelle	41
Abb. 4-2:	Wellenfortpflanzung einer Detonation	41
Abb. 4-3:	Berechnung der Zusatzspannungen auf die Schneedecke	42
Abb. 4-4:	Abhängigkeit des Wirkungsradius von der Sprengpunkthöhe	44
Abb. 5-1:	Gazex-Zündrohr bei einer Zündung	49
Abb. 5-2:	Lawinenwächter Inauen-Schätti	53
Abb. 5-3:	Lawinenmast Inauen-Schätti	55
Abb. 5-4:	Aufbau des Sprengmasts	59
Abb. 5-5:	Wyssen Mini-Sprengmast	61
Abb. 5-6:	Daisybell und O’Bellx	63
Abb. 6-1:	Grundgesamtheit und Stichprobe	66
Abb. 6-2:	Beispiel eines Boxplots	72
Abb. 7-1:	Theoretische Wirkungsradien der einzelnen Methoden	77
Abb. 7-2:	Schätzungen der Wirkungsradien fix installierter Methoden	77
Abb. 7-3:	Mittelwerte der vorhandenen Blindgänger	79
Abb. 7-4:	Mittelwerte der Dauer eines Sprengvorgangs	81
Abb. 7-5:	Anzahl der technischen Probleme pro Jahr in Abhängigkeit der Anzahl der durchgeführten Sprengungen	83

Anhang: Fragebogen

1. Welche Methoden zur künstlichen Lawinenauslösung wenden Sie an?

Welche davon am häufigsten (Anzahl der Sprengungen) und warum?

Wie viele Sprengungen werden insgesamt pro Winter durchgeführt?

2. Welche Bereiche werden dadurch gesichert?

- Nur Pisten und Skirouten
- Auch Varianten
- Straßen oder Siedlungsgebiet

3. Nach welchen Kriterien wird festgelegt, ob ein bestimmter Hang gesprengt werden muss?

- Durch Erfahrung
- Aufgrund von Hinweisen aus dem Lawinenlagebericht
- Schneedeckentests (Schneeprofile, Böschungstests, Auslösungen durch Pistenfahrzeuge während der Präparation in der Nacht)
- Durch das Wetter oder die Wettervorhersage (Wind, Sonneneinstrahlung, etc.)
- Fixe Sprengrouten in Neu- oder Triebsschneesituationen
- Ohne Kriterien – wir versuchen es einfach
- Sonstiges

4. Zu welcher Uhrzeit werden die Sprengungen im Normalfall durchgeführt?

Kommt es auch vor, dass Sie z.B. am Nachmittag eine Piste sperren müssen, um eine Sprengung durchzuführen?

Wie oft pro Winter?

Könnten diese Hänge in der Früh noch nicht gesprengt werden?

5. Werden auch Handsprengungen durchgeführt?

Gesichert oder ungesichert?

Welche Vor- und Nachteile sehen Sie darin?

Wo und wann werden diese vor allem durchgeführt?

Gab es schon einmal einen Unfall dabei? (Lawinenunfall oder Sprengstoffunfall)

6. Treten Sie auch Lawinen mit den Skiern ab?

Wie oft machen Sie das pro Winter?

Zu welchem Zeitpunkt? Auch in der Nacht?

Auch alleine oder immer mindestens zu zweit?

Ist dabei schon einmal was passiert? Wenn ja, was?

7. Welche Vorteile sehen Sie generell in fix installierten Methoden?

Wie gehen Sie bei der Wahl des Standorts vor?

Macht ihnen die Behörde Vorgaben zur Methode oder Standortwahl?

Sind Sie mit allen Standorten ihrer Anlagen zufrieden oder hätten Sie im Nachhinein andere Standorte gewählt?

Gibt es Anlagen, die aufgrund des Standorts keine Erfolge bringen?

8. Sprengen Sie auch Nassschneelawinen?

Mit welchen Systemen sprengen Sie diese? Welches davon wenden Sie am häufigsten an und warum?

Wie erfolgreich sind die Sprengungen (in Prozent)?

Zu welchem Zeitpunkt werden sie gesprengt?

9. Gibt es Ihrer Meinung nach Systeme, die für bestimmte Art von Hängen (z.B. große breite Hänge bzw. Rinnen) besser geeignet sind oder könnte man die Systeme einfach austauschen und würde die gleichen Erfolge erzielen?

Haben Sie das bei der Standortwahl berücksichtigt?

Würden Sie jetzt im Nachhinein gerne eine Anlage durch eine andere ersetzen?

10. Wyssen-Sprengmast

Wie oft verwenden Sie diesen (Anzahl der Sprengungen pro Winter)?

Wie lange dauert es vom Einleiten der Sprengung bis es wirklich zu einer Sprengung kommt?

Wie oft kommt es zu Systemausfällen oder technischen Störungen?

- Noch nie
- Alle 2-5 Winter
- Jeden Winter min. einmal
- öfters

Wie oft gibt es Blindgänger (Anzahl pro Winter)? Wie werden diese zurückgeholt?

Von welchem Wirkungsradius gehen Sie aus bezüglich Anbruch- bzw. Begehungsradius? In alle Richtungen gleich groß?

Wie hoch sind die Kosten der Anlage? (Investition, Kosten pro Sprengung, Instandhaltung)

Sind Sie generell zufrieden mit der Anlage oder haben Sie häufig Probleme?

Welche Probleme?

Funktioniert das Nachladen der Anlage problemlos? Müssen Sie auch während der Saison nachladen?

11. Gazex

Wie oft verwenden Sie dieses System (Anzahl der Sprengungen pro Winter)?

Wie lange dauert es vom Einleiten der Sprengung bis es wirklich zu einer Sprengung kommt?

Wie oft kommt es zu Systemausfällen oder technischen Störungen?

- Noch nie
- Alle 2-5 Winter
- Jeden Winter min. einmal
- öfters

Welche Vor- bzw. Nachteile bringt es für Sie ein Gasgemisch statt herkömmlichem Sprengstoff zu verwenden?

Hat jede Auslösung dieselbe Effektivität oder ist die Wirkung nach längerer Pause geringer?

Gab es schon Schäden an der Zuleitung? Wie oft seit der Installation?

Reicht der Inhalt der Gasbehälter für die ganze Saison oder müssen diese auch in der Saison gefüllt werden?

Von welchem Wirkungsradius gehen Sie aus bezüglich Anbruch- bzw. Begehungsradius? In alle Richtungen gleich groß?

Wie hoch sind die Kosten der Anlage? (Investition, Kosten pro Sprengung, Instandhaltung)

Sind Sie generell zufrieden mit der Anlage oder haben Sie häufig Probleme?

Welche Probleme?

12. Lawinenwächter Inauen-Schätti

Wie oft verwenden Sie diesen (Anzahl der Sprengungen pro Winter)?

Wie lange dauert es vom Einleiten der Sprengung bis es wirklich zu einer Sprengung kommt?

Welche Vorteile bringt es, mit derselben Anlage abwerfen und schießen zu können?

Wie oft kommt es zu Systemausfällen oder technischen Störungen?

- Noch nie
- Alle 2-5 Winter
- Jeden Winter min. einmal
- öfters

Wie oft gibt es Blindgänger (Anzahl pro Winter)? Wie werden diese zurückgeholt?

Von welchem Wirkungsradius gehen Sie aus bezüglich Anbruch- bzw. Begehungsradius? In alle Richtungen gleich groß?

Wie hoch sind die Kosten der Anlage? (Investition, Kosten pro Sprengung, Instandhaltung)

Sind Sie generell zufrieden mit der Anlage oder haben Sie häufig Probleme?

Welche Probleme?

Funktioniert das Nachladen der Anlage problemlos? Müssen Sie auch während der Saison nachladen?

13. Sprengseilbahnen

Wie oft verwenden Sie diese (Anzahl der Sprengungen pro Winter)?

Wie lange dauert es vom Einleiten der Sprengung bis es wirklich zu einer Sprengung kommt (am entferntesten Sprengpunkt)?

Wie viele Sprengpunkte (pro Seilbahn) haben Sie eingemessen?

Wie oft kommt es zu Systemausfällen oder technischen Störungen?

- Noch nie
- Alle 2-5 Winter
- Jeden Winter min. einmal
- öfters

Wie oft gibt es Blindgänger (Anzahl pro Winter)? Wie werden diese zurückgeholt?

Verwenden Sie Ladungsabwerfer? Wie viel Zeitersparnis bringen diese?

Wie hoch sind die Kosten der Anlage? (Investition, Kosten pro Sprengung, Instandhaltung)

Sind Sie generell zufrieden mit der Anlage oder haben Sie häufig Probleme?

Welche Probleme?

14. Helikopter-Sprengung

Wie oft verwenden Sie diese (Anzahl der Sprengungen pro Winter)?

Wie viele Sprengungen führen Sie durchschnittlich pro Flug durch?

Wie viele Blindgänger gibt es und wie werden diese zurückgeholt?

Welche Vorteile bringt es, zusätzlich zu fix installierten Methoden, mit dem Helikopter Sprengungen durchzuführen?

Welche Probleme gibt es?