

MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

**"Life Cycle Costs von temporären
Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der
ÖBB"**

Verfasser

Thomas Schaller, BSc

angestrebter akademischer Grad

Diplom Ingenieur (Dipl.-Ing.)

eingereicht an der

**Universität für Bodenkultur, Wien -
Institut für Alpine Naturgefahren**

Wien, 2018

Studienkennzahl lt. Studienblatt: H 066 477
Studienrichtung lt. Studienblatt: Masterstudium Alpine Naturgefahren
Betreut von: Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. **Johannes Hübl**
Dipl.-Ing. Dr. **Michael Brauner**

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	5
Danksagung	7
Zusammenfassung	9
Abstract	11
1 Einleitung	13
1.1 Lawinenschutz in Österreich	13
1.1.1 Passiver Lawinenschutz	15
1.1.2 Aktiver Lawinenschutz	16
1.2 Problemstellung	16
1.3 Fragestellung	17
1.4 Methodik	17
2 Künstliche Lawinenauslösung	19
2.1 Voraussetzungen	19
2.2 Grundlagen	19
2.2.1 Sprengstoff	20
2.2.2 Ladungsgröße	21
2.2.3 Sprengpunkthöhe	21
2.2.4 Optimierung der Wirkungszone	21
2.3 Bedingungen	22
2.4 Methoden der künstlichen Lawinenauslösung	22
2.4.1 Handsprengung	23
2.4.2 Helikoptersprengung	23
2.4.3 Sprengseilbahnen	23
2.4.4 Lawinenwächter und Einzelwurfrohre	24
2.4.5 Sprengmast	26
2.4.6 GAZ.EX	28
2.5 Detektionssysteme	28
3 Datenerhebung	31
3.1 Fragebogen	31
3.2 Anwender	32
3.3 Erhobene Anlagen	33

Inhaltsverzeichnis

3.3.1	Anlage 1	33
3.3.2	Anlage 2	33
3.3.3	Anlage 3	33
3.3.4	Anlage 4	34
3.3.5	Anlage 5	34
3.3.6	Anlage 6	34
3.4	Auffälligkeiten bei der Erhebung	34
3.5	Umbuchungen	35
4	Life cycle costing	37
4.1	Allgemeines	37
4.1.1	Vorteile des life cycle costing	37
4.1.2	Ablauf des life cycle costing	38
4.2	Berechnung	40
4.3	Ergebnisse	42
5	Praktisches Beispiel Tauernschleuse Mallnitz	51
5.1	Die Liesgele-Lawine	51
5.2	Technische Anforderungen der ÖBB	57
5.3	Künstliches Auslösesystem für die ÖBB	59
5.4	Vergleich mit Vollverbauung	69
6	Conclusio	73
	Literaturverzeichnis	79
	Abbildungsverzeichnis	81
	Tabellenverzeichnis	83
	Anhang	85

Eidesstattliche Erklärung

Hiermit versichere ich an Eides statt, dass ich die vorliegende Masterarbeit ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Quellen und Hilfsmittel angefertigt und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüferin/ keinem anderen Prüfer als Prüfungsleistung eingereicht.

Mir ist bekannt, dass Zuwiderhandeln geahndet wird („Verwendung unerlaubter Hilfsmittel“) und weitere rechtliche Schritte nach sich ziehen kann.

Diese Arbeit wurde neben der gedruckten Version auch auf CD-Rom zur Prüfung der o.g. Erklärung bei der zuständigen Prüferin/dem zuständigen Prüfer hinterlegt.

Eidesstattliche Erklärung

Danksagung

Zur Entstehung dieser Arbeit haben viele Menschen beigetragen, bei denen ich mich hiermit bedanken möchte.

Mein erster Dank gilt meinen beiden Betreuern, Dipl.-Ing. Dr. Michael Brauner für die Idee zu dieser Arbeit und die Zeit sowie Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Johannes Hübl.

Bedankt seien auch jene Menschen, die durch Teilnahme an meiner Umfrage diese Arbeit erst möglich gemacht haben. Auch die Mitarbeiter und Mitarbeiterinnen der Herstellungs- und Baufirmen, die auf meine vielen Emails geantwortet haben. Danke, dass Sie sich die Zeit genommen haben, mir zu helfen und meine Fragen zu beantworten.

Dank sei Georg Hatzenbichler MSc., für seinen Rat und die praktische Unterstützung beim Formatieren dieser Arbeit.

Bedanken möchte ich mich auch bei meiner Familie, meinen beiden Onkel und Großeltern für ihre Hilfe und meiner Schwester für die Motivation. Ein besonderer Dank gebührt meinen Eltern. Dafür, dass sie mir das Studium ermöglicht haben und immer bedingungslos an mich geglaubt haben.

Danksagung

Zusammenfassung

Ca. 5 Prozent des gesamten österreichischen Eisenbahnnetzes werden zeitweise von Lawinen bedroht. Um ihre Anlagen, Passagiere und das Personal davor zu schützen, setzen die Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) vor allem auf den permanent technischen Lawinenschutz, sprich technische Vollverbauung. Diese ist jedoch kostenintensiv in der Anschaffung und durch ihre lange Lebensdauer unflexibel in der Investitionsplanung. Der aktiv temporäre Lawinenschutz, mit seiner Methode der künstlichen Lawinenauslösung, bietet sich hier als eine Alternative an.

Um verschiedene Methoden der künstlichen Lawinenauslösung im Bezug auf ihre totalen Kosten zu vergleichen und um die Kostentreiber beim Betrieb solcher Anlagen zu identifizieren wurde ein "life cycle costing" (LCC) durchgeführt.

Als Datenbasis für die Berechnung dienen die Kosten von bereits bestehenden Anlagen, die zur Sicherung von Verkehrswegen eingesetzt werden. Die totalen Kosten dieser Anlagen wurden mittels eines Fragebogens erhoben, welcher an Gemeinden und Verkehrsdienste, die solche Anlagen in Betrieb haben, verschickt wurde. Dadurch wurden sechs in Frage kommende Anlagen in Österreich und der Schweiz erhoben. Es handelt sich dabei um zwei Lawinenwächter der Firma Innauen-Schätti, zwei Sprengmasten der Firma Wyssen, ein Avalancheur der Firma Lacroix und ein GAZ.EX-System der Firma TAS.

Das LCC ergab, dass die Kosten der Anlage selbst und deren Installation, sowie Betrieb und Wartung die größten Kostenstellen sind. Innerhalb von Beschaffung und Installation schlägt sich der Bedarf eines Sprengstofflagers stark zu Buche. Hier haben auf Gas basierende Systeme, die darauf verzichten können, einen Vorteil. Der laufende Betrieb ist der zweitgrößte Kostenfaktor einer Sprenganlage. Es sind vor allem die Kosten des Ladungsbaues und der Munitionierung sowie die Kosten für Sprengstoff und Gas selbst, die hier als Treiber fungieren. Bei der Aufrechterhaltung des Betriebes ist die Wartung der teuerste Posten.

Die ÖBB plant das Südportal der Tauernschleuse Mallnitz mit Hilfe der künstlichen Lawinenauslösung sichern. Diese Arbeit empfiehlt zu diesem Zweck den Einsatz von Sprengmasten. Obwohl ein LCC ergeben hat, dass sie nicht das kostengünstigste System sind, spricht in diesem speziellen Fall für ihren Einsatz die hohe Auslösewahrscheinlichkeit, der geringe Eingriff in die Natur, und die einfache Wartung in schwer zu erreichendem Gelände.

Für das selbe Gebiet wurden auch die Kosten für eine Vollverbauung mit Stahlschneebrücken und Verwehungszaunen berechnet und mit den Kosten der Sprengmasten verglichen. Die Vollverbauung erwies sich als zweieinhalbmals so teuer wie die künstliche Lawinenauslösung.

Zusammenfassung

Abstract

Approximately 5 percent of the Austrian railway network are threatened by avalanches half of the year. To protect their infrastructure, passengers and staff, the Austrian railway cooperation (ÖBB) mostly uses permanent technical avalanche protection like bridges or nets. But it is expensive to build and unbudgetable for the investment plan, because of its long lifespan. As an alternative to the technical avalanche protection there is the active temporary avalanche protection with artificial avalanche release.

To compare the costs of different release methods and to identify the cost drivers, the “life cycle costing“ (LCC) is used.

As a data base for the calculations, the total costs of existing avalanche release systems have been evaluated with a questionnaire. Therefore the questionnaire was sent to communities and transport companies that already secure their traffic infrastructure with such release systems. In that way six systems were evaluated in Austria and Switzerland. Two Avalanche Guards of Innauen-Schätti, two Avalanche Towers of Wyssen, one Avalancheur of Lacroix and one GAZ.EX of TAS.

The result of the LCC was that the price for purchasing and installing the system were the highest costs. Within these costs the expense for a blasting explosive magazine were the most significant. Here the gas-powered systems have an advantage because they do not need a magazine.

Also the costs for operating and service were very high with operation being the second largest cost factor. Especially the costs for building the charges, charging and the costs for the explosive and the gas itself were rather high. Maintenance is the largest asset within service.

The ÖBB are planning to protect the southern gate of the railway tunnel at Mallnitz with artificial avalanche release. This paper recommends to use Avalanche Towers. Although a LCC revealed that it is not the cheapest system, the high efficiency, the small impact on nature and the simple maintenance recommend the system in that special case.

The costs for a full technical protection for the same avalanche were also estimated and a LCC was used to compare it with the artificial release system. It has revealed that the full technical protection is two and a half times more expensive than the Avalanche Towers.

Abstract

1 Einleitung

*Und willst du die schlafende Löwin nicht wecken,
so wandle still durch die Straße der Schrecken.*

Friedrich Schiller, Berglied

1.1 Lawinenschutz in Österreich

Schon Schiller wusste um die Gefahr der Lawinen Bescheid, denn nichts anderes ist mit der Löwin im Berglied des Stückes "Wilhelm Tell" gemeint. Löwin kommt vom alten Wort *Leuwine*, das sich wiederum von "Lavina" ableitet. Das Wort "Lavina" (von "labes" = Fall, Sturz) taucht das Erste mal im 6. Jahrhundert in der Chronik des Bischofs Isodoros von Hispalia auf und bezeichnet dort die Lawine. (Haid, 2007) Fast so lange wie der Mensch die Lawine kennt, solange versucht er sich schon vor ihr zu schützen. So sind in Österreich die ersten Schutzbauwerke gegen Naturgefahren bereits aus dem 13. Jahrhundert überliefert. (Rudolf-Miklau, 2009) Auch heute sind durch Lawinen sowohl die Bewohner alpiner Siedlungen als auch Touristen und Wintersportler gefährdet. Dazu zählen auch Verkehrswege und Transportmittel. Durch ihren langgezogenen Aufbau sind Straßen und Schienenwege besonders exponiert, wie einige historische Geschehnisse belegen.

Längentobellawine - 08. und 09.09.1888, Gemeinde Klösterle

Sehr früh im Jahr gingen gleich mehrer Lawinen ab, die die Gleisanlagen der Arlbergbahn erreichten. Die Längentobellawine zerstörte das Wächterhaus 77 und tötete zwei Menschen. Das Bahnhofsgebäude in Langen wurde von der Benediktentobellawine bis zum ersten Stock verschüttet und die Spreubachlawine zerstörte eine Brücke und tötete einen Bahnangestellten. (Ernest, 1884)

Dies sind die ersten Einträge in die Lawinenchronik der Arlbergbahn, die als die älteste ihrer Art in Österreich gilt.

Thomasecklawine - 07.03.1909, Gemeinde Bad Gastein

Das größte Lawinenunglück in der österreichischen Eisenbahngeschichte ereignete sich im Anlaufstal beim Bau der Tauernbahn. Die am Nordportal des Tauerntunnels beschäftigten Arbeiter wurden in ihren Baracken von einer Staublawine verschüttet. Obwohl 12 Arbeiter lebend geborgen werden konnten, forderte die Lawine 26 Todesopfer. (Ernest, 1884)

Tamischbachtumlawine - 24.02.1924, Gemeinde Hieflau

Die Lawine überfuhr die Gleisanlagen der Gesäusebahn, wobei sie einen Verschubzug in die Tiefe riss und verschüttete den Bahnhof Hieflau 15 m hoch. Die Enns wurde von den Schneemassen für mehrere Stunden gestaut. In dem verschütteten Zug fanden vier Eisenbahner den Tod. (Ernest, 1884)

Innere Passürtobellawine - 22.12.1952, Gemeinde Klösterle

Die Lawine erfasste einen Postautobus auf der Straße zwischen Langen und Stuben und schleuderte ihn von einer Brücke in das Bachbett der Alfenz. 24 Insassen starben. Die Straße war gerade erst freigegeben worden, nachdem sie noch am Vortag wegen Lawinengefahr gesperrt war. (Höllner, 2015)

Muttentobellawine - 12.01.1954, Gemeinde Dalaas

In einem der schlimmsten Lawinenwinter löste sich nach intensiven Schneefällen in der Nacht eine Lawine unterhalb der Allhöhe und stieß Richtung Dalaas vor. Die Lawine zerstörte Teile des Bahnhofes und riss eine Zuggarnitur um. Während die 74 Passagiere beinahe unverletzt aus den Waggons geborgen werden konnten, kamen im Bahnhofsgelände 10 Menschen ums Leben. (Höllner, 2015)

Weisslahn - 02.03.1965, Gemeinde Untertauern

Um 16:45 Uhr schleudert die sogenannte Weißlahnlawine einen Autobus von der Radstädter Tauern Straße. 14 Touristen sterben. Daraufhin wurde das Kuratorium für Alpine Sicherheit gegründet. (Höllner, 2015)

Felbertauernstrasse - 29.03.1965, Gemeinde Matrei/Osttirol

Das Unglück passierte in der Nähe des Felberntauerntunnels auf der noch im Bau befindlichen Straße. Ein Werksbus brachte Arbeiter zum Südportal. Um 13:30 Uhr stürzte eine Nassschneelawine aus einem noch nicht ganz verbauten Hang und verschüttete den Bus. Sechs der 14 Arbeiter starben. (Höllner, 2015)

Wolfsgrubenlawine - 13.03.1988, Gemeinde St. Anton

Die Lawine löste sich um 6:50 Uhr unterhalb des Zwölferkopfs und bewegte sich in Richtung St. Anton. Sie überfuhr die Bundesstraße und den Bahndamm und stieß in den Ortsteil Nasserein vor. Hier wurden Wohnhäuser, eine Tankstelle sowie Einrichtungen der österreichischen Bundesbahnen zerstört bzw. schwer beschädigt. In der Ortschaft und auf der Gemeindestraße starben 7 Menschen. (Höllner, 2015)

Um derartige Katastrophen zukünftig zu verhindern wurden mit der Zeit, in Österreich und weltweit, verschiedene Methoden entwickelt um das Risiko eines Lawinenunglücks

für Menschen und menschliche Einrichtungen zu reduzieren. Allgemein kann man diese diversen Methoden in aktiven und passiven Lawinenschutz unterteilen. Und diese wiederum in permanente und temporäre Maßnahmen.

1.1.1 Passiver Lawinenschutz

Passiver Lawinenschutz wirkt nicht direkt auf die Lawine, sondern auf ihre Folgen. Das Ziel ist die potenziellen Schäden gering zu halten und die Vulnerabilität zu senken. (Rudolf-Miklau and Sauermoser, 2011)

Passiv permanente Maßnahmen

Unter permanentem Lawinenschutz versteht man all jene Maßnahmen, deren Wirkung auf Lawinen dauerhaft vorhanden ist. Unabhängig von Jahreszeit oder Lawinengefahr. (Rudolf-Miklau and Sauermoser, 2011) Bei passiven Maßnahmen handelt es sich hauptsächlich um Maßnahmen der Legislative.

- Rechtliche Maßnahmen (Gebote und Verbote)
- Gefahrenzonenplanung
- Raumplanung
- Administrative Maßnahmen (Baugenehmigung, Absiedelung)
- Technischer Gebäudeschutz (Bauauflagen)
- Katastrophenschutzplanung

(Rudolf-Miklau and Sauermoser, 2011)

Passiv temporäre Maßnahmen

Im Gegensatz zu den permanenten Maßnahmen wirken die temporären kurzfristig und sind auf Zeitpunkt, Ort und Ausmaß der Lawinengefahr abgestimmt. (Rabofsky et al., 2000) Temporäre Maßnahmen sind relativ kostengünstig. Allerdings haftet ihnen auch eine gewisse Unsicherheit an. Nach STOFFEL verbleibt durch menschliches Fehlverhalten oder Fehleinschätzung ein Restrisiko. (Schweizer, 2006) Dieses Restrisiko existiert bei den permanenten Maßnahmen genauso, allerdings ist es hier etwas höher, da Entscheidungen oft spontan und unter Zeitdruck getroffen werden müssen.

- Lawinenwarnung
- Lawinenprognose
- kurz- und langfristige Sperrung von Anlagen
- Absperrung von Siedlungsbereichen

(Rudolf-Miklau and Sauermoser, 2011)

1.1.2 Aktiver Lawinenschutz

Aktiver Lawinenschutz wirkt direkt auf die Entstehung oder den Prozess eines Lawinenabganges ein.

Aktiv permanente Maßnahmen

Aktiv permanente Maßnahmen haben zum Ziel, entweder das Anbrechen einer Lawine durch Abstützung der Schneedecke und Unterbindung der Schneeverfrachtung zu verhindern oder die abstürzende Lawine zu bremsen, aufzufangen und wegzuleiten. Aktiv permanenter Lawinenschutz kann also mit technischer Verbauung gleichgesetzt werden. (Rudolf-Miklau and Sauer Moser, 2011) Die Maßnahmen umfassen:

- Verwehungsverbauung
- Anbruchverbauung
- Auffang- und Bremsverbauung
- Ablenkverbauung und Überleitungsbauwerke
- Einzelobjekt Schutz

Auch die forstlich-biologischen Maßnahmen wie etwa Aufforstung und Schutzwaldbewirtschaftung sind zu den aktiv permanenten Maßnahmen zu zählen.

Aktiv temporäre Maßnahmen

Die aktiv temporäre Maßnahme ist eine künstliche Lawinenauslösung. Wie die aktiv permanenten Maßnahmen wirkt sie direkt auf den Prozess der Lawine. Nach STOFFEL, NAIRZ und SAUERMOSEER ist das Ziel, durch das Auslösen von mehreren kleinen Lawinen mit keiner oder geringer Schadenswirkung, den Hang zu sichern und die Entstehung großer Katastrophenlawinen zu verhindern. (Rudolf-Miklau and Sauer Moser, 2011) Um welche Maßnahmen es sich hier genau handelt, wird in [Abschnitt 2.4](#) ausführlicher erklärt.

1.2 Problemstellung

Das Streckennetz der Österreichischen Bundes Bahnen (ÖBB) wird in Österreich mehrere Monate im Jahr an vielen Stellen durch Lawinen bedroht. Von ca. 4900 Streckenkilometern sind 250 km gefährdet. Diese 4 - 5% werden durch 11 interne Lawinenkommissionen abgesichert. Durch das Eisenbahngesetz ist der Infrastrukturbetreiber zum Aufrechterhalten eines sicheren Bahnbetriebes und dadurch zum Schutz vor Naturgefahren verpflichtet. (Brucker, 2013) Bis jetzt wurde dieser Gefahr hauptsächlich mit permanentem Lawinenschutz wie z.B. Lawinenanbruchsverbauungen und Lawinenkommissionen begegnet. Da die Verbauungen jedoch mit hohen Kosten verbunden sind und die durch

die Lawinenkommissionen verfügten Streckensperren den Bahnbetrieb erschweren, ist die ÖBB an der günstigeren und flexibleren Alternative der künstlichen Lawinenauslösung interessiert. Im Vergleich zu permanenten Schutzanlagen ist die Investitionserfordernis bei künstlichen Auslöseanlagen wesentlich günstiger und ihre übliche Nutzungsdauer entspricht weitgehend der Nutzungsdauer von Gleisanlagen. Dadurch ist eine wesentlich flexiblere Investitionsplanung und höhere Wirtschaftlichkeit zu erwarten. Künstliche Auslöseanlagen erfordern jedoch einen konstanten Personalstand mit hoher Ausbildung. Bei landesweit großer räumlicher Verteilung der Anlagen (11 Lawinenkommissionen) kann der Aufwand und die Personalkosten somit hoch sein. Daher kommt für eine umfassende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung die Berücksichtigung sämtlicher in der Nutzungsdauer anfallenden Kosten hohe Bedeutung zu. Eine praktische Diskussion zu diesem Thema erlaubt zur Zeit die Liesgele-Lawine am Südportal der ÖBB-Tauernstrecke.

1.3 Fragestellung

Diese Arbeit soll im wesentlichen drei Fragen klären:

1. **Was sind die Kostentreiber einer Anlage zur künstlichen Lawinenauslösung, die zur Sicherung von Verkehrswegen eingesetzt wird?**
2. **Wie verhalten sich die Kosten der künstlichen Lawinenauslösung im Vergleich zu einer permanenten Anbruchverbauung?**
3. **Welches System wäre am besten zur Sicherung der Tauernschleuse Mallnitz geeignet?**

1.4 Methodik

Das Ziel dieser Arbeit ist, die oben stehenden Fragen mit Hilfe eines "life cycle costings" (LCC) und einer praktischen Diskussion zu beantworten. LCC ist eine betriebswirtschaftliche Methode, bei der die gesamten, innerhalb der Lebensspanne einer Anlage oder eines wirtschaftlichen Gutes anfallenden Kosten aggregiert und somit vergleichbar gemacht werden.

Zunächst wird in [Kapitel 2](#) die künstliche Lawinenauslösung an sich behandelt. Es wird besprochen, warum Lawinen anbrechen, wie eine Detonation dies erzwingen kann und was die entscheidenden Faktoren dabei sind. Danach wird ein Überblick über die in Österreich gängigen Methoden der künstlichen Lawinenauslösung gegeben. Diese Informationen sollen in die Diskussion am Ende dieser Arbeit einfließen.

Für die Berechnung des LCC werden Daten von verschiedenen, bereits existierenden Lawinensprenganlagen herangezogen. [Kapitel 3](#) beschreibt, wie mit Hilfe eines Fragebogens, der an Betreiber solcher Anlagen verschickt wurde, deren totale Kosten aus Kauf,

1 Einleitung

Bau und Betrieb erhoben wurden.

Die mit dieser Umfrage evaluierten Sprenganlagen werden in [Kapitel 4](#) berechnet. Die aggregierten Kosten, die aus dem LCC hervorgehen, werden mit Hilfe der Kapitalwert- und der Annuitätenmethode untersucht. Damit sollte es möglich sein, die Kostentreiber einer Anlage zur künstlichen Lawinenauslösung zu identifizieren.

Das Wissen aus [Kapitel 2](#) und die Ergebnisse aus [Kapitel 4](#) fließen in die praktische Diskussion ein. Die ÖBB möchte in Mallnitz (Kärnten) einen Abschnitt ihrer Gleisanlagen mittels künstlicher Lawinenauslösung sichern. [Kapitel 5](#) soll klären, welches der Systeme aus [Kapitel 2](#) dafür am geeignetsten wäre.

Weiters soll untersucht werden, wie sich in diesem konkreten Beispiel die Kosten der künstlichen Lawinenauslösung zu den Kosten der technischen Vollverbauung verhalten. Dazu wird auch ein LCC für eine Vollverbauung durchgeführt, die nötig wäre, um den Streckenabschnitt in Mallnitz zu sichern und mit dem LCC der künstlichen Lawinenauslösung verglichen.

2 Künstliche Lawinenauslösung

2.1 Voraussetzungen

Lawinen wurden inzwischen eingehend untersucht. Nach GUBLER und SALM kann man sie nach äußerlich beobachteten Merkmalen in Anbruchgebiet, Sturzbahn und Ablageungsgebiet klassifizieren. Man unterscheidet Schneebretter, Lockerschneelawinen, Oberlawinen, Bodenlawinen, Trockenschneelawinen, Nassschneelawinen, Flächenlawinen, Runsenlawinen, Staublawinen und Fließlawinen. Außerdem kann man Lawinen noch nach ihrer Größe und Häufigkeit in "Hanglawinen" und "Katastrophenlawinen" unterteilen. (Gubler and Salm, 1996) Vereinfacht kann man sagen, Lawinen sind Schneemassen, die auf ihrer Unterlage abrutschen (Roth, 2013). Damit sich eine Lawine löst, sind vier Faktoren nötig.

1. Eine oberste Schicht gebundener oder ungebundener Schnee. Ob die Schneekristalle untereinander verzahnt oder durch Brücken verbunden sind, entscheidet darüber, ob es sich um ein Schneebrett oder eine Lockerschneelawine handelt.
2. Eine Fläche, auf der der Schnee abrutschen kann. Hierbei kann es sich um eine Schwachschicht, nasses Gras, glatter Fels, ect. handeln.
3. Genügend Neigung. Die meisten Schneebrettlawinen lösen sich bei 30° Neigung und darüber.
4. Die treibenden Kräfte müssen größer sein als die rückhaltenden Kräfte. Die rückhaltende Kraft ist die Reibung innerhalb des Schnees. Die treibenden Kräfte bestehen aus der Gewichtskraft des Schnees, abhängig von der Neigung plus möglicher Zusatzlast.

(Roth, 2013)

Und hier, an dieser möglichen Zusatzlast, setzt die künstliche Lawinenauslösung an. Alle künstlichen Auslösesysteme, die in Österreich erlaubt sind, versuchen mithilfe einer Druckwelle eine zusätzliche, momentane Last auf die Schneedecke aufzubringen, um die Lawine zu lösen.

2.2 Grundlagen

Nach Petri et al. (2010) versteht man unter einer Explosion "... die durch eine äußere Energiezufuhr ausgelöste, exotherme Reaktion von Sprengstoffen (Oxidationsvorgang),

2 Künstliche Lawinenauslösung

bei der schlagartig große Gasmengen freigesetzt werden."Dieses schlagartige Freiwerden von Gasen erzeugt zunächst eine Schockwelle aufgrund der Zunahme der Teilchengeschwindigkeit an der Druckwellenfront. Daraus entwickelt sich eine N-förmige Luftdruckwelle, die schließlich in eine akustische Welle übergeht (Abbildung 2.1). Während die Druckwelle vom Schnee sehr effektiv absorbiert wird und nur lokale Brüche in der Schneestruktur verursacht, können sich die N-Wellen gegen den geringen Widerstand der Luft weit ausbreiten, in die Schneedecke eindringen und Spannungen im Eisgerüst erzeugen. (Gubler et al., 2012) Diese Spannungen können als Zusatzbelastungen angesehen werden.

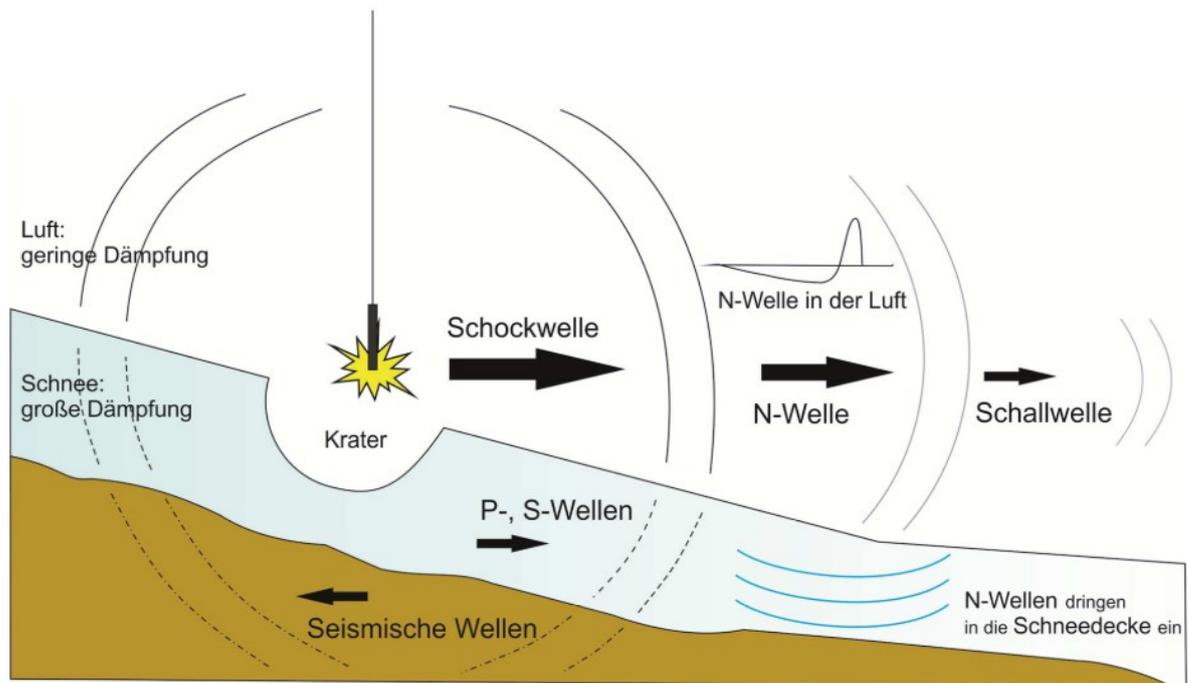


Abbildung 2.1: Grafische Darstellung einer Detonation und deren Wirkung auf die Schneedecke. (Gubler et al., 2012).

Die Sprengwirkung definiert die Größe der künstlichen Zusatzbelastung, die auf die Schneedecke wirkt. Die Wirkungszone ergibt sich aus der Kreisfläche der Sprengwirkung mit dem Sprengpunkt als Mittelpunkt. (Stoffel, 1996) Beide Faktoren sollten möglichst groß sein. Die Beschaffenheit von Sprengwirkung und Wirkungszone ist von vier Faktoren abhängig: Sprengstoff, Ladungsmenge, Sprengpunkthöhe und Optimierung der Wirkungszone.

2.2.1 Sprengstoff

Laut Stoffel (1996) ist für Sprengarbeiten über Schnee das Arbeitsvermögen des Sprengstoffes der entscheidende Faktor. Das Arbeitsvermögen beschreibt, welchen Impuls die Detonation auf ein Medium bewirkt. Daraus ergibt sich, je höher die Detonationsge-

schwindigkeit ist, desto besser. Sie sollte aber mindestens über 4000 m/s liegen. Bei der Zündung von Gas-Luft-Gemischen ist zu beachten, dass aufgrund der langsamen Verbrennungsgeschwindigkeit für die selbe Wirkung eine vielfache größere Explosion erzeugt werden muss. Bei Sprengungen auf oder in der Schneedecke spielt hingegen die Detonationsgeschwindigkeit keine so große Rolle. Gasvolumen und Explosionswärme werden hier zum entscheidenden Faktor. (Gubler et al., 2012) Es kann allerdings nicht jeder Sprengstoff, der bloß die technischen Anforderungen erfüllt eingesetzt werden. Zum Beispiel verlieren Sprengstoffe, die auf Sprengöl (Nitroglykol) basieren oder es enthalten, bei Temperaturen unter -22°C ihre Handhabungssicherheit, weil das Nitroglykol auskristallisiert und schlagempfindlich wird. (Petri et al., 2010) Da bei Lawinensprengungen mit derartigen Temperaturen zu rechnen ist, sollten diese Sprengstoffe nicht eingesetzt werden.

2.2.2 Ladungsgröße

Allgemein gilt, je größer die Ladungsmenge, desto größer die Sprengwirkung und die Wirkungszone. (Stoffel, 1996) Dieser Zusammenhang ist jedoch nicht linear. Nach Gubler (1983) gilt die Formel:

$$S/S_o = \sqrt[2]{W/W_o}$$

S/S_o : Radien der Wirkungszone

W/W_o : Entsprechende Ladungsgewichte.

Daraus folgt, dass eine Verdoppelung des Ladungsgewichtes zu einer Erhöhung des Wirkungsradius von rund 40% führt. Die Sprengwirkung steigt um den Faktor 1.5. (Stoffel, 1996)

2.2.3 Sprengpunkthöhe

Von großer Bedeutung für den Sprengerfolg ist die Sprengpunkthöhe. Die optimale Höhe für die Zündung der Ladung liegt zwischen 1.5 und 3.5 Metern über der Schneeoberfläche. Meist wird die Sprengpunkthöhe von der Topografie bestimmt. (Gubler et al., 2012) Aber auch die Schneedeckenstabilität und die Größe des Anrissgebietes spielen eine Rolle. (Stoffel, 1996) Die schlechteste Wirkung erzielt eine Ladung innerhalb der Schneedecke. Obwohl die Detonation eine höhere Belastung in der Schneedecke erzeugt, sinkt der Wirkungsradius. (Gubler et al., 2012) Grund dafür ist die oben erwähnte, geringe Ausbreitung der N-Wellen im Medium Schnee.

2.2.4 Optimierung der Wirkungszone

Ein Faktor, der sich stark negativ auf die Wirkungszone auswirken kann, ist der "Druckschatten". Eingeschneite Hänge sind keine homogenen Flächen. Durch Mulden, Felsen, Wächten ect., bilden sich ein Macro- und ein Microrelief aus. Alle Punkte, die von der

Sprengladung aus nicht sichtbar sind, werden von der Druckwelle nicht erreicht und liegen somit im Druckschatten. (Stoffel, 1996) Dadurch wird die Fläche der Wirkungszone reduziert. Entscheidend für die Optimierung der Wirkungszone ist Sprengpunktwahl, also die Wahl des Sprengpunktes auf das Relief des Hanges bezogen und Sprengpunkthöhe. So besitzen Sprengpunkte in Mulden eine höhere Sprengwirkung als solche auf konvexen Lagen. (Stoffel, 1996) Auch die Wirkrichtung spielt eine Rolle. Während Überschneespaltungen eine kugelförmige, nach allen Richtungen hin gleich starke Druckwelle erzeugen (Abbildung 2.1), wirkt GAZ.EX strahlförmig von schräg oben und eignet sich daher vor allem für Mulden und Runsen.

2.3 Bedingungen

Um die künstliche Lawinenauslösung anwenden zu können, müssen einige Kriterien erfüllt werden.

- In der gesamten Lawinenbahn darf keine Gefahr für Menschen und Anlagen bestehen. Das Gebiet muss also abgesperrt und überprüft/beobachtet werden können.
- Für die ausführende Mannschaft darf beim Zugang sowie durch die angewandte Auslösemethode keine bzw. verantwortbare Gefährdung vorliegen. Es müssen also die Ausmaße und die Laufweite der zu sprengenden Lawine abschätzbar sein.
- Eine wirksame Auslösemethode und Erfolgskontrolle ist anzuwenden.
- Die Methode muss oft und permanent wiederholbar sein.
- Schädliche bzw. gefährliche Nebenwirkungen müssen vermieden werden. Zum Beispiel Sekundärlawinen und Blindgänger.

(Rabofsky et al., 2000)

2.4 Methoden der künstlichen Lawinenauslösung

In Österreich haben sich mit der Zeit unterschiedlichste Methoden zum Lösen von Lawinen entwickelt. Die meisten Systeme verwenden eine durch Explosion erzeugte Druckwelle. Methoden ohne Sprengstoff, wie zum Beispiel das Einkippen großer Schneemengen über Rutschen und Wippen oder Einschieben von zusätzlichem Schnee mittels Pistengeräten in gefährdete Hänge haben sich als wenig effektiv oder zu gefährlich erwiesen und werden kaum angewendet. (Stoffel, 1996) Während sich in Österreich und der Schweiz hauptsächlich Methoden und Anlagen die auf Sprengstoff basieren entwickelt wurden, hat man in Frankreich, aufgrund strengerer Sprengmittelgesetze, Systeme entwickelt, die mittels Zündung von Gas-Luft-Gemischen Druckwellen erzeugen. Es gibt viele verschiedene Arten und Hersteller solcher Systeme und es kommen laufend welche hinzu. Hier sollen die derzeit gängigsten Systeme kurz beschrieben werden.

2.4.1 Handsprengung

Bei der Handsprengung werden einzelne, mit Sprengkapsel und Zeitzündschnur versehene Ladungen in das Anbruchgebiet eingeworfen oder durch Eingleiten vor Ort gebracht. In Österreich ist nur der "gesicherte Wurf" erlaubt. Dabei ist die Ladung mittels einer Leine gesichert. (Rabofsky et al., 2000) Dies hat den Vorteil, dass die Ladung im Falle eines Blindgängers rückholbar ist. Weiters kann der ideale Sprengpunkt leichter getroffen, eingesunkene Ladungen an die Oberfläche zurück geholt und das Abgleiten an harter Schneeoberfläche verhindert werden. (Stoffel, 1996) Technische Hilfsmittel wie der Sprengschlitten, Gratausleger und handbetriebene Sprengseilbahnen zählen ebenfalls zur Handsprengung. Der Vorteil des Systems liegt in seinen geringen Kosten und der flexiblen Wahl des Sprengpunktes. (Stoffel, 1996) Der Nachteil liegt in der Gefährdung für die Mannschaft auf dem Weg zum Sprengpunkt, falls diese sich überhaupt auf den Weg machen kann. Dunkelheit, schlechtes Wetter und die allgemeine Lawinensituation unterwegs können die Mannschaft stark behindern, bzw. den Aufstieg überhaupt unmöglich machen. Dadurch bietet sich die Handsprengung hauptsächlich für die Sicherung von Ski-gebieten an. Die Mannschaft kommt hier mit den Liftanlagen und Pistengeräten relativ schnell in das betroffene Gebiet.

2.4.2 Helikoptersprengung

Bei der Helikoptersprengung werden Ladungen von meist 4 bis 5 kg per Hand aus dem Hubschrauber geworfen. Der Vorteil liegt im sehr schnellen und kostengünstigen Einsatz mit unbegrenzter Reichweite. (Stoffel, 1996) Der Nachteil ist ähnlich wie bei der Handsprengung, dass, falls überhaupt ein Helikopter zur Verfügung steht, dieser nur bei klarer Sicht und am Tag fliegen kann. Nebel, dichter Schneefall und Dunkelheit halten den Hubschrauber, der nur auf Sicht fliegen kann, am Boden fest. Weiters verlangt das Manöver, während des Abwurfes möglichst nahe am Berg in der Luft zu stehen und der möglicherweise von den Rotoren aufgewirbelte Schnee dem Piloten großes fliegerisches Geschick ab und ist riskant. Weiters handelt es sich bei den abgeworfenen Sprengsätzen um ungesicherte Ladungen, die an der Schneeoberfläche abrutschen oder darin einsinken können. (Gubler et al., 2012)

2.4.3 Sprengseilbahnen

Bei Sprengseilbahnen können an einem rundlaufenden Seil hängende Sprengladungen durch entsprechende Seilführung über Stützen, diverse Sprengpunkte erreicht und auch ohne Sichtkontakt gesprengt werden. (Rabofsky et al., 2000) Durch spezielle Absenkergeräte kann die Ladung bis zur Schneeoberfläche hinunter gelassen und danach wieder auf die gewünschte Sprenghöhe hochgezogen werden. Gezündet werden die bis zu 5 kg schweren Ladungen meist mit doppelten Sicherheitszündschnüren oder bei moderneren Anlagen mittels Funk. Zu beachten ist, dass die Antriebsstation, der Zugang zu selbiger und die Stützen lawinensicher sind. (Petri et al., 2010) Probleme des Systems sind die hohe Fehleranfälligkeit und die aufwändige Instandhaltung. Weiters entsteht ein gewal-

tiger Zeitaufwand, wenn man mit einer Anlage mehrere Sprengpunkte auslösen will, da sie alle einzeln und nacheinander angefahren werden müssen. Ein Vorteil des Systems ist die Rückholbarkeit von Blindgängern.

2.4.4 Lawinenwächter und Einzelwurfrohre

Bei Lawinenwächtern und Wurfrohren handelt es sich um Wurfanlagen. Die Sprengladungen werden mit Hilfe von Treibladungen oder Gasdruck in das Anbruchgebiet geschossen und detonieren dort.

Lawinenwächter

Der Lawinenwächter, früher auch Lawinenorgel genannt, besteht aus einem Mast, der gut zugänglich in der Nähe des Anbruchgebietes steht. Auf dem Mast werden ein bis zwei Schutzkästen mit je 10 Sprengladungen montiert. Nach Aktivierung des Systems per Computer öffnen sich die Türen der Magazinkästen und die Sprengladungen werden auf zuvor eingeschossene Auslösepunkte ausgeworfen. Die Reichweite beträgt hierbei zwischen 50 und 150 m. Der Lawinenwächter kann somit multiple Auslösepunkte sichern und ist Wetter und Sicht unabhängig. (Inauen-Schätti, 2017) Der Nachteil des Systems liegt darin, dass die ausgeworfenen Ladungen im schlimmsten Fall auf der harten Schneedecke abrutschen können, auf jeden Fall aber in die Schneedecke einsinken und dort detonieren. (Gubler et al., 2012)



Abbildung 2.2: Der Lawinenwächter der Firma Inauen-Schätti. Im linken Bild der Mast mit zwei Schutzkästen. Im mittleren Bild sieht man die aufmagazinierten Abschussvorrichtungen bei geöffneter Tür des Schutzkastens. Im rechten Bild wird gerade eine Sprengladung ausgeworfen. (Inauen-Schätti, 2017).

Einzelwurfrohr

Das Einzelwurfrohr, auch Lawinenpfeife genannt, ist ein kostengünstiges Hilfsmittel für den Sprengmeister. Mit ihm ist es möglich eine 2,7 kg Ladung 50 bis 250 m weit zu verschießen. Das Wurfrohr kann sowohl stationär eingesetzt werden als auch mobil auf einem Fahrzeug montiert werden. (Inauen-Schätti, 2017)



Abbildung 2.3: Die Lawinenpfeife der Firma Inauen-Schätti. Links im Bild wird sie gerade geladen. Im rechten Bild sieht man die mobile Version auf einem Pistengerät. (Inauen-Schätti, 2017).

Avalancheur

Ein Spezialfall des Einzelwurfrohres ist der Avalancheur. Diese aus Frankreich stammende Luftdruckkanone, verschießt eine fast 2 m lange, mit Flüssigsprennstoff gefüllte Lanze. Die beiden Komponenten des Flüssigsprennstoffes werden erst kurz vor Abschuss gemischt und werden beim Auftreffen der Lanze gezündet. (Stoffel, 1996) Kommt es zu einem Blingänger, da der Aufschlagzünder wegen eines zu flachen Auftreffwinkels nicht auslöst, wird der Sprengstoff innerhalb von 24 bis 48 Stunden inert. (Gubler et al., 2012) Die Reichweite des Avalancheurs beträgt je nach Ausführung von 1080 m (Stoffel, 1996) bis 2000 m nach STOFFEL, NAIRZ und SAUERMOSER (Rudolf-Miklau and Sauer-moser, 2011). Die Vorteile des Systemes sind, dass es ein kostengünstiges System ist, die Sprengung über der Schneedecke erfolgt und sehr viele Auslösepunkte auch ohne Sicht erreicht werden können wenn sie zuvor eingeschossen wurden. (Stoffel, 1996)



Abbildung 2.4: Ein Avalancheur der Firma Lacroix (Lacroix, 2018)

Grundsätzlich gilt für alle oben beschriebenen Wurfanlagen, dass die Treffergenauigkeit mit zunehmender Distanz und Wind abnimmt. (Gubler et al., 2012)

2.4.5 Sprengmast

Der Sprengmast wird im Anrissgebiet über dem Auslösepunkt montiert. Wird der Mast über einen PC per Funk aktiviert, fällt aus einem Magazin an der Mastspitze eine Sprengladung an einer Leine und wird in der Luft gezündet. Ein großer Vorteil nach STOFFEL, NAIRZ und SAUERMOSER ist, dass ein leeres Magazin von einem Hubschrauber mit einer Heliklinke geholt werden und durch ein volles ersetzt werden kann. (Rudolf-Miklau and Sauer Moser, 2011) Weitere Vorteile des Systemes sind, dass es zu jeder Zeit aus der Ferne gesteuert werden kann, die Sprengung über der Schneedecke erfolgt und leere Magazine rasch ersetzt werden können. Dem gegenüber steht, dass ein Sprengmast nur jeweils einen fixen Sprengpunkt abdeckt. Allerdings besitzt ein Sprengmast durch Verwendung sehr großer Sprengladungen (bis 10 kg) auch einen großen Wirkungsradius.



Abbildung 2.5: Ein Sprengmast der Firma Wyssen. Zu sehen ist die orange Sprengladung die an einer Leine aus dem Trommelmagazin an der Mastspitze hängt, kurz vor der Detonation. (Wyssen, 2018)

2.4.6 GAZ.EX

Das GAZ.EX System ist eine Erfindung der Firma TAS. Die Auslöseeinheit besteht aus einem gegen die Schneedecke gekrümmten Metallrohr im Auslösegebiet. Per Funkbefehl wird von einer Gaszentrale ein Propan-Sauerstoff-Gemisch durch eine Zuleitung in das Zündrohr eingebracht und gezündet. Das Zündrohr gibt es in verschiedenen Größen von 0,8 bis 4,5 m³. Nach STOFFEL, NAIRZ und SAUERMOSER reicht der Gasvorrat im Idealfall für den ganzen Winter. (Rudolf-Miklau and Sauermoser, 2011) An eine Gaszentrale können bis zu 5 Zündrohre angeschlossen werden. Das GAZ.EX-System gilt als sehr wirkungsvolles System das wetterunabhängig fernausgelöst werden kann und billig in der Erhaltung ist. Dem gegenüber stehen ein fixer Auslösepunkt und hohe Baukosten. (Stoffel, 1996)



Abbildung 2.6: Das Zündrohr einer GAZ.EX-Anlage. (snowbrains.com, 2018)

Die Verwendung von Militärwaffen, wie etwa PAR-Rohren oder Granatwerfern, sowie vorverlegten Minenfeldern ist in Österreich nicht erlaubt.

2.5 Detektionssysteme

Die erfolgreiche Auslösung einer Lawine ist nicht immer ohne weiteres feststellbar. Selbst ein Sprengtrupp vor Ort kann zwar meist den Sprengerfolg, also die erfolgte Detonation der Sprengladung feststellen, jedoch nicht immer die erfolgreiche Lawinenauslösung, da

das Anbruchgebiet oft unterhalb einer Schneewächte oder Geländekante liegt und nicht einsehbar ist. Hier können Beobachter an anderen Positionen, z.B. am Gegenhang oder aus einem Hubschrauber heraus Abhilfe schaffen. Doch auch diesen kann die Detektion wegen eingeschränkten Sichtverhältnissen durch Dunkelheit, Nebel und Schneefall unmöglich gemacht werden, zumindest zeitgleich mit der Sprengung. Bei automatisierten Auslösesystemen, wo niemand vor Ort ist, ist selbst die Feststellung des Sprengerfolges schwierig. Um die Auslösung von Lawinen festzustellen werden daher elektronische Systeme eingesetzt, die die Bewegung einer Lawine verlässlich registrieren können. Dazu wurde eine Vielzahl von Gerätschaften entwickelt, die auf den unterschiedlichsten Messungen basieren.

Infrasound

Bei Infrasound handelt es sich um nicht hörbare Schallwellen mit einer Frequenz, kleiner als 20 Hz. Lawinen mit einem starken, turbulenten Fließanteil können diese Wellen erzeugen, die sich beinahe ungehindert durch die Atmosphäre verbreiten können. (Kienberger, 2013) Gemessen werden diese Wellen von speziellen Mikrofonen. Durch den Einsatz mehrerer, räumlich getrennter Mikrofone kann ein Computer den Lawinenabgang detektieren und deren Bewegung im Lawinenzug und Geschwindigkeit errechnen. (Burkard and Gauderon, 2008) Beispiele solcher Infrasound-Systeme sind Arfang (IAV Engineering), Avalanche Sentry (Ernest Scott / Inter-Mountain Labs) und IDA (Wyssen).

Radar

Radar misst mithilfe von reflektierten elektromagnetischen Wellen und deren Laufzeit die Bewegung und Geschwindigkeit einer Lawine. (Kienberger, 2013) Die Geräte können entweder alleine am Gegenhang oder Talboden stehen und ganze Berghänge aufzeichnen oder direkt am Auslösesystem angebracht werden und dadurch nur einzelne Anbruchgebiete detektieren. Beispiele für Radargeräte zur Lawinendetektion sind das SR1000-10-P (IBTP-Koschuch e.U), LARA und SARA (Wyssen).

Seismik

Bei der Seismik handelt es sich um die Ausbreitung mechanischer Wellen in einem Festkörper. Erzeugt werden die Wellen bei einem Lawinenabgang durch die Reibung zwischen dem Fließkörper und dem Untergrund und können von Geophonen oder Seismometern gemessen werden. Das Geophon ist auch in der Lage Detonationen zu messen. (Kienberger, 2013) System SensAlpin (SensAlpin GmbH) ist ein Beispiel für auf Geophonen basierende Detektionssysteme.

Laser

Mittels Laserdistanzmessungen vor und nach der künstlichen Auslösung können Lawinenabgänge erkannt werden. Allerdings müssen für verlässliche Messergebnisse die Distanz zwischen Laser und Anbruchgebiet unter 800m liegen und der Einfallswinkel und

2 Künstliche Lawinenauslösung

die Sichtverhältnisse gut sein. Das Lasersystem ist daher Sicht- und wetterabhängig. (Burkard and Gauderon, 2008)

Die Erfolgskontrolle ist ein ungemein wichtiger Punkt bei der künstlichen Lawinenauslösung, entscheiden doch ihre Ergebnisse darüber, ob im Falle der Streckensicherung die Route wieder freigegeben wird oder nicht. All diese Geräte machen einen Beobachter vor Ort überflüssig und gewährleisten dadurch die in [Abschnitt 2.3](#) besprochenen Anforderungen an die Sicherheit des Bedienungspersonales und genügen damit auch dem Arbeitnehmerschutzgesetz. Spezielle Radargeräte sind sogar zur Personendetektion geeignet. Sie können feststellen ob das Einzugsgebiet der Lawine zum Zeitpunkt der Sprengung frei von Skifahrern ist. Seismik- und Infrasond-Systeme sind außerdem in der Lage permanent zu detektieren. Sie können dadurch zum Beispiel als Frühwarnanlagen auf Verkehrswegen eingesetzt werden.

3 Datenerhebung

Um für die Life Cycle Cost Analyse eine Datenbasis zu schaffen, mit der gerechnet werden kann, sollen die entstehenden Kosten direkt bei Anwendern solcher Anlagen erfragt werden. Zu diesem Zweck wurde ein Fragebogen entworfen und dann per Email ausgeschickt.

3.1 Fragebogen

Der Fragebogen besteht aus insgesamt 19 Seiten. Er wurde vom Autor mittels des Programmes "Adobe Acrobat DC" geschaffen und ist ein PDF-Format. Der Fragebogen kann entweder digital mithilfe eines PDF-Viewers ausgefüllt werden, oder ausgedruckt und per Hand beschrieben werden. Insgesamt gliedert sich der Fragebogen in vier Kapitel:

- Angaben zum Interviewpartner.
- Beschreibung der Anlage.
- Beschreibung des Gebietes in dem die Anlage steht.
- Kosten der Anlage.

Dem voraus gehen ein Deckblatt mit den Kontaktdaten des Autors, einer Erklärung des Autors und ein Inhaltsverzeichnis. Nach den Angaben zum Interviewpartner kommt die Beschreibung der Anlage.

Hier soll Größe und Umfang der gesamten Anlage erfasst werden. Diese Zahlen und Angaben dienen dazu unterschiedlich große Anlagen vergleichbar zu machen. Durch Systembezeichnung und Hersteller können von selbigen ergänzende Informationen angefordert werden. Die Größe der Anlage soll durch die Anzahl von vorhandenen Kommandozentralen, Sprengmasten oder Zündrohren, Gaszentralen, Sprengmagazinen und Seilbahnspannlänge erfasst werden. Die Kapazität des Sprengmittellagers und die Anzahl des benötigten Betriebspersonales können ebenfalls Hinweis auf die Größe der Anlage geben.

Durch die Fragen nach Anzahl und Größe der gesicherten Anbruchsflächen, sowie der Auslösefrequenz, sollte es möglich sein auf die Effizienz der Anlage zu schließen.

Außerdem wird noch die Art des Detektionssystemes und der Stromversorgung erhoben. Anschließend soll ein Überblick über das gesicherte Anbruchsgebiet gegeben werden. Hier wird nach Seehöhe, Exposition, Neigung, Schneehöhe und Bewaldung gefragt.

Das umfassendste Kapitel sind die Kosten der Anlage. Zunächst muss angekreuzt werden, in welcher Währung und aufgrund welcher Steuerbasis die Kosten angegeben wurden.

Zur Auswahl stehen Euro, Schweizer Franken und US Dollar, sowie ob die Angaben brutto oder netto sind. Für jeden Punkt ist es möglich anzugeben, ob es sich um fixe Kosten, also Kosten die einmalig anfallen, oder um laufende Kosten, also Kosten die jährlich anfallen, handelt. Bei einigen Posten kann der benötigte Stundenaufwand pro Jahr angegeben werden. Gefragt wird nach sieben verschiedenen Kategorien.

1. **Kosten Anlage:** Alle Kosten, die bei der Anschaffung der Anlage selbst und dem für ihren Betrieb benötigten Equipment anfallen.
2. **Installation Anlage:** Die Kosten, die beim Transport von Anlage und Baustoffen und ihrer Installation, sowie erstmaligen Inbetriebnahme anfallen.
3. **Laufender Betrieb:** Alle Kosten, die bei planmäßigem Betrieb entstehen.
4. **Unterhalt:** Kosten, die für die Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit der Anlage benötigt werden.
5. **Behördliche Auflagen:** Kontrolle der Anlage durch den TÜV.
6. **Geschätzte Ausscheidungskosten:** Die Kosten, die bei therotischem Rückbau und Entsorgung der Anlage anfallen würden.
7. **Sonstige Kosten:** Kosten, die in keine der obigen Kategorien passen.

Am Schluss befindet sich die Summe der Kosten. Das Formular rechnet automatisch sämtliche angegebenen Kosten, getrennt nach ihren Kategorien zusammen und bildet die Summe über die gesamten Kosten. Hier kann der Interviewte schnell überprüfen, ob seine Angaben stimmen oder ob er noch irgendwelche Kosten vergessen hat anzugeben.

3.2 Anwender

Um möglichst realistische Zahlen zu erhalten, wurde der Fragebogen an Betriebe verschickt, die derartige Systeme bereits tatsächlich zur Sicherung von Verkehrswegen einsetzen. Die Annahme war, dass Anlagen, die zur Sicherung von Wintersporteinrichtungen wie Skipisten und Liftanlagen eingesetzt werden, eine andere (vermutlich höhere) Sprengfrequenz aufweisen und dadurch andere Betriebskosten entstehen. Weiters ist die logistische Situation für den Betrieb von Lawinenauslösesystemen in Wintersportgebieten aufgrund von Liftanlagen anders.

Infrage kommende Betreiber solcher Anlagen sind Verkehrsbetriebe und Gemeinden. Da die Zahl solcher Betreiber in Österreich gering ist, wurde auch in der Schweiz angefragt. Von den ursprünglich 13 angefragten Betrieben erklärten sich fünf bereit bei der Datenerhebung zu helfen. Daraus ergaben sich sechs Anlagen, deren Errichtungs- und Betriebskosten erhoben wurden.

Die sechs ausgefüllten Fragebögen sind im Anhang zu finden. Die Angaben zu den Interviewpartnern wurden zur Wahrung der Anonymität geschwärzt.

3.3 Erhobene Anlagen

Es wurden sechs Anlagen erhoben. Darunter zwei Wyssen-Sprengmasten, zwei Innauen-Schätti Lawinenwächter, ein Lacroix Avalancheur und eine GAZ.EX-Anlage der Firma TAS.

3.3.1 Anlage 1

Bei Anlage 1 handelt es sich um einen Lawinenwächter der Firma Innauen-Schätti. Sie verfügt über eine Kommandozentrale, die zwei Masten mit drei Auslösekästen zu je 30 Zündrohren steuert. Diese beiden Masten können mit 7 Auslösepunkten auch 7 Anbruchflächen abdecken. Als Detektionssystem wird ein Geophon verwendet. Die Anlage ging 2004 in Betrieb und erreichte zum Zeitpunkt der Befragung 13 Betriebsjahre. Sie soll solange in Betrieb bleiben, solange sie ohne größeren Reparaturaufwand funktioniert. Laut Hersteller sind das 20 Jahre. Die Stromversorgung ist autark durch Solarpaneele gesichert und für den Betrieb wurde ein Sprengmittellager mit einer 100 kg Kapazität errichtet. Die Anlage liegt auf ca. 1870 m Seehöhe mit einer Exposition nach Südost und einer durchschnittlichen Neigung und 30 bis 35°.

3.3.2 Anlage 2

Anlage 2 ist der Lawinen-Sprengmast LS12-5 der Firma Wyssen. Vier Sprengmasten mit je einer 12 Schuss Trommel werden von einer Kommandozentrale aus gesteuert. Jeder Mast besitzt einen Auslösepunkt. Gemeinsam sichern sie 3 Anbruchflächen. Als Detektionssystem gibt es eine Webcam am Gegenhang. Zum Zwecke der Personendetektion ist eine Wärmebildkamera vorhanden. Die Anlage wurde 2014 errichtet und erreicht somit erst 2 Nutzungsjahre. Die geplante Nutzungsdauer beträgt 20 Jahre. Die Anlage ist autark durch Solarstrom und für den Betrieb wurde ein Sprengmittellager neu angeschafft. Das Lager hat eine Kapazität von 1000 kg und steht unter gemeinschaftlicher Nutzung. Dem Betreiber der Sprengmasten steht ein Viertel der Gesamtkapazität zur Verfügung, sprich 250 kg. Das gesicherte Anbruchgebiet liegt auf ca. 2400 m Seehöhe mit einer Exposition nach Nordosten und einer Neigung von 35-50°.

3.3.3 Anlage 3

Anlage 3 ist ein Avalancheur der Firma Lacroix. Das Einzelwurfrohr wird von einer Kommandozentrale gesteuert und erreicht 32 Auslösepunkte. Damit deckt es 17 Anbruchflächen ab. Die Bestätigung des Lawinenabganges erfolgt visuell durch einen Beobachter vor Ort. Das System wurde 2000 errichtet und hat eine erreichte Nutzungsdauer von 17 Jahren. Die geplante Nutzungsdauer ist 30 Jahre. Es existiert ein Sprengmittellager mit einer Kapazität von 600 kg und die Anlage verfügt über einen Stromanschluss. Das zu sichernde Gebiet liegt zwischen 2300 und 2600 m Seehöhe mit einer Exposition nach Nordwest und 36° Neigung.

3.3.4 Anlage 4

Anlage 4 besteht aus 12 Lawinensprengmasten der Firma Wyssen. Damit ist sie die größte erhobene Anlage. Sie benötigt zwei Kommandozentralen und sichert mit 12 Auslösepunkten auch 12 Anbruchflächen. Als Detektionssystem wird ein Radar der Firma Wyssen eingesetzt. Der Bau der Anlage begann 2009 und dauerte 3 Jahre. Innerhalb dieser Bauzeit nahm das System bereits seinen Dienst auf und hat inzwischen die ersten 8 Nutzungsjahre erreicht. Die geplante Nutzungsdauer beträgt 20 Jahre. Die Anlage ist autark durch Solarstrom und verfügt über ein Sprengmittellager mit einer Kapazität von 1500 kg. Das zu sichernde Gebiet liegt auf 2000 bis 2950 m Seehöhe, dessen Hänge eine Exposition Süd, Südost und Nord besitzen und eine durchschnittliche Neigung von 32 - 45°.

3.3.5 Anlage 5

Mit 11 Lawinenwächtern des Typs LW 2700 von Inauen und Schätti ist Anlage 4 das zweitgrößte erhobene System. Durch 17 Auslösepunkte sichert es genau so viele Anbruchflächen. Ein Geophon überwacht den Auslöseerfolg. Das System wurde 2005 errichtet und hat inzwischen 12 seiner 20 geplanten Nutzungsjahre erreicht. Es kann auf ein bereits bestehendes Sprengmittellager mit einer Kapazität 5000 kg zurückgegriffen werden, welches in gemeinsamer Nutzung steht. Betrieben wird die Anlage durch Solarstrom. Die Anlage liegt auf ca. 2000 m und sichert alle möglichen Expositionen. Die durchschnittliche Neigung beträgt 45°.

3.3.6 Anlage 6

Anlage 6 ist ein GAZ.EX-System der Firma TAS. Hier steuert eine Kommandozentrale zwei Zündrohre, die beide von einer Gaszentrale versorgt werden. Dadurch werden über zwei Auslösepunkte auch zwei Anbruchflächen gesichert. Ein Detektionssystem ist nicht vorhanden. Die Anlage ist seit 2011 im Einsatz und hat somit noch nicht ganz sieben Betriebsjahre hinter sich. Geplant sind 20. Die Stromversorgung läuft über Solarstrom. Ein Gaslager wird nicht benötigt, da Gas und Sauerstoff bei Bedarf kurzfristig von lokalen Lieferanten gekauft werden. Die Anlage liegt auf 1800 m Seehöhe mit einer östlichen Exposition und einer durchschnittlichen Neigung von 30°.

Es gilt noch anzumerken, dass es sich bei Anlage 2, 3 und 4 um Schweizer Anlagen und bei 1, 5 und 6 um österreichische Anlagen handelt.

3.4 Auffälligkeiten bei der Erhebung

Folgende Punkte fielen bei der Erhebung auf.

Detektionssystem

Keine der Anlagen, die über ein Detektionssystem verfügen, konnten Installationskosten für selbiges angeben. Die Kosten dafür gehen in den Beschaffungskosten und den Anlagen Installations-Kosten auf.

Geschätzte Ausscheidungskosten

Niemand der sechs Befragten konnte auf Anhieb Ausscheidungskosten für die Anlagen angeben. Erst auf Nachfrage wurden Schätzungen vorgenommen. Anscheinend wurde die Möglichkeit von Rückbau und Entsorgung der Gerätschaften während der Planungsphase nicht bedacht. Selbstverständlich ist ein totaler Abriss der Anlagen unwahrscheinlich, würde er doch das betreffende Gebiet ungesichert zurück lassen. Eine Modernisierung der Anlage oder das Ersetzen durch ein ähnliches System ist am Ende der Lebensphase viel wahrscheinlicher.

Installationskosten

Bei der Erhebung fiel auf, dass die Kosten von Anlagenbeschaffung und der Installation nicht klar voneinander abgegrenzt werden konnten. Vielfach gingen die Kosten ineinander auf. Dies geschah ebenfalls innerhalb dieser Kategorien. Zum Beispiel wurden die Kosten für die Fundamentierung in die Baustelleneinrichtung hineingerechnet und umgekehrt.

3.5 Umbuchungen

Anlage 1

1. Die Anlage soll solange in Betrieb bleiben, solange sie ohne größeren Reparaturaufwand läuft. Laut Herstellerangaben sind das ca. 20 Jahre. Diese werden als Lebensdauer angenommen.
2. Die laufenden Kosten für *1.3 PC und Software* wurden unter *4.3 Wartung* gerechnet.
3. Die laufenden Kosten von *1.7 Sonstiges* wurden unter *7. Sonstige Kosten* gerechnet.

Anlage 2

1. Die laufenden Kosten für *1.7 Sonstiges* wurden unter *4.3 Wartung* gerechnet.
2. Die laufenden Kosten für *2.7 Kleinmaterial* wurden unter *4.4. Ersatzteile* gerechnet.

3 Datenerhebung

Anlage 3

1. Die laufenden Kosten von *1.5 Spezialequipment* wurden unter *3.8 Sonstiges* gerechnet.
2. Die Kosten von *3.2 Munitionierung* bis *3.7 Situationsbewertung vor Sprengung* wurden als fixe Kosten angegeben, aber als laufende Kosten / Jahr gerechnet.
3. Die Kosten von *4.3 Wartung* wurden ebenfalls als fixe Kosten angegeben, aber als laufende Kosten / Jahr gerechnet.

Anlage 6

1. Die laufenden Kosten für *1.3 PC und Software* wurden unter *4.3 Wartung* gerechnet.

4 Life cycle costing

4.1 Allgemeines

Life cycle costing (LCC) ist ein Werkzeug um die totalen Kosten eines Gutes, die mit der Zeit anfallen, einzuschätzen. Dazu zählen die Anschaffung, der Betrieb, die Erhaltung und die Entsorgung des Gutes. Es kann sowohl für die Bewertung ganzer Systeme eingesetzt werden, als auch für die Komponenten oder Materialien, aus denen diese bestehen. Seine Hauptaufgabe ist der Vergleich von Optionen, deren Anfangs- und Folgekosten sich unterscheiden. (Langdon, 2007) Während man früher das Hauptaugenmerk auf die Beschaffungskosten legte, geht man heute verstärkt dazu über, die gesamten Kosten, die innerhalb der Lebensdauer eines Gutes anfallen, zu betrachten, da Betrieb und Erhalt die weitaus größeren Ausgaben verursachen können als die Anschaffung. Dadurch können langfristig betrachtet günstigere und effektivere Entscheidungen getroffen werden. (Langdon, 2007) Weiters ist LCC die Grundlage um die Nachhaltigkeit eines Systemes zu beschreiben. (Langdon, 2007) So geht LCC Hand in Hand mit "Life Cycle Assessment"(LCA), das sich mit dem innerhalb der Lebensdauer eines Gutes entstehenden Einfluss auf die Umwelt beschäftigt. (Allesch and Brunner, 2014)

4.1.1 Vorteile des life cycle costing

Die Anwendung des life cycle costings hat folgende Vorteile.

- Transparenz von zukünftigen Betriebskosten.
- Die Möglichkeit künftige Ausgaben zu planen.
- Verbesserte Wahrnehmung der totalen Kosten.
- Die Möglichkeit künftige Kosten bereits in der Planungsphase zu optimieren.
- Höherer Nutzen von Investitionen.
- Bessere Abstimmung auf Ausschreibungen.
- Vergleich von infrage kommenden Optionen.

(Langdon, 2007)

4.1.2 Ablauf des life cycle costing

Trotz bestehender Normen gibt es noch kein allgemein gültiges Ablaufschema für das LCC. Alle Verfahren besitzen jedoch einen sogenannten Kostenstrukturplan, eine Kostenschätzung, Diskontierung und Inflationsbereinigung. (Höhne, 2009) Daher wurde für diese Arbeit der folgende Ablauf festgelegt:

1. Zielfestlegung
2. Erstellung von Kostenstrukturplan und Informationsbeschaffung
3. Kostenmodellierung
4. Kostenaggregation
5. Kostenanalyse
6. Diskussion

Als Ziel des LCC wurde in [Abschnitt 1.3](#) die Identifizierung von Kostentreibern der künstlichen Lawinenauslösung festgelegt. Schritt zwei geschah im [Kapitel 3](#). Der Kostenstrukturplan untergliedert die Kosten nach Lebenszyklusphasen und klassifiziert sie in direkte und indirekte, variable und fixe, einmalige und wiederkehrende sowie Erst- und Folgekosten. (Höhne, 2009) Dadurch kann der Fragebogen, der zur Informationsbeschaffung ausgesickt wurde, als Kostenstrukturplan angesehen werden ([Tabelle 4.1](#)). Die Schritte 3 bis 5 erfolgen im [Abschnitt 4.2](#) und die Analyse im [Abschnitt 4.3](#).

Tabelle 4.1: Der für das life cycle costing benutzte Kostenstrukturplan.

1. Kosten Anlage	Fixe Kosten	Lauf. Kosten/Jahr
1.1 Anlage	-	-
1.2 Kontrollraum	-	-
1.3 PC und Software	-	-
1.4 Detektionssystem	-	-
1.5 Spezialequipment	-	-
1.6 Sprengmittellager/Gaslager	-	-
1.7 Sonstiges	-	-
2. Installation Anlage	Fixe Kosten	Lauf. Kosten/Jahr
2.1 Baustelleneinrichtung	-	-
2.2 Erdbau/Fundierung	-	-
2.3 Inst. Anlage	-	-
2.4 Inst. Detektionssystem	-	-
2.5 Transport Boden	-	-
2.6 Transport Luft	-	-
2.7 Kleinmaterial	-	-
2.8 Erstm. Inbetriebnahme	-	-
2.9 Einschulung Betriebspers.	-	-
2.10 Sonstiges	-	-
3. Laufender Betrieb	Fixe Kosten	Lauf. Kosten/Jahr
3.1 Munition/Gas	-	-
3.2 Munitionierung	-	-
3.3 Auslösung	-	-
3.4 Sperre währ. Sprengung	-	-
3.5 Blindgängerbeseitigung	-	-
3.6 Sprengung	-	-
3.7 Situationsbewertung	-	-
3.8 Sonstiges	-	-
4. Unterhalt	Fixe Kosten	Lauf. Kosten/Jahr
4.1 Betriebspersonal	-	-
4.2 Versicherung	-	-
4.3 Wartung	-	-
4.4 Ersatzteile	-	-
4.5 Wöchentlicher Check	-	-
5. Behördliche Auflagen	Fixe Kosten	Lauf. Kosten/Jahr
5.1 TÜV-Überprüfung	-	-
6. Geschä. Ausscheidung	Fixe Kosten	Lauf. Kosten/Jahr
6.1 Ausscheidungskosten	-	-
7. Sonstige Kosten	Fixe Kosten	Lauf. Kosten/Jahr
7.1 Sonstiges	-	-

4.2 Berechnung

Die Berechnungen wurden mittels Excel durchgeführt. Im ersten Schritt wurden die aus den Fragebögen stammenden Werte in Bezug auf Währung und Besteuerung vereinheitlicht. Es wurde mit den Nettokosten gerechnet. Die Bruttobeträge der österreichischen Anlagen wurden mittels eines Steuersatzes von 20 Prozent reduziert. Die Schweizer Anlagen mittels 8 Prozent. Als einheitliche Währung wird der Euro benutzt. Alle anderen Währungen wurden mit dem Wechselkurs vom 24.01.2018 umgerechnet. Mit diesen korrigierten Werten fand die eigentliche Berechnung statt.

Zunächst die Kostenmodellierung. Dabei wurde der Kostenstrukturplan durch Kostenschätzungen vervollständigt und die einzelnen Posten in dem Plan, differenziert nach der Zeit, aufgetragen. (Höhne, 2009) Dazu wurden, abhängig von der Lebensdauer, jährliche Perioden gebildet. In Periode null existieren nur die fixen Kosten der Anlagenbeschaffung, deren Installation und die Anschaffung von benötigtem Equipment. In den darauf folgenden Perioden erfolgt die Inflationsbereinigung. Es werden die jährlich anfallenden Kosten mit dem Faktor der Preissteigerung der Folgekosten multipliziert. Als Grundlage für die Inflationsbereinigung dient der "Baukostenindex für den Straßenbau ab Basisjahr 1990" der STATISTIK AUSTRIA vom 15.11.2017. Es wurden jedoch nicht alle Folgekosten inflationsbereinigt. Da sich Technologie und Herstellungsverfahren dauernd verbessern, sinken die Preise von hochwertigen Ersatzteilen und Wartungsarbeiten regelmäßig. (Wilhelm, 1997) Daher wurden hauptsächlich Kosten, die durch Löhne und in der Produktionskette weit unten liegende Güter entstehen, bereinigt. Im konkreten Fall betraf dies sämtliche laufenden Kosten von Kostenstelle "3. Laufender Betrieb", das "Betriebspersonal 4.1" sowie die laufenden Kosten von Kostenstelle 7. Die Kostenaggregation berücksichtigt nun den Zeitwert des Geldes und diskontiert die einzelnen Zahlungsströme. (Höhne, 2009) Dazu wurden die jeweiligen, einzelnen Posten der sieben Kostenstellen periodisch aufsummiert und zum Zwecke der Diskontierung mit dem entsprechenden Abzinsungsfaktor multipliziert. Der Abzinsungsfaktor für jede Periode ergibt sich aus $(1 + \text{Diskontsatz})^{-\text{Periode}}$. Die Summe aller Perioden ergibt den Kapitalwert jeder Kostenstelle (Tabelle 4.2).

Tabelle 4.2: Berechnete Kapitalwerte der gesamten Anlagen in EURO, gerundet.

Kostenstellen	Anl.1 [€]	Anl.2 [€]	Anl.3 [€]	Anl.4 [€]	Anl.5 [€]	Anl.6 [€]
<i>Nutzung [Jahre]</i>	20	20	30	20	20	20
<i>Sprengpunkte</i>	7	4	32	12	17	2
Kosten Anlage	143.600	505.240	83.165	1.495.416	1.791.369	112.374
Installation Anlage	16.000	182.417	4.685	5.466	31.220	47.370
Laufender Betrieb	94.793	72.058	392.901	337.733	76.871	14.219
Unterhalt	69.561	214.892	17.046	151.138	61.907	3.411
Behördl. Auflagen	0	0	3.841	0	0	0
Ausscheidungsk.	4.825	6.868	974	14.128	5.097	6.031
Sonstige Kosten	68.997	17.032	0	0	7.406	0
Summe	397.776	998.508	502.612	2.003.882	1.952.552	183.405

Der Kapitalwert ist also in diesem Fall die auf einen Bezugszeitpunkt abgezinste (diskontierte) Summe aller geplanten Auszahlungen. (Lück, 2004) Da die Anlagen eine unterschiedliche Nutzungsdauer aufweisen, ist es notwendig mittels Annuitätenrechnung zu normalisieren. Die Annuitätenmethode rechnet alle Zahlungen in gleich große, periodisch anfallende Mittelwerte um. (Schwab, 1999) Dazu wurden die Kapitalwerte mit dem Annuitätenfaktor multipliziert. Dieser errechnet sich aus der Lebens-/Nutzungsdauer der jeweiligen Anlage und dem Diskontsatz nach der Formel:

$$\frac{(1 + \text{Diskontsatz})^{\text{Nutzungsdauer}} \cdot \text{Diskontsatz}}{(1 + \text{Diskontsatz})^{\text{Nutzungsdauer}} - 1}$$

Als Diskontsatz wurden die ÖBB internen Refinanzierungskosten herangezogen. Diese lagen am 12.11.2017 bei 3,5 Prozent.

Tabelle 4.3: Berechnete Annuitäten der gesamten Anlagen in EURO, gerundet.

Kostenstellen	Anl.1 [€]	Anl.2 [€]	Anl.3 [€]	Anl.4 [€]	Anl.5 [€]	Anl.6 [€]
<i>Nutzung [Jahre]</i>	20	20	30	20	20	20
<i>Sprengpunkte</i>	7	4	32	12	17	2
Kosten Anlage	10.104	35.549	4.522	105.219	12.6043	7.907
Installation Anlage	1.126	12.835	255	385	2.197	3.333
Laufender Betrieb	6.670	5.070	21.363	23.763	5.409	1.000
Unterhalt	4.894	15.120	927	10.634	4.356	240
Behördl. Auflagen	0	0	209	0	0	0
Ausscheidungsk.	339	483	53	994	359	424
Sonstige Kosten	4.855	1.198	0	0	521	0
Summe	27.988	70.256	27.328	140.995	137.384	12.905

4 Life cycle costing

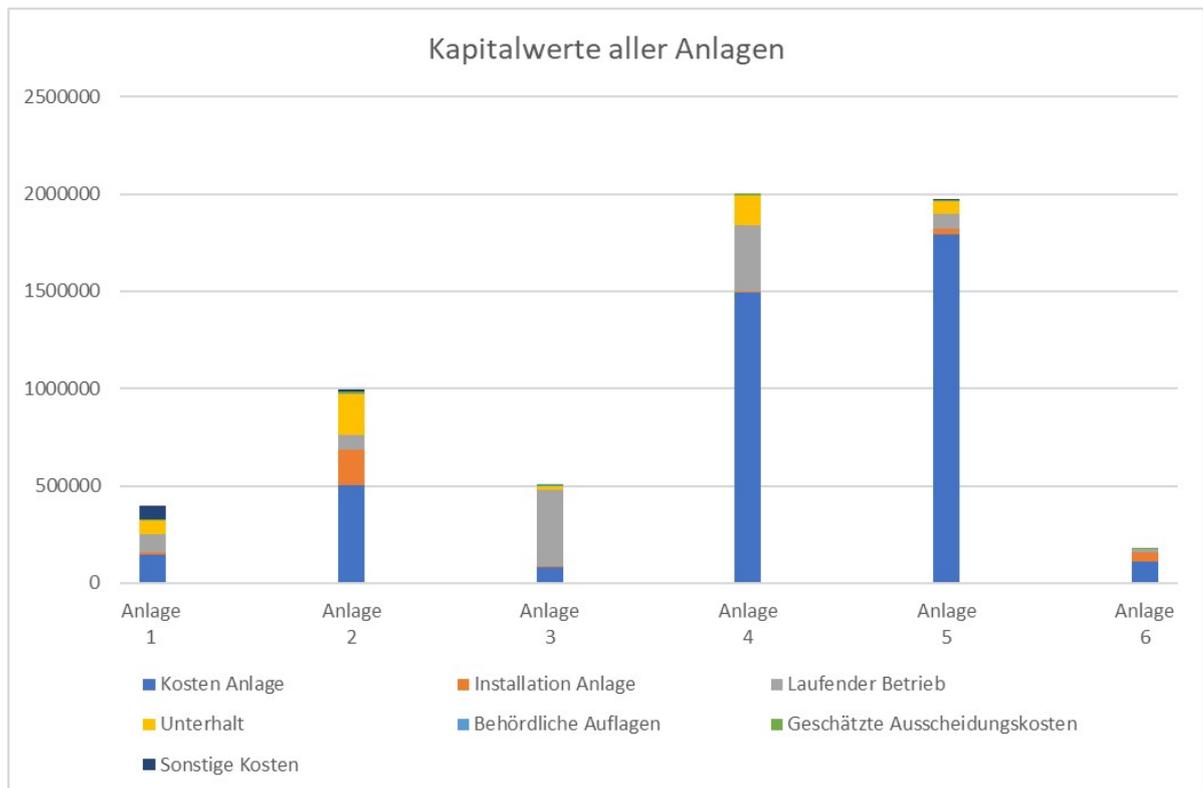


Abbildung 4.1: Berechnete Kapitalwerte der gesamten Anlagen in EURO, gerundet.

Das Diagramm aus [Abbildung 4.1](#) zeigt die Kapitalwerte aller Anlagen. Man sieht, dass Anlage 4 und 5 die höchsten Kapitalwerte aufweisen, da sie auch die mit Abstand größten Anlagen (mit den meisten Auslöseeinheiten) sind. Dieses Diagramm besitzt daher noch keine Aussagekraft, da die Anlagen eine unterschiedliche Größe aufweisen und nicht miteinander vergleichbar sind.

4.3 Ergebnisse

Für die Analyse der aggregierten Ergebnisse stehen die Kapitalwert- und die Annuitäten Methode zur Verfügung, beide Verfahren zählen zur dynamischen Investitionsrechnung. Da die Anlagen jedoch unterschiedliche Größen und Umfang aufweisen, werden die Kosten auf eine Auslöseeinheit (Mast, Zündrohr, ect.) herunter gebrochen, um sie vergleichbar zu machen.

Tabelle 4.4: Berechnete **Kapitalwerte aller Anlagen pro Auslöseeinheit** in EURO, gerundet.

Kostenstellen	Anl.1 [€]	Anl.2 [€]	Anl.3 [€]	Anl.4 [€]	Anl.5 [€]	Anl.6 [€]
<i>Nutzung [Jahre]</i>	20	20	30	20	20	20
<i>Sprengpunkte</i>	7	4	32	12	17	2
Kosten Anlage	71.800	126.310	83.165	123.618	162.852	56.187
Installation Anlage	8.000	45.604	4.685	456	2.838	23.685
Laufender Betrieb	47.397	18.015	392.901	28.144	6.988	7.109
Unterhalt	34.781	53.723	17.046	12.595	5.628	1.705
Behördl. Auflagen	0	0	3.841	0	0	0
Ausscheidungsk.	2.412	1.717	974	1.177	463	3.015
Sonstige Kosten	34.498	4.258	0	0	673	0
Summe	198.888	249.627	502.612	166.990	179.443	91.702

Tabelle 4.5: Berechnete **Annuitäten aller Anlagen pro Auslöseeinheit** in EURO, gerundet.

Kostenstellen	Anl.1 [€]	Anl.2 [€]	Anl.3 [€]	Anl.4 [€]	Anl.5 [€]	Anl.6 [€]
<i>Nutzung [Jahre]</i>	20	20	30	20	20	20
<i>Sprengpunkte</i>	7	4	32	12	17	2
Kosten Anlage	5.052	8.887	4.522	8.768	11.458	3.953
Installation Anlage	563	3.209	255	32	200	1.667
Laufender Betrieb	3.335	1.268	21.363	1.980	492	500
Unterhalt	2.447	3.780	806	927	396	120
Behördl. Auflagen	0	0	209	0	0	0
Ausscheidungsk.	170	121	53	83	33	212
Sonstige Kosten	2.427	300	0	0	47	0
Summe	13.994	17.564	27.328	11.750	12.489	6.452

Betrachtet man die Kapitalwerte und Annuitäten der verschiedenen Anlagen, sticht sofort Anlage 3 ins Auge (*Abbildung 4.2*). Anlage 3 ist ein Avalancheur der Firma Lacroix in der Schweiz. Obwohl er die geringsten Anlagen- und Installationskosten hat, explodieren die Betriebskosten geradezu und machen ihn insgesamt zur teuersten Anlage.

4 Life cycle costing

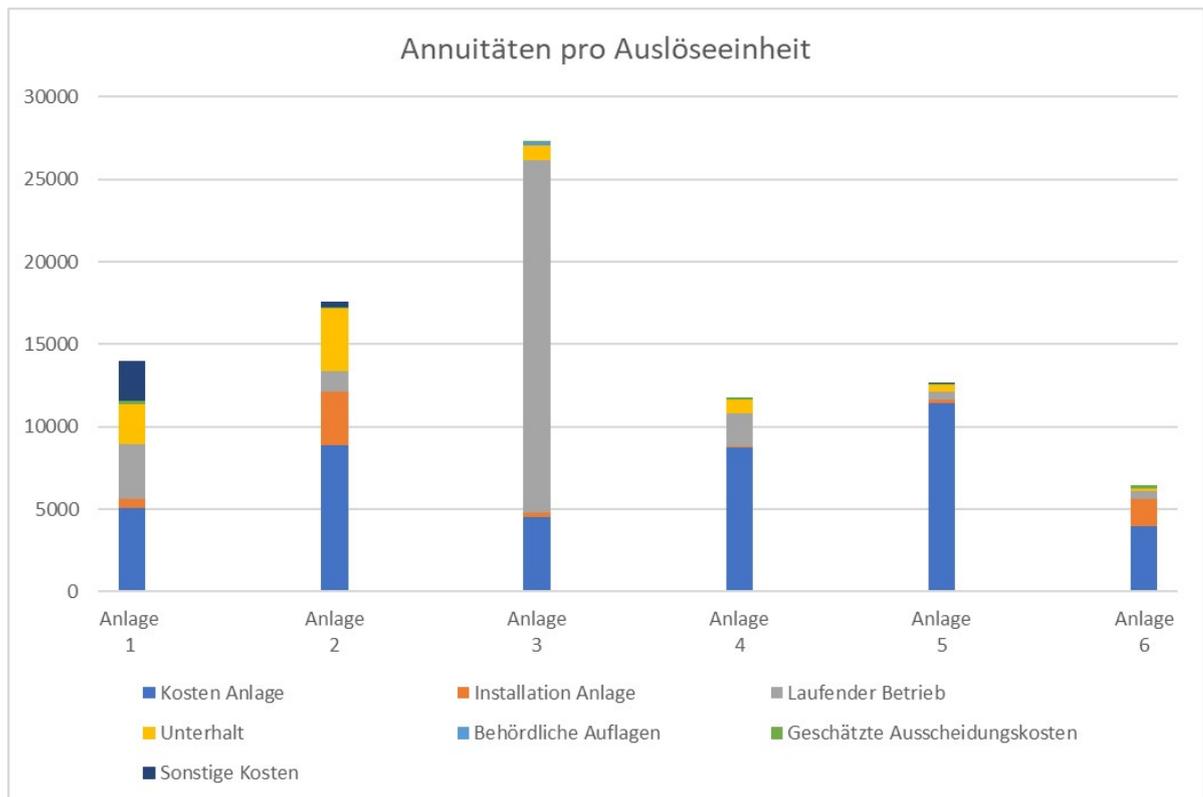


Abbildung 4.2: Berechnete Annuitäten aller Anlagen pro Auslöseeinheit in EURO, gerundet.

Ziel der Arbeit ist die Identifikation von Kostentreibern innerhalb der gesamten Betriebsdauer von Anlagen zur künstlichen Lawinenauslösung. Um einen besseren Überblick zu bekommen, betrachten wir zunächst die relativen Anteile der einzelnen Kostenstellen an den Gesamtausgaben. Dazu werden sie in ihre prozentualen Anteile umgerechnet (Tabelle 4.6).

Tabelle 4.6: Relative Anteile der Kostenstellen aller Anlagen pro Auslöseeinheit in Prozent.

Kostenstellen	Anl.1 [%]	Anl.2 [%]	Anl.3 [%]	Anl.4 [%]	Anl.5 [%]	Anl.6 [%]
Kosten Anlage	36,10	50,60	16,53	74,63	90,75	61,27
Installation Anlage	4,02	18,27	0,93	0,27	1,60	25,83
Laufender Betrieb	23,83	7,22	78,10	16,85	3,94	7,75
Unterhalt	17,49	21,52	3,39	7,54	3,17	1,86
Behördl. Auflagen	0	0	0,86	0	0	0
Ausscheidungsk.	1,21	0,69	0,19	0,71	0,26	3,29
Sonstige Kosten	17,35	1,71	0	0	0,38	0
Summe	100	100	100	100	100	100

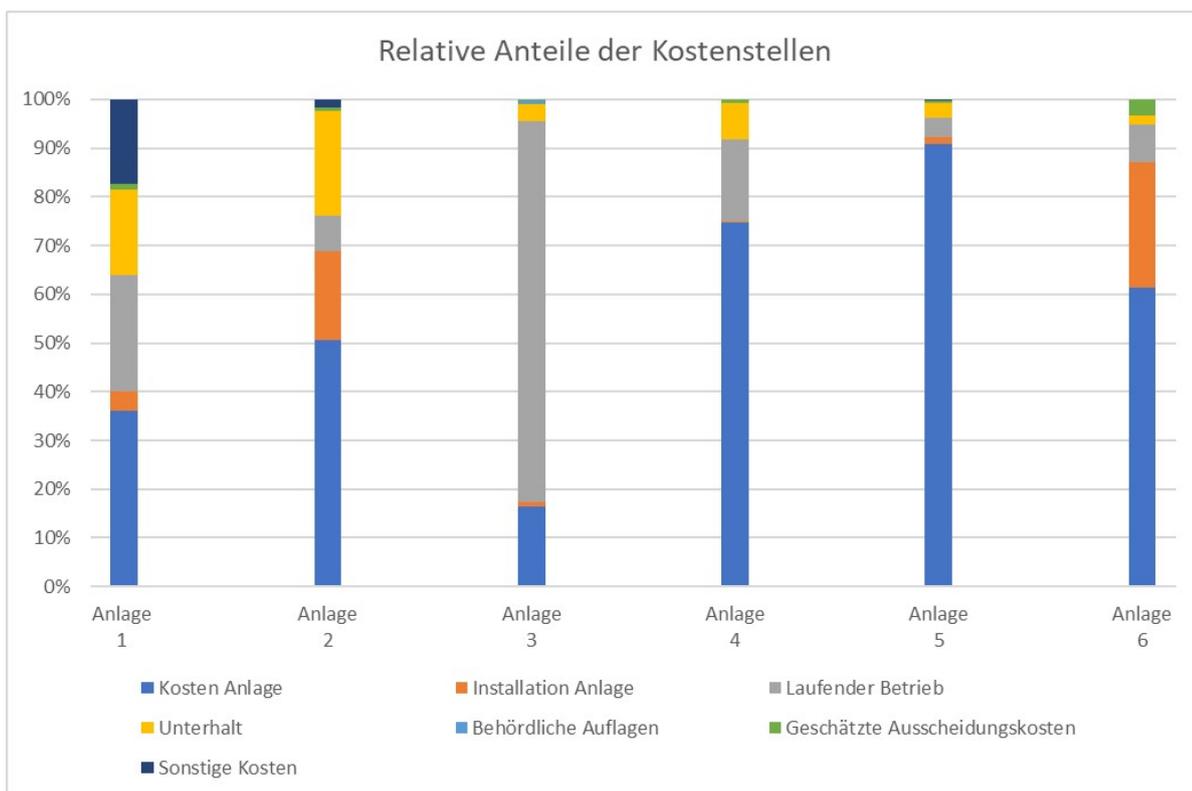


Abbildung 4.3: Relative Anteile der Kostenstellen aller Anlagen pro Auslöseeinheit in Prozent.

4 Life cycle costing

Tabelle 4.6 bildet die relativen Anteile der einzelnen Kostenstellen für jede Anlage ab. In Tabelle 4.7 wurde das arithmetische Mittel aller Anlagen über sämtliche Kostenstellen gebildet, um die “hot spots“ zu identifizieren.

Tabelle 4.7: Durchschnitt der relativen Anteile der Kostenstellen aller Anlagen in Prozent, gerundet.

Kostenstellen	Arithmetisches Mittel [%]
Beschaffung Anlage	54,98
Installation Anlage	8,48
Laufender Betrieb	22,94
Unterhalt	9,16
Behördl. Auflagen	0,14
Ausscheidungsk.	1,06
Sonstige Kosten	3,24
Summe	100

Tabelle 4.7 macht ersichtlich, wo die höchsten Aufwendungen stattfinden. An erster Stelle steht selbstverständlich die Anlage selbst mit mehr als der Hälfte der gesamten benötigten Mittel. Danach kommt der laufende Betrieb mit einem guten Fünftel der Gesamtkosten, gefolgt von Installation und Unterhalt der Anlage, die in etwa gleich viel ausmachen, circa ein Zehntel.

Hier sei allerdings noch angemerkt, dass bei der Erhebung die Kosten der Anlagenbeschaffung und der Installation nicht immer ganz klar getrennt werden konnten. Teile der Installationskosten gingen in den Beschaffungskosten auf, wodurch die Anlagenkosten tatsächlich etwas geringer und die Installationskosten etwas höher ausfallen dürften.

Behördliche Auflagen, Ausscheidungskosten und sonstige Kosten fallen dagegen gering aus.

Die Kostentreiber liegen also in den Kosten für Beschaffung und Installation der Anlage und für Betrieb und Unterhalt.

Für Beschaffung und Installation lässt sich keine verwertbare Aussage treffen. Die Angaben aus der Erhebung sind hier zu ungenau. Einzig lässt sich sagen, dass der Bedarf eines Sprengstofflagers große Kosten verursacht. Von den 6 Anlagen besaßen 5 ein Sprengmittellager. Diese Lager verursachten im Schnitt 22,8 Prozent der Beschaffungskosten. Hierbei sticht besonders Anlage 5 heraus, die für ein Sprengmittellager mit 5 Tonnen Kapazität Anschaffungskosten von einer Million Euro und jährliche Miete von 1500 Euro angibt. Damit macht das Sprengmittellager den Großteil, nämlich 65 Prozent, der Anlagen-Beschaffungskosten aus.

Ein klareres Bild ergibt sich bei den relativen Anteilen der laufenden Kosten.

Tabelle 4.8: Relative Kosten des laufenden Betriebes aller Anlagen in Prozent, gerundet.

Kostenstellen	Anl.1 [%]	Anl.2 [%]	Anl.3 [%]	Anl.4 [%]	Anl.5 [%]	Anl.6 [%]	\bar{x}
Munition / Gas	25	51	47	34	19	42	36
Munitionierung	75	8	12	49	62	58	44
Auslösung	0	13	10	10	7	0	7
Sperre	0	8	10	0	0	0	3
Blindgänger	0	16	1	0	5	0	4
Sprengung	0	0	1	0	6	0	1
Situationsbew.	0	4	15	7	2	0	5
Sonstiges	0	0	4	0	0	0	1
Summe	100						

Im Durchschnitt ergab sich, dass Ladungsbau/Munitionierung/Gasbefüllung mit 44 Prozent der stärkste Posten ist. Gefolgt von den Kosten für Munition und Gas selbst, mit 36 Prozent (Tabelle 4.8).

4 Life cycle costing

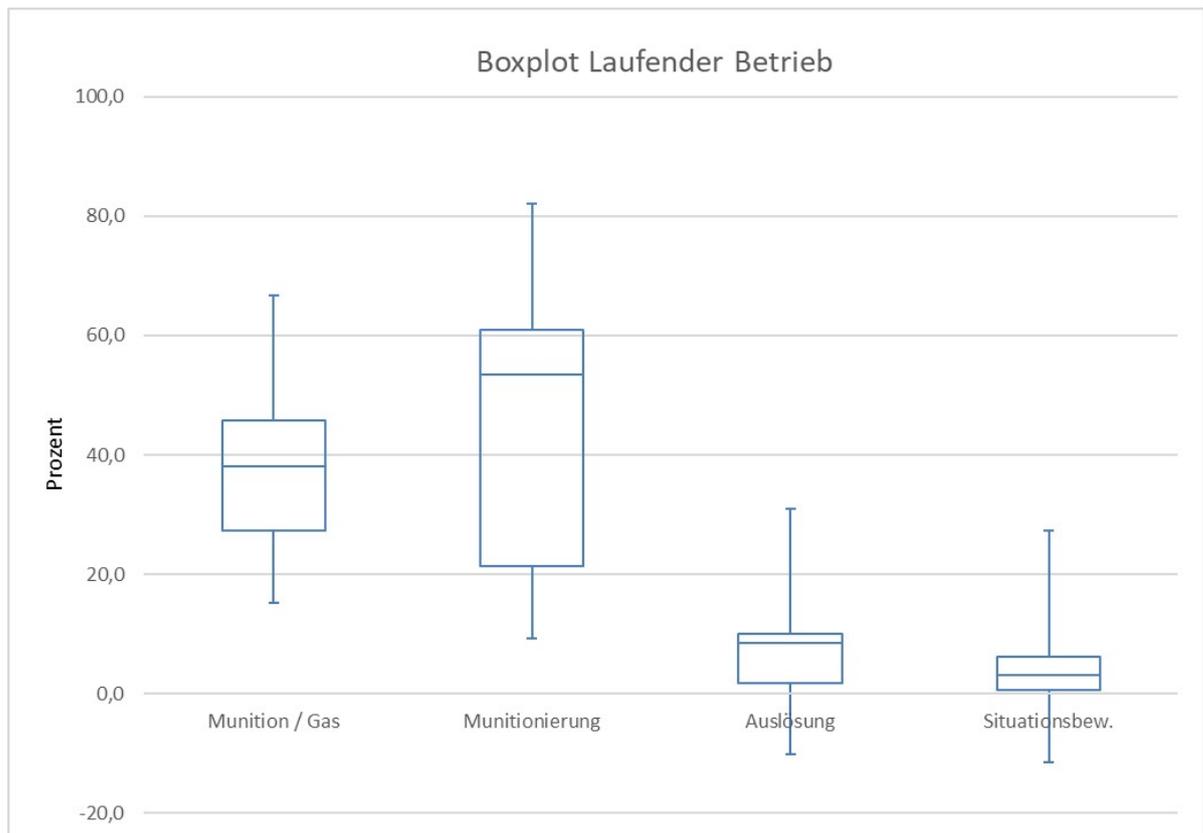


Abbildung 4.4: Boxplot Diagram der vier stärksten Kostenelemente des laufenden Betriebes.

Abbildung 4.4 stellt die Streuung der vier stärksten Kostenelemente aller sechs Anlagen dar. Am stärksten streuen hier die Kosten der Munitionierung. Dies erscheint logisch, da die Kosten für Sprengstoff und Gas recht einheitlich sein dürften und im Gegensatz zu Auslösung und Situationsbewertung die Munitionierung die einzige Größe ist die vom jeweiligen System abhängt.

Tabelle 4.9: Relative Kosten des Unterhalts aller Anlagen in Prozent, gerundet.

Kostenstellen	Anl.1 [%]	Anl.2 [%]	Anl.3 [%]	Anl.4 [%]	Anl.5 [%]	Anl.6 [%]	\bar{x}
Betriebspersonal	62	9	35	21	43	0	28
Versicherung	0	0	0	0	0	0	0
Wartung	13	60	23	55	11	100	44
Ersatzteile	15	31	42	0	46	0	22
Wöchentl. Check	10	1	0	23	0	0	6
Summe	100						

Innerhalb der Unterhaltskosten stellten im Durchschnitt die Wartungskosten mit 44 Prozent den größten Posten. Dahinter kamen mit 28 Prozent die Kosten für das Betriebspersonal und Ersatzteile mit 22 Prozent (Tabelle 4.9).

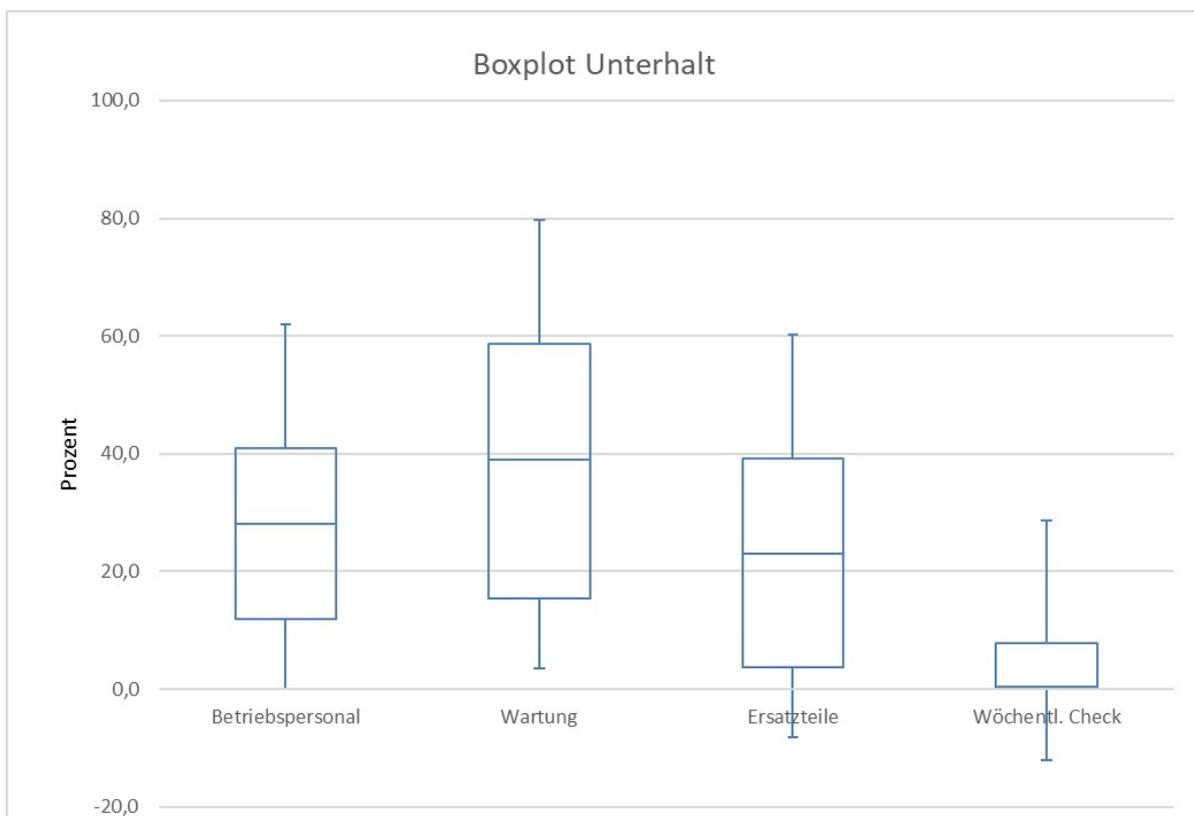


Abbildung 4.5: Boxplot Diagramm der Kostenelemente des Unterhaltes.

Innerhalb des Unterhalts streuen die einzelnen Posten stark. Hier dürften wieder die unterschiedlichen Systeme eine große Rolle spielen (Abbildung 4.5).

4 *Life cycle costing*

5 Praktisches Beispiel

Tauernschleuse Mallnitz

Die Autoschleuse Tauernbahn ist ein 8370 m langer Eisenbahntunnel, der das Gasteiner-tal in Salzburg mit dem Mölltal in Kärnten verbindet. Die beiden Verladebahnhöfe sind in Kärnten der Bahnhof Mallnitz-Obervellach und in Salzburg der Bahnhof Bockstein. Westlich des Südportals des Tauerntunnels erhebt sich die Hindenburghöhe mit ihrem 2315 m hohen Gipfel. In deren Ostseite bricht die Liesgele-Lawine an, die einen 250 m langen Streckenabschnitt der ÖBB-Tauerntasse und einen Strommast der Hochspannungsleitung bedroht.

2015 gab die ÖBB eine Erhebung der Liesgele-Lawine in Auftrag. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015) Die nachfolgende Beschreibung der Lawine stammt aus dem daraus entstandenen Sicherheitsbericht.

5.1 Die Liesgele-Lawine

Die Liesgele-Lawine besitzt 4 Anbruchgebiete, die durch das Gelände räumlich getrennt sind. Das Gebiet liegt auf ca. 2020 m Seehöhe, ist nicht bewaldet und die Oberfläche besteht aus Schuttfächen, Felsen, Latschen, und alpinem Rasen. Die Sturzbahn besitzt eine Höhendifferenz von ca. 800 m, mit durchschnittlich 35° Neigung und ist durch einen Graben stark kanalisiert. Der Ablagerungsbereich auf 1220 m ist kegelförmig und teilweise bewaldet. In dem Gebiet treten sowohl Staublawinen als auch im Frühjahr Nassschneelawinen auf.

Für die vier Anbruchgebiete wurden die folgenden Kenndaten erhoben:

Tabelle 5.1: Daten der vier Anbruchgebiete, erhoben für ein 150 jähriges Ereignis plus 50 cm Windzuschlag. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

Anbruchgebiete	Fläche [ha]	Anbruchmächtigkeit [m]	Anbruchkubatur [m ³]
L01	1,8	1,5	27.000
L02	1,2	1,4	17.000
L03	2,4	1,5	36.000
L04	0,9	1,6	14.000

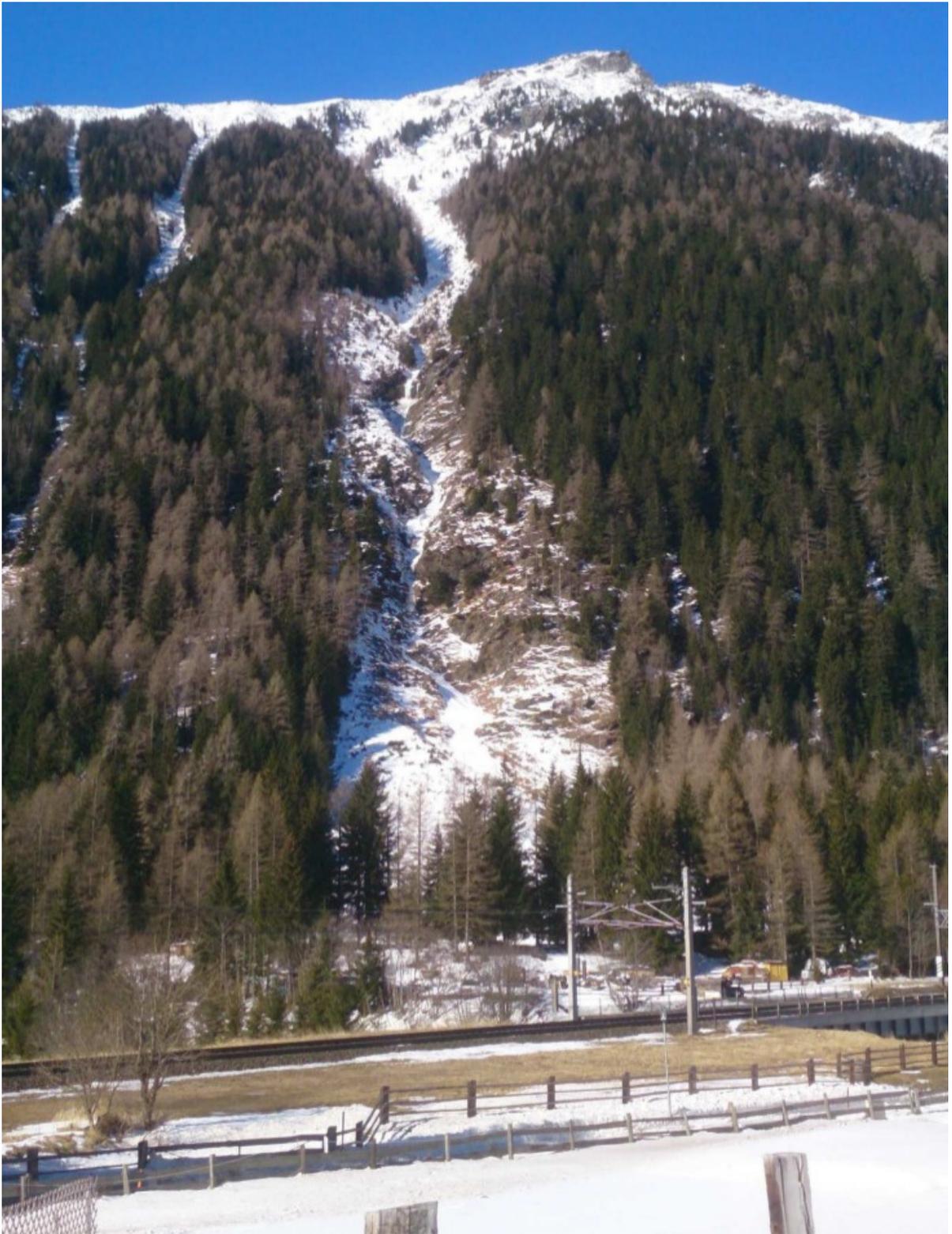


Abbildung 5.1: Blick auf die Sturzbahn und die gefährdete Bahntrasse im Ablagerungsgebiet der Liesgele-Lawine. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)



Abbildung 5.2: Blick ins Mölltal und den Ort Mallnitz aus dem Anbruchgebiet der Liesgele-Lawine. Im Bild blau eingezeichnet, die drei Anbruchgebiete L01, L02 und L04. Nicht im Bild befindet sich Anbruchgebiet L01. Es ist im linken Bildrand hinter einer Geländekante verborgen. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

Da die vier Anbruchgebiete nahe beieinander liegen und die Geländeerücken der Gräben, in denen sie liegen, nicht besonders stark ausgeprägt sind, ist eine Bruchfortpflanzung in das Nachbargesamt wahrscheinlich. Dies gilt besonders für die Gebiete L01 und L02, sowie für L03 und L04. Die Folge wären gemeinsame Anbrüche dieser beiden Kombinationen.

Tabelle 5.2: Die wahrscheinlichsten Kombinationen der Anbruchgebiete bei gemeinsamer Auslösung, erhoben für ein 150 jähriges Ereignis plus 50 cm Windzuschlag. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

Anbruchgebiete	Fläche [ha]	Anbruchmächtigkeit [m]	Anbruchkubatur [m ³]
L01-L02	3,1	1,5	45.000
L03-L04	3,3	1,5	50.000

Aufgrund dieser Daten wurden die möglichen Lawinenereignisse mithilfe des 2-dimensionalen Modelles ELBA+ simuliert. Dabei wurden trockene Fließlawinen berechnet und die Wirkung von Staublawinen gutachtlich beurteilt.

Die Berechnungen ergaben, dass Lawinen von Einzelanbrüchen aus den Gebieten L02 und L04 vor der Bahntrasse zum Stehen kommen und Lawinen aus L01 und L04 die Bahntrasse überfließen. Die beiden Kombinationen aus den Anbruchgebieten reichen ebenfalls über die Bahntrasse hinaus, haben aber nur geringfügig größere Ausläuflängen als die beiden größeren Einzelanbrüche.

5 Praktisches Beispiel Tauernschleuse Mallnitz

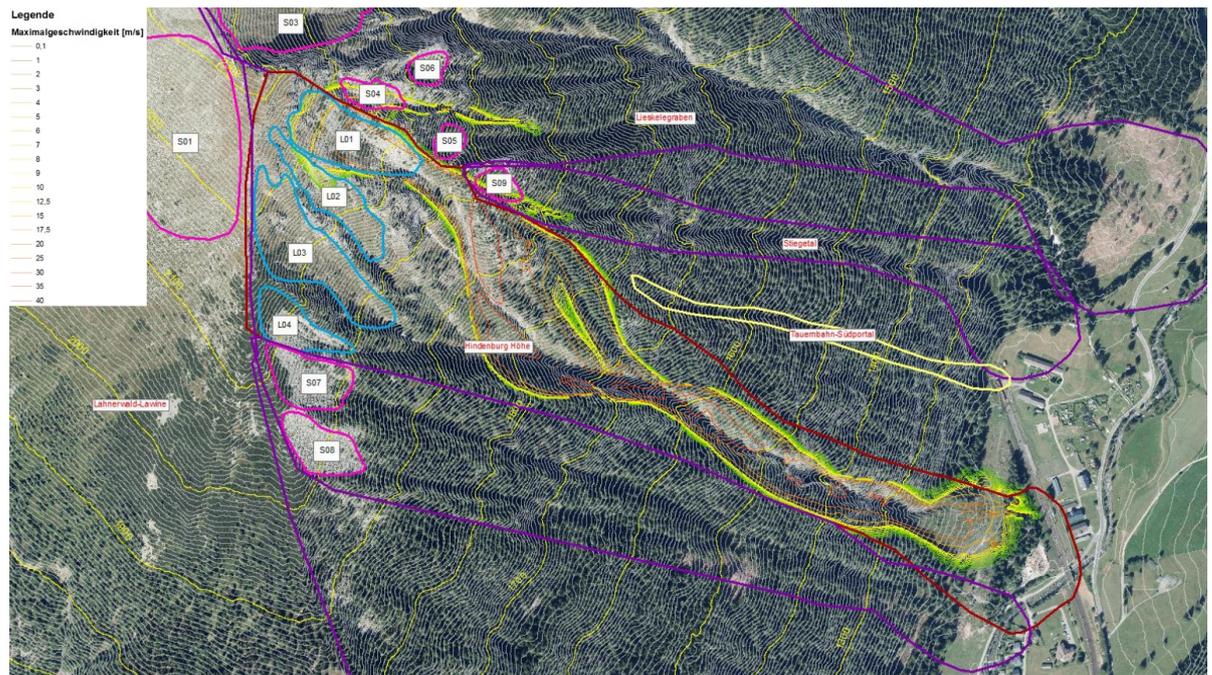


Abbildung 5.3: Ergebnis der ELBA+ Simulation von Anbruchgebiet L01. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

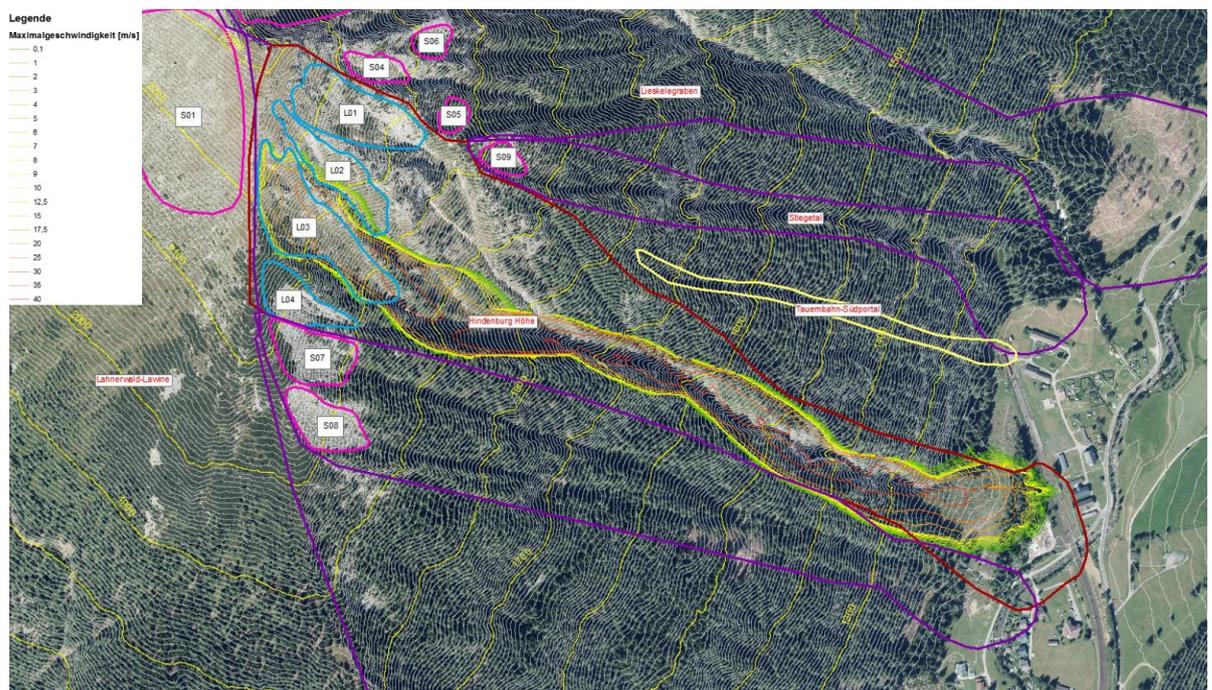


Abbildung 5.4: Ergebnis der ELBA+ Simulation von Anbruchgebiet L03. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

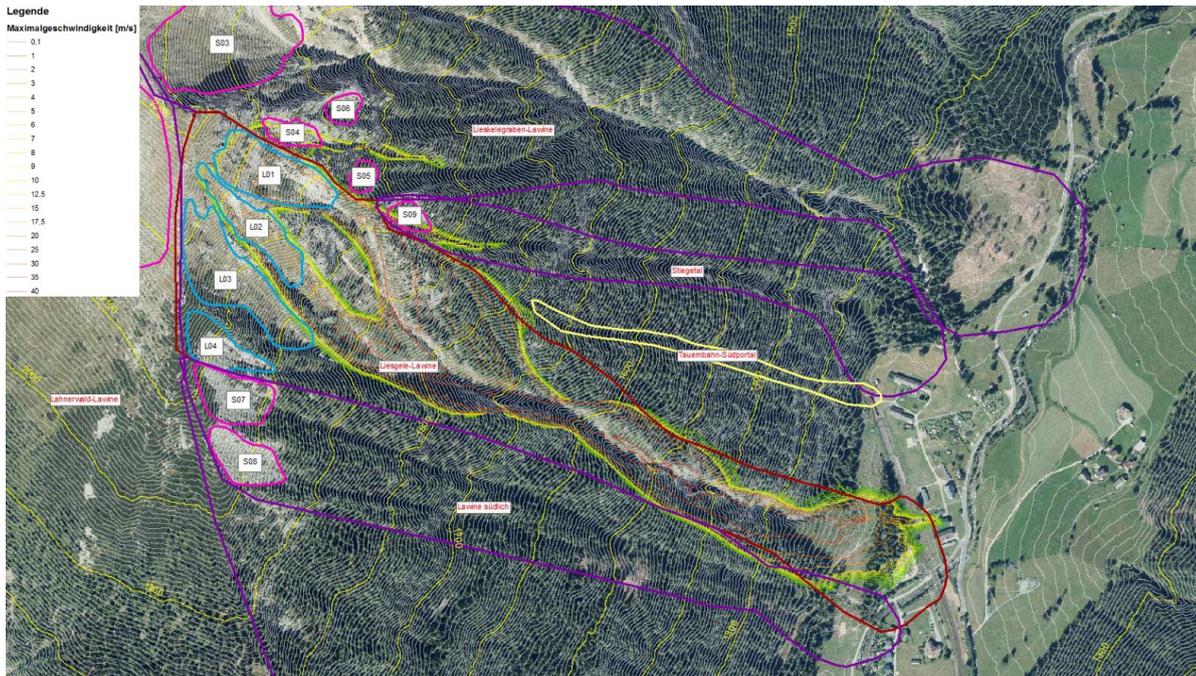


Abbildung 5.5: Ergebnis der ELBA+ Simulation für einen kombinierte Auslösung von Anbruchgebiet L01 und L02. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

5 Praktisches Beispiel Tauernschleuse Mallnitz

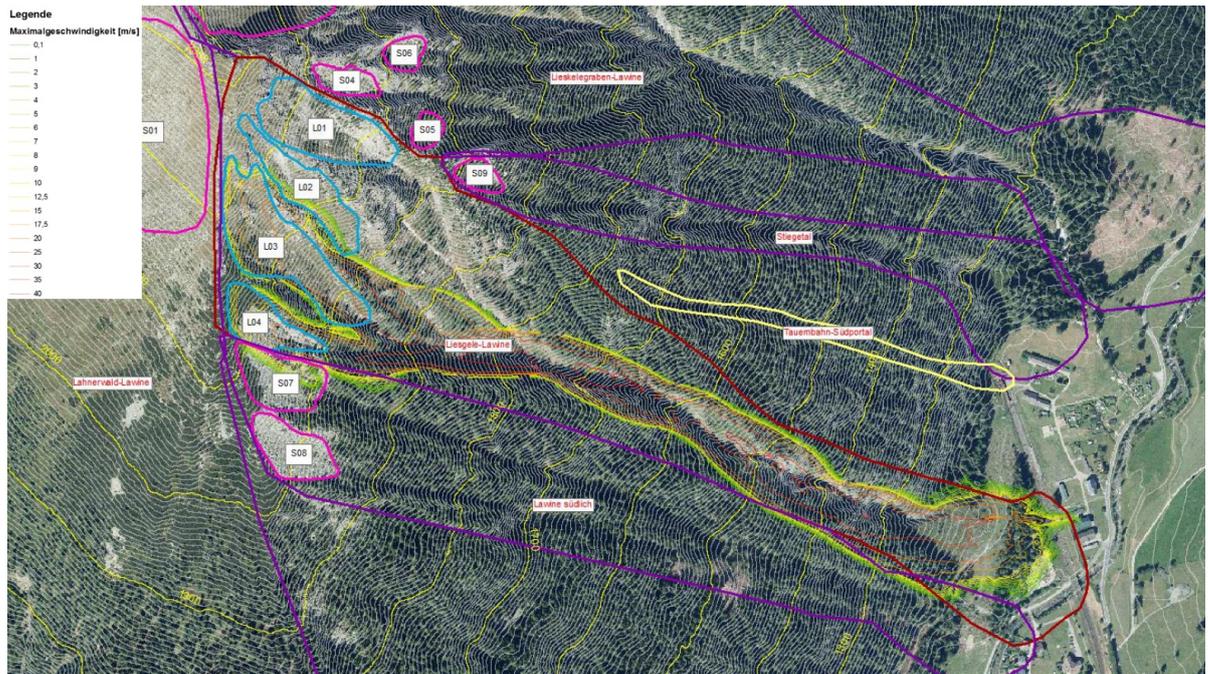


Abbildung 5.6: Ergebnis der ELBA+ Simulation für eine kombinierte Auslösung von Anbruchgebiet L03 und L04. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

Außerdem verfügt die Lieskele Lawine über 5 Nachbarlawinen mit insgesamt 9 Anbruchgebieten (in den [Abbildung 5.3](#) bis [Abbildung 5.6](#) pink markiert und mit S01 bis S09 beschriftet). Von diesen fünf Lawinen können 3 als Sekundärlawinen eingestuft werden. Die Auslösung der Lieskele-Graben-Lawine bestehend aus S04, S05 und S06 sowie der Stiegetal-Lawine mit S09 erscheint möglich, während die Auslösung der namenslosen, südlichen Lawine (S07 und S08) als wahrscheinlich gilt. Während die Stiegetal- und die Lieskele-Graben-Lawine nur Schaden im Wald auf ihrer Sturzbahn anrichten können, besitzt die südliche Lawine erhebliches Schadenspotential, da sich Wohnhäuser in ihrem Auslaufbereich befinden ([Abbildung 5.7](#)). Daher wird von künstlicher Auslösung in Gebiet L04 abgeraten.

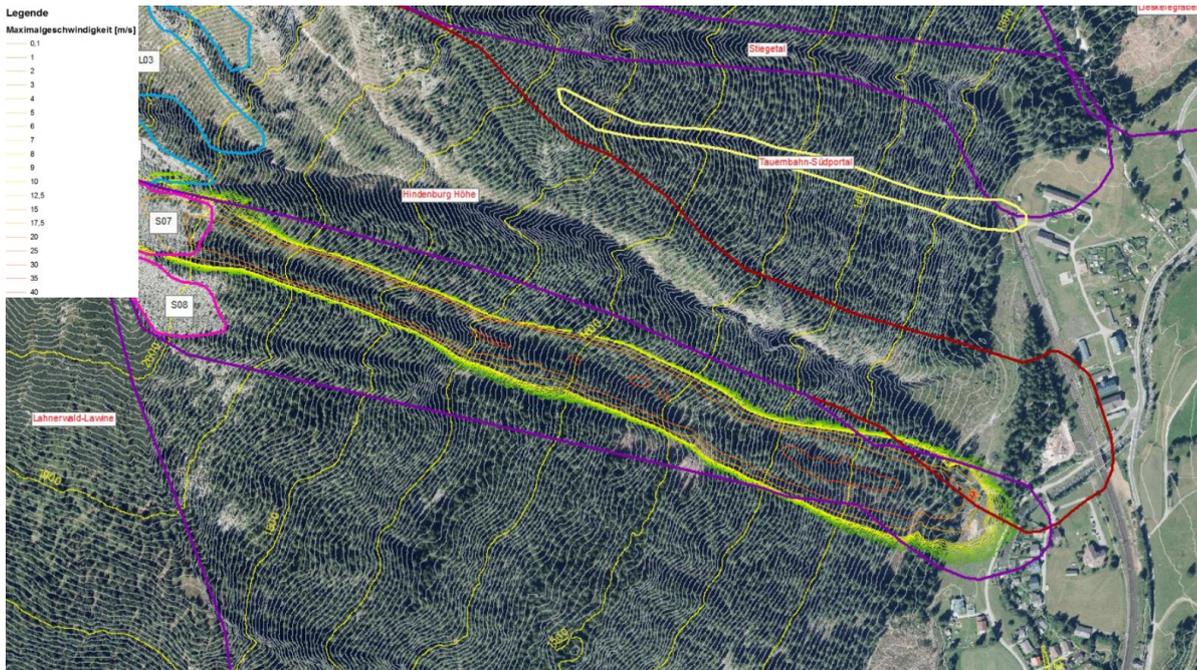


Abbildung 5.7: Die Auslösung der südlichen Sekundärlawine bei Sprengungen im Anbruchgebiet L04 gilt als wahrscheinlich. Ihr Schadenspotential ist durch die Wohnhäuser im Auslaufgebiet hoch. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

5.2 Technische Anforderungen der ÖBB

Die ÖBB möchte den 250 m langen Streckenabschnitt und den Hochspannungsmast mittels künstlicher Lawinenauslösung sichern. Dafür stehen eine Vielzahl von verschiedenen Systemen zur Verfügung. Um zu klären, welches System für die Sicherung der Liesgele-Lawine am geeignetsten ist, werden zunächst die Anforderungen an selbiges betrachtet.

Sicherung der Gleisanlagen

Das Ziel der ÖBB ist es mit Hilfe einer Sprenganlage kleine, nicht schädliche Lawinen auszulösen und das Anbruchgebiet dadurch schrittweise zu entleeren.

Minimale Sperrzeiten

Für die ÖBB extrem wichtig sind kurze Sperrzeiten. Gesperrte Strecken und stehende Züge verursachen entgangene Erträge und vor allem hohe Kosten für großräumige Umleitung und Schienenersatzverkehr.

Umweltschutz

Im speziellen Fall der Liesgele-Lawine spielt der Umweltschutz eine erhebliche Rolle. Das Anbruchgebiet liegt vollständig in der Kernzone des Nationalparks Hohe Tauern (Ab-

bildung 5.8) und somit auch im Natura2000-Gebiet. Das Translationsgebiet liegt teils in der Kernzone und zum größten Teil in der Außenzone des Nationalparks. Dementsprechend schwierig ist die Durchführung jedweder baulicher und gewerblicher Tätigkeiten. Jeglicher Einfluss in diesem Gebiet ist so gering wie möglich zu halten.

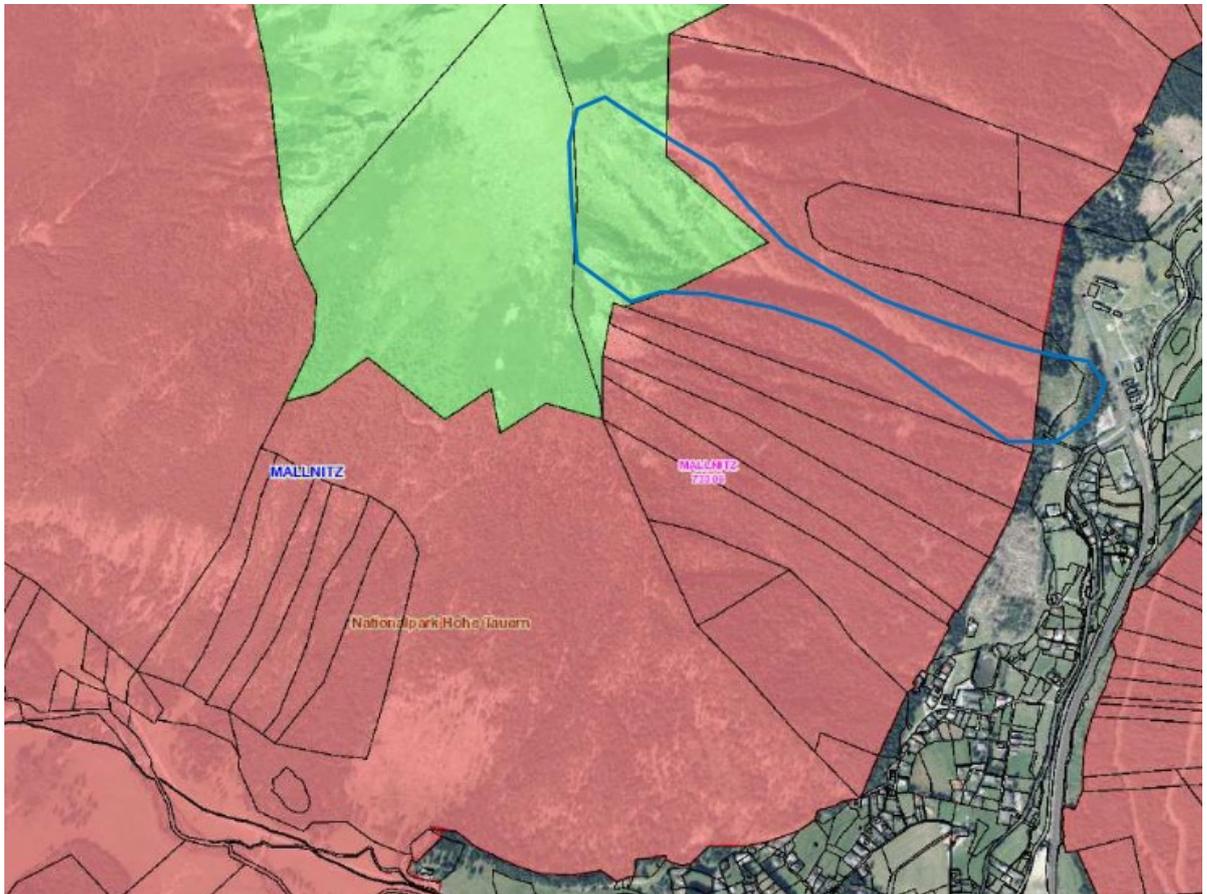


Abbildung 5.8: Die Grenzen des Nationalparks Hohe Tauern im Bereich Mallnitz. Grün bezeichnet die Kernzone, Rot die Außenzone. Der Lawenstrich der Liesgele-Lawine ist blau eingezeichnet. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

Günstig bei geringer Auslösefrequenz

Das System sollte möglichst günstig sein. Sowohl in der Beschaffung, als auch im Betrieb.

Effizient

Das System sollte möglichst effizient arbeiten und eine hohe Auslösewahrscheinlichkeit besitzen um die Gleisanlage wirksam schützen zu können. Aus hoher Auslösewahrscheinlichkeit ergeben sich kurze Sperrzeiten. Teil eines effizienten Systemes ist auch eine verlässliche Erfolgskontrolle.

Energieautark

Da es im Nationalpark keinerlei Infrastruktur gibt, kann das System nicht mit Strom versorgt werden. Solargespeiste Akkus sind die einzige Möglichkeit der Energieversorgung.

5.3 Künstliches Auslösesystem für die ÖBB

Nach den Kriterien des vorhergehenden Kapitels ([Abschnitt 5.2](#)) soll jetzt die Entscheidung getroffen werden, welches Auslösesystem das geeignetste ist um das Südportal der Tauernschleuse zu sichern.

Hauptkriterium für die ÖBB sind kurze Sperrzeiten und die Sicherheit ihrer Mitarbeiter. Dadurch scheidet die Handsprengung von vornherein aus. Der Aufstieg eines Sprengtrupps in das abgelegene und schlecht erschlossene Gebiet würde mehrerer Stunden in Anspruch nehmen und hoher Lawinengefahr nicht möglich sein. Das Vorbereiten der Sprengladungen vor Ort und das Absprengen brauchen ebenfalls ihre Zeit. Während dieser Zeit müsste die Bahnstrecke und die Ankogel Landesstraße gesperrt werden. Der Hubschrauber erreicht das Gebiet zwar deutlich schneller, jedoch muss er erst einmal zur Verfügung stehen und zweitens benötigt er Tageslicht und Flugwetter zum Starten. Wartet man auf Flugwetter oder bis der Sprengtrupp vor Ort eintrifft, hat zu diesem Zeitpunkt die Schneedeckenstabilität meistens wieder zugenommen, was das Reduzieren der Lawinengröße durch frühzeitiges Sprengen erschwert. ([Gubler et al., 2012](#))

Um die Sperrzeiten möglichst kurz zu halten, sollte das System bereits vor Ort und rasch aktivierbar sein. Die Sprengseilbahn und der Avalancheur erfüllen zwar teilweise diese Ansprüche, jedoch benötigen sie Bedienungspersonal vor Ort, was wieder zu den gleichen Problemen wie bei Handsprengung und Hubschrauber führt. Außerdem benötigt die Sprengseilbahn, falls sie nicht mit einem Diesellaggregat angetrieben wird, einen Stromanschluss, der im Nationalpark nicht zur Verfügung steht.

Somit verbleiben als Möglichkeiten zu Sicherung der Lawinenwächter, der Sprengmast und das GAZ.EX-System. Alle drei Systeme sind im Gelände fest installiert und bedürfen keines Bedienungspersonals. Zudem ist ihr Energiebedarf sehr gering, da die Systeme die meiste Zeit schlafen, können sie durch Akkus und Solarzellen betrieben werden.

Die Machbarkeiststudie hat ergeben, dass das Anbruchsgebiet L04 nicht künstlich ausgelöst werden soll, da das Risiko der Mitauslösung der benachbarten Lawine im Süden zu hoch ist. Es verbleiben dadurch drei Auslösegebiete. Von diesen haben die Gebiete L01 und L03 die höchste Priorität. Die beiden kleineren Gebiete werden entweder mitausgelöst oder die daraus resultierenden Lawinen sind nicht in der Lage die Bahntrasse zu gefährden.

Plaziert man den Lawinenwächter mittig zwischen den Anbruchgebieten L02 und L03 wäre ein Mast mit zwei Schutzkästen dazu in der Lage die Anbruchgebiete L01 und L03 zu beschießen. Zwei Sprengmasten, wie in [Abbildung 5.9](#) installiert, könnten sie ebenfalls sichern. Aufgrund des geringeren Wirkungsradius ([Gubler et al., 2012](#)) würde

5 Praktisches Beispiel Tauernschleuse Mallnitz

das GAZ.EX-System vermutlich 4 Zündrohre für das selbe Ergebnis benötigen.

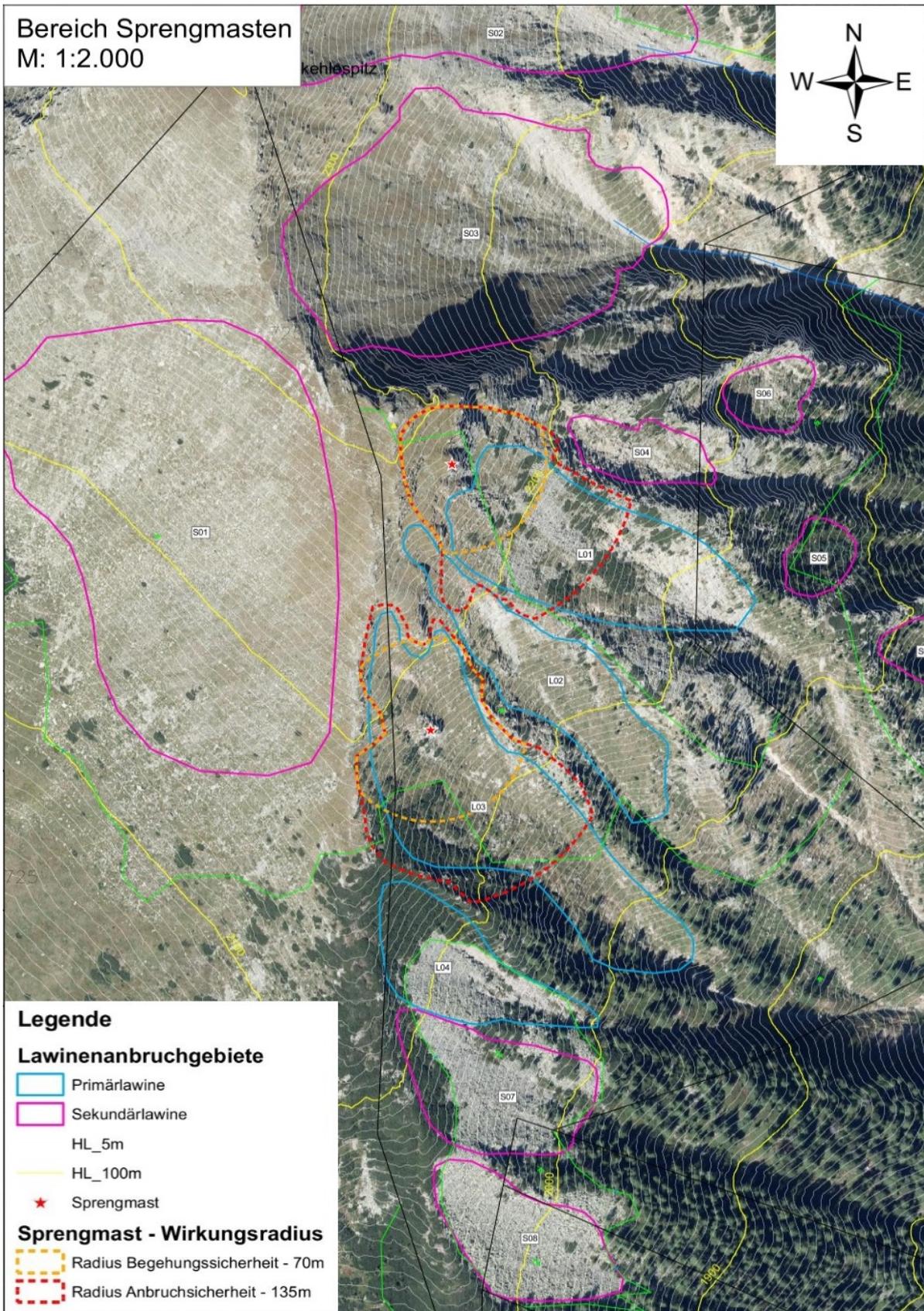


Abbildung 5.9: Mögliche Position zweier Sprengmasten und deren Wirkungsradius. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

5 Praktisches Beispiel Tauernschleuse Mallnitz

Um das Restrisiko zu reduzieren und um den möglichen Lawinen aus den beiden kleineren Gebieten L02 und L04 zu begegnen, wird in der Machbarkeitsstudie der zusätzliche Bau eines Lawinenauffangdammes (Abbildung 5.10) empfohlen. Der Damm sollte die folgenden Dimensionen besitzen.

Kenndaten Lawinendamm

- Höhe: 10 m
- Länge: ca. 230 m
- Kubatur: ca. 28.000 m³
- Ansichtige Fläche Bewehrte Erde: ca. 2.300 m²
- Kosten: ca. 700.000 Euro



Abbildung 5.10: Empfohlene Position und Kubatur des ergänzenden Lawinenauffangdammes. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

Um die drei möglichen Systeme miteinander zu vergleichen wurde ein Life Cycle Costing nach dem Schema aus [Abschnitt 4.2](#) durchgeführt. Die Kosten der drei benötigten Systeme werden geschätzt. Als Basis dieser Schätzung werden die Daten aus den Fragebögen der Erhebung aus [Kapitel 3](#), die Machbarkeitsstudie der ÖBB (ÖBB Infrastruktur AG, 2015), allgemeine Werte aus dem "Handbuch Technischer Lawinenschutz" (Rudolf Miklau and Sauer Moser, 2011) sowie Hersteller-Angaben herangezogen.

5.3 Künstliches Auslösesystem für die ÖBB

Kostenelement	Lawinenwächter		Sprengmast		GAZEX	
	1 Mast, 2 Schutzkästen		2 Sprengmasten		Eine Gaszentrale, 4 Zündrohre	
1. Kosten Anlage	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr
1.1 Anlage	100000	0	172500	0	420000	0
1.2 Kontrollraum	0	0	0	0	0	0
1.3 PC und Software	1200	0	6700	0	1200	0
1.4 Detektionssystem	100000	0	100000	0	100000	0
1.5 Spezialequipment	0	0	1000	0	0	0
1.6 Sprengmittellager/Gaslager	30000	0	30000	0	0	0
1.7 Sonstiges	0	0	0	0	0	0
2. Installation Anlage	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr
2.1 Baustelleneinrichtung	6600	0	11385	0	27720	0
2.2 Erdbau/Fundierung	10000	0	28500	0	60000	0
2.3 Installation Anlage	2000	0	4000	0	7000	0
2.4 Installation Detektionssystem	0	0	0	0	0	0
2.5 Transport Boden	0	0	0	0	0	0
2.6 Transport Luft	0	0	0	0	0	0
2.7 Kleinmaterial	0	0	0	0	0	0
2.8 Erstmalige Inbetriebnahme	500	0	0	0	0	0
2.9 Erstmalige Einschulung Betriebspersonal	500	0	1000	0	1000	0
2.10 Sonstiges	0	0	0	0	0	0
3. Laufender Betrieb	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr
3.1 Munition / Gas	0	2000	0	3000	0	1000
3.2 Ladungsbau/Munitionierung/Gasbefüllung	0	3600	0	3600	0	3600
3.3 Auslösung	0	500	0	500	0	500
3.4 Sperre während Sprengung	1000	0	1000	0	1000	0
3.5 Blindgängerbeseitigung	0	650	0	650	0	0
3.6 Sprengung	0	0	0	0	0	0
3.7 Situationsbewertung vor Sprengung	0	0	0	0	0	0
3.8 Sonstiges	0	0	0	0	0	0
4. Unterhalt	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr
4.1 Betriebspersonal	0	4800	0	4800	0	0
4.2 Versicherung	0	0	0	0	0	0
4.3 Wartung	0	850	0	1890	0	500
4.4 Ersatzteile	0	80	0	0	0	0
4.5 Wöchentlicher Check	0	0	0	0	0	0
5. Behördliche Auflagen	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr
5.1 TÜV-Überprüfung	0	0	0	0	0	0
6. Geschätzte Ausscheidungskosten	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr
	45032		49203		59677	
7. Sonstige Kosten	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr	Fixe Kosten	Laufende Kosten/Jahr
	700000	3500	700000	3500	700000	3500

Abbildung 5.11: Veranschlagte Kosten der drei künstlichen Auslösevarianten der Liesgele-Lawine.

Für einen Lawinenwächter-Mast mit zwei Schutzkästen kommt laut Hersteller Inauen-Schätti auf 100.000 Euro. Zwei Wyssen-Sprengmasten kosten 172.500 Euro. Das GAZ.EX-System mit 4 Zündrohren und einer Gaszentrale wird von der Machbarkeitsstudie mit 420.000 Euro veranschlagt.

Für den Kontrollraum werden keine Kosten angenommen, da er in das Bahnhofsgelände der Tauernschleuse integriert werden kann. Steuerung und Software belaufen sich beim Lawinenwächter auf ca. 1200 Euro und beim Sprengmast auf 6700 Euro, da dieser durch eine Funk-Basisstation doppelt abgesichert ist. Für das GAZ.EX-System wurden ebenfalls 1200 Euro angenommen. Software und Steuerung werden alle acht Jahre runderneuert und als Ersatzteile in den Unterhalt eingerechnet. Die Kontrolle des Detonationserfolges soll mittels eines in der Anlage integrierten Geophones erfolgen. Für die Detektion der erfolgreichen Lawinenauslösung wird ein Radargerät angeschafft. Die Kosten für das Detektionssystem betragen 100.000 Euro. Als Spezialequipment braucht der Sprengmast eine Heliklinke die alle fünf Jahre ersetzt wird. Für den Lawinenwächter

und den Sprengmast wurde ein Sprengmittellager mit einer Grundfläche von 4m x 5m Grundfläche und Baukosten von 30.000 Euro veranschlagt. Das GAZ.EX-System benötigt keine solche Einrichtung.

Für die Baustelleneinrichtung werden 6,6 Prozent der Anlagenkosten angenommen (errechnet aus der Anlagenerhebung). Für die benötigten Fundamente werden, von den Herstellern für den Lawinenwächter 10.000 Euro und für Sprengmast 33.000 Euro angegeben. Für die Zündrohre des GAZ.EX werden nach der Sicherheitstudie 60.000 angenommen. Die Installationskosten sind abhängig von der Anzahl der Auslöseeinheiten die installiert werden sollen. Sie ergeben sich hauptsächlich aus den Hubschrauberflugstunden, wovon eine mit jeweils 1.700 Euro angenommen wird. Die Kosten für die Installation des Detektionssystems sind in den Anschaffungskosten enthalten. Die Transportkosten am Boden und in der Luft, gehen in die obigen Posten ein. Für die erstmalige Inbetriebnahme werden beim GAZ.EX System 2.000 Euro angenommen. Für die erstmalige Einschulung des Betriebspersonals werden für jede Anlage 1.000 Euro aufgewendet.

Die Kosten für die Munition belaufen sich beim Sprengmast auf 1.000 Euro pro Schutzkasten. Beim Sprengmast sind es 1500 Euro pro Magazinkasten und das GAZ.EX benötigt Gas im Wert von 1.000 Euro pro Jahr. Für alle Systeme wird einmalig Absperrmaterial angeschafft. Für die Sperrung von Straße und Strecke kommt das Betriebspersonal der ÖBB in Frage. Für die Überwachung des Lawenstrichs, könnte über die Beschaffung eines Wärmebildgerätes oder eines speziellen Personenradars nachgedacht werden. Die beiden Systeme die mit Sprengstoff auslösen, benötigen im Jahr 650 Euro für Blindgängerbeseitigung. Für die Situationsbewertung vor der Sprengung existiert eine ÖBB interne Lawinenkommission, die bereits für diesen Streckenabschnitt zuständig ist. Sie wird daher als kostenneutral angenommen.

Der Lawinenwächter und der Sprengmast benötigen für den Betrieb einen Sprengbefugten. Für diesen werden jährliche Kosten von 4800 Euro veranschlagt. Die Wartung des Systemes wird von den Herstellerfirmen übernommen.

Behördliche Auflagen fallen keine an.

Die Ausscheidungskosten werden mit 4 Prozent der Summe aus Anlagenkosten und Installationskosten angenommen.

Unter Punkt 7 "Sonstige Kosten" wurde bei allen drei Systemen der Lawinenauffangdamm verbucht, bei dem jährliche Instandhaltungskosten von 0,5 Prozent der Baukosten anfallen. (Rudolf-Miklau and Sauer Moser, 2011) Die Kosten für das Schleifen des Dammes wird mit 5 % der Baukosten angenommen und zu den Ausscheidungskosten gerechnet.

Mit diesen, in [Abbildung 5.11](#) angeführten Kosten, soll eine LCC nach dem Muster aus [Abschnitt 4.2](#) durchgeführt werden. Für alle drei Anlagen wird eine Nutzungsdauer von 20 Jahren festgelegt. Die Preissteigerung der Folgekosten beträgt 4,22 Prozent und der

Diskontsatz 3,5 Prozent.

Tabelle 5.3: Kapitalwerte der drei Varianten zur künstlichen Lawinenauslösung der Liesgele-Lawine, in Euro, gerundet

Kostenstellen	Lawinenwächter [€]	Sprengmast [€]	GAZ.EX [€]
Kosten Anlage	231.200	312.850	521.200
Installation Anlage	19.600	44.885	95.720
Laufender Betrieb	100.977	115.789	76.538
Unterhalt	85.916	106.908	8.710
Behördliche Auflagen	0	0	0
Gesch. Ausscheidungsk.	22.632	24.728	29.992
Sonstige Kosten	751.840	751.840	751.840
Summe	1.212.165	1.357.000	1.484.000

Die Ergebnisse des LCC aus [Tabelle 5.3](#) werden in [Abbildung 5.12](#) grafisch dargestellt. Da die Anlagen alle die selbe Nutzungsdauer besitzen, wird für den Vergleich der Kapitalwert herangezogen. Der Lawinenwächter ergibt sich daraus als die günstigste Anlage, gefolgt von den Sprengmasten und dem GAZ.EX-System, das die teuerste Anlage ist.

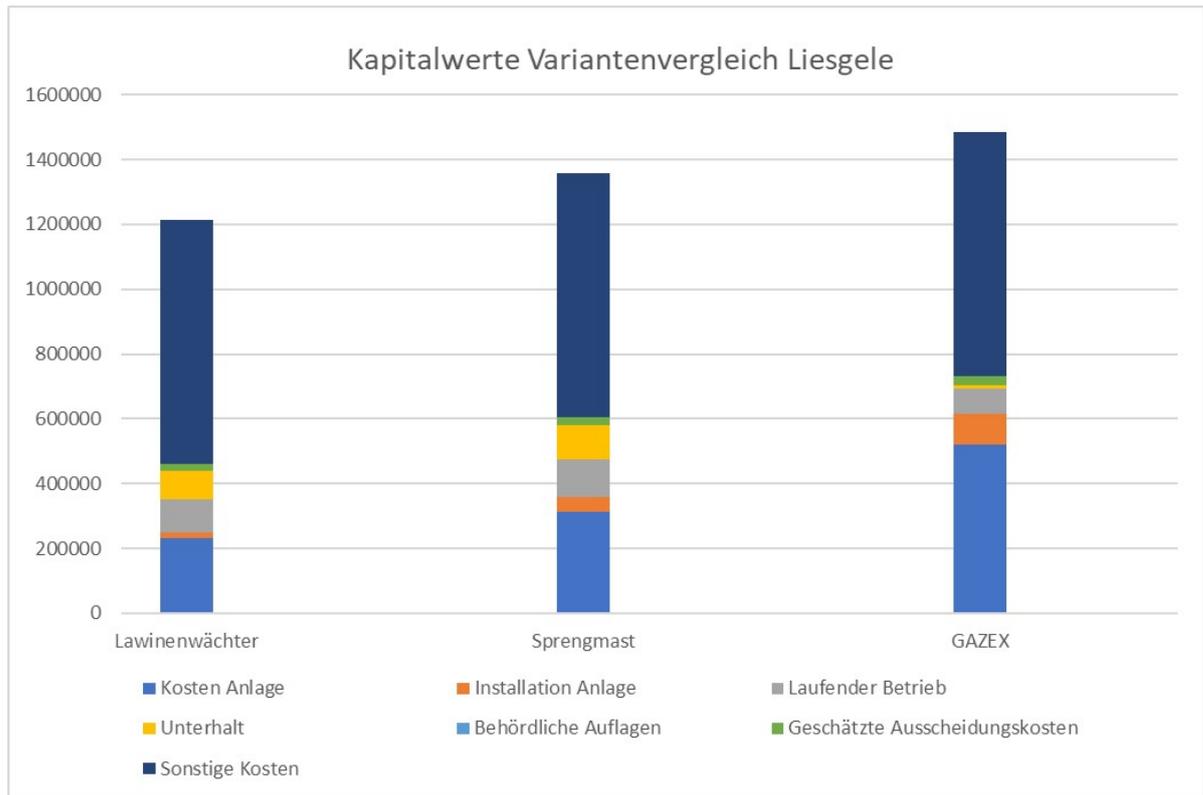


Abbildung 5.12: Kapitalwerte des Liesgele-Vergleich.

Betrachtet man die relativen Anteile an den Gesamtkosten (Tabelle 5.4), sieht man die Unterschiede der drei Anlagen. Lawinenwächter und Sprengmast besitzen niedrigere Beschaffungs- und Installationskosten als das GAZ.EX-System. Dieses hat allerdings einen Vorteil bei den laufenden Kosten (Betrieb und Unterhalt), die deutlich geringer sind als bei den beiden anderen Systemen. Gut ersichtlich ist dies in [Abbildung 5.13](#).

Tabelle 5.4: Relative Anteile der Kostenstellen aller Anlagen in Prozent.

Kostenstellen	Lawinenwächter [%]	Sprengmast [%]	GAZ.EX [%]
Kosten Anlage	19,1	23,1	35,1
Installation Anlage	1,6	3,3	6,5
Laufender Betrieb	8,3	8,5	5,2
Unterhalt	7,1	7,9	0,6
Behördliche Auflagen	0	0	0
Gesch. Ausscheidungsk.	1,9	1,8	2,0
Sonstige Kosten	62,0	55,4	50,7
Summe	100	100	100

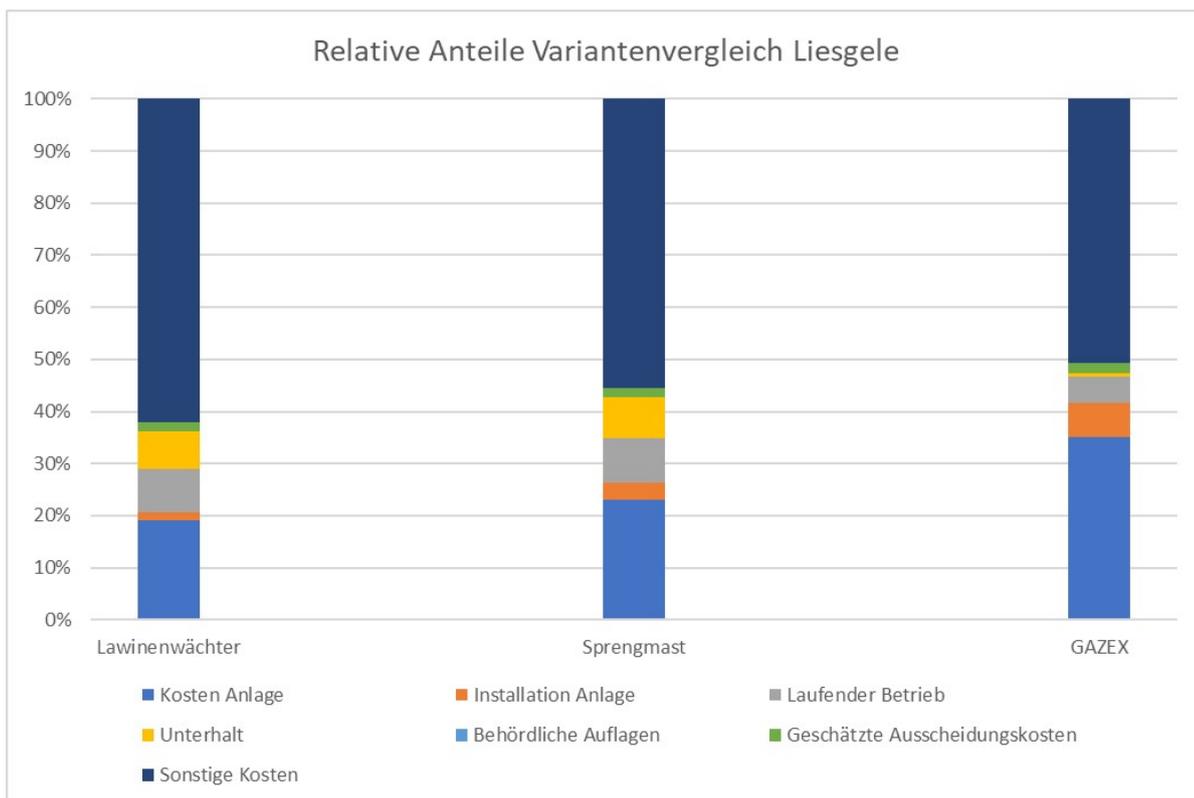


Abbildung 5.13: Relative Anteile des Variantenvergleiches Liesgele.

5 Praktisches Beispiel Tauernschleuse Mallnitz

Die Effizienz eines solchen Systemes lässt sich durch den Auslöseerfolg beschreiben. Sprich, wie viele Sprengungen für eine erfolgreiche Lawinenauslösung benötigt werden. Bei der Erhebung der 6 Anlagen wurde nach der durchschnittlichen Anzahl an Sprengungen / Zündungen pro Jahr gefragt, sowie nach den durchschnittlich ausgelösten Lawinen pro Jahr (Tabelle 5.5).

Tabelle 5.5: Die Effizienz einer Anlage ergibt sich aus dem Verhältnis von Sprengungen zu ausgelösten Lawinen.

Anlage 1 u. 5: Lawinenwächter; Anlage 2 u. 4: Sprengmast; Anlage 3: Avalancheur; Anlage 6: GAZ.EX

	Anl. 1	Anl. 2	Anl. 3	Anl. 4	Anl. 5	Anl. 6
Sprengungen / Jahr	14	7	60	12	40	10
Auslösungen / Jahr	2	6	45	11	10	2
Benöt. Spreng. / Lawine	7	1,16	1,3	1,09	4	5

Addiert man die Anlagen nach Systemtyp mit einander, erhält man in Tabelle 5.6 die Effizienz der drei relevantesten Systeme, die sich aus den Erhebungen ergeben hat.

Tabelle 5.6: Die Effizienz von Lawinenwächter, Sprengmast und GAZ.EX.

	Lawinenwächter	Sprengmast	GAZ.EX
Sprengungen / Jahr	54	19	10
Auslösungen / Jahr	12	17	2
Benöt. Spreng. / Lawine	4,5	1,12	5

Diese Zahlen sind jedoch mit Vorsicht zu genießen. Ein wesentlicher Teil der künstlichen Lawinenauslösung sind Probesprengungen um die Abgangsbereitschaft der Schneedecke zu testen. (Rabofsky et al., 2000) Wird eine solche Sprengung durchgeführt und es löst sich keine Lawine, so hat die Sprengung ihren Zweck erfüllt und eine eindeutige Aussage über die Schneedeckenstabilität geliefert. Jedoch schlägt sie sich in der obigen Effizienz-Statistik negativ nieder. Während die erhobenen Werte für den Sprengmast und den Lawinenwächter plausibel erscheinen und mit den Beschreibungen aus anderen Studien übereinstimmen, bleibt das GAZ.EX-System hinter den Erwartungen zurück. Stoffel (1996) bescheinigt dem System eine sehr gute Erfolgsquote. Und auch STOFFEL, NAIRZ und SAUERMOSE (Rudolf-Miklau and Sauer Moser, 2011) bewerten die Sprengwirkung als sehr gut. Grund für die hohe Erfolgsquote von Sprengmast und GAZ.EX im Gegensatz zum Lawinenwächter ist die hohe Präzision aufgrund eines fixen Sprengpunktes und einer positiven Sprengpunkthöhe, sprich Sprengung über der Schneedecke.

Im Fall der Liesgele-Lawine spielt noch der Umweltschutz eine wichtige Rolle. Um eine Baugenehmigung für ein Projekt in der Kernzone des Nationalparks zu bekommen, müssen die Eingriffe in Natur und Landschaft minimal sein. Von den drei Systemen hat die GAZ.EX den größten Bau- und Installationsaufwand. Pro Zündrohr müssen bis zu zwei Fundamente gegossen werden. Dazu kommt ein Fundament für das Gaslager und

dessen Hülle und zwischen Zündrohren und Gaslager müssen Erdkabel und Leitungen verlegt werden. Der Lawinenwächter hat ein Betonfundament pro Mast, wohingegen der Wyssen-Sprengmast nur 4 - 5 Anker oder Mikropfähle für eine Fundierung benötigt und dadurch den Eingriff in die Natur äußerst gering hält. (Gubler et al., 2012) Außerdem wird im Gegensatz zum Inauen-Schätti Lawinenwächter beim Wyssen-Sprengmast der Magazinkasten im Sommer abgenommen, ins Tal geflogen und dort eingelagert. Dies verkleinert seine Silhouette noch mehr und macht es schwieriger ihn aus der Ferne zu erkennen. Dadurch beeinträchtigt er das Landschaftsbild am wenigsten.

Hier ergibt sich ein weiteres Problem des Lawinenwächters. Er muss vom Bedienungspersonal vor dem Winter von Hand aufmagaziniert werden. Reicht das Magazin nicht über den Winter oder bedarf es Reparaturen, muss das Betriebspersonal sämtliche Arbeiten im Gelände durchführen. (Gubler et al., 2012) Dies könnte sich im Falle der Liesgele-Lawine als schwierig erweisen.

Hier besitzt der Wyssen-Sprengmast einen Vorteil. Da für sämtliche Wartungs- und Auffüllarbeiten der Kern des Systems ins Tal geflogen wird und nur der Mast am Berg verbleibt, eignet sich der Wyssen-Sprengmast besonders für abgelegene Standorte ohne winterlichen Bodenzugang. (Gubler et al., 2012) Man wird dadurch zwar besonders von der Verfügbarkeit eines Helikopters abhängig, jedoch werden durch das abgelegene Anbruchgebiet der Liesgele-Lawine auch die beiden anderen Systeme für Wartung und Aufmagazinierung nicht auf einen Hubschrauber verzichten können.

Auch das GAZ.EX-System hat noch einen weiteren Nachteil, der beachtet werden sollte. Das Zündrohr besitzt einen Rückstoß, der seismische Wellen im Festgestein erzeugt. Diese seismischen Wellen lösen gerne Sekundärlawinen aus. (Stoffel, 1996) Im Hinblick auf die möglichen Sekundärlawinen rund um die Liesgele-Lawine sollte dies vermieden werden (Abschnitt 2.3).

5.4 Vergleich mit Vollverbauung

An dem praktischen Beispiel der Liesgele-Lawine sollen die totalen Kosten eines künstlichen Lawinenauslösesystemes mit der Alternative der Vollverbauung verglichen werden. Wie in Abschnitt 1.1.2 besprochen, gehört die technische Verbauung zum permanenten Lawinenschutz. Die größte Bedeutung im Anbruchgebiet kommt der Anbruchsverbauung zu, die durch Abstützung der Schneedecke einen Anbruch verhindert. Ergänzt wird sie durch die Verwehungsverbauung und die Gleitschneeverbauung. Erstere soll den Schnee zur kontrollierten Ablagerung außerhalb des Lawinenanbruchgebietes zwingen und zweitens das Gleiten und Kriechen der Schneedecke unterbinden. (Rudolf-Miklau and Sauer Moser, 2011) Die Machbarkeitsstudie der ÖBB (ÖBB Infrastruktur AG, 2015) beschreibt die Möglichkeit der technischen Vollverbauung und schlägt eine Kombination aus Verwehungs- und Anbruchsverbauung vor. Dazu sollen die Anbruchgebiete L01 bis L04, deren Zwischenräume und der Hangbereich oberhalb der Anbruchgebiete mit Stahlschneebrücken verbaut werden. Westlich der Anbruchgebiete, hinter dem Kamm, sollen Verwehungsverbauungen installiert werden. Wegen des daraus resultierenden massiven Schneeeintrags in das Anbruchgebiet S01 der Lahnerwald-Lawine, ist auch hier eine

5 Praktisches Beispiel Tauernschleuse Mallnitz

Anbruchverbauung vorgesehen. Umfang und Position sind in [Abbildung 5.15](#) ersichtlich. Der Planung liegen folgende Daten zu Grunde.

Verwehungsverbauung

- Werkshöhe H: 4,0 m
- Abstand zu Anbruchgebieten (Ablagerungsbereich): 70 m
- Länge: ca. 250 lfm

Anbruchverbauung

- Fläche: 4,8 ha
- Durchschnittliche Neigung: 42°
- Vertikaler Reihenabstand: 13 m
- Lfm / ha: 690
- Lfm gesamt: 3.300 lfm

Anbruchverbauung im Bereich Verwehungsverbauung

- Fläche: 1,5 ha
- Durchschnittliche Neigung: 32°
- Vertikaler Reihenabstand: 13 m
- Lfm / ha: 480
- Lfm gesamt: 720 lfm

Für das Life Cycle Costing werden auf Grund dieser Daten die Kosten in [Abbildung 5.14](#) veranschlagt.

	Kosten [€] / Laufmeter	Laufmeter	Totale Kosten [€]
Installation Verwehungsverbauung	500	250	125000
Installation Anbruchverbauung	1000	3300	3300000
Installation Anbruchv. Bereich	1000	720	720000
Zwischensumme			4145000
Baustelleneinrichtung	12% der Anlagenkosten		497400
Gesamte Installationskosten			4642400
Instandhaltung	1 % der Gesamtkosten /Jahr		46424
Ausscheidungskosten	10 % der Gesamtkosten		464240

Abbildung 5.14: Die berechneten Kosten für die Anbruchverbauung der Liesgele-Lawine.

Für die Baustellen Einrichtung wurden aufgrund der schlechten Erschließung 12 Prozent der Anlagenkosten veranschlagt. Für die Instandhaltung werden 1 Prozent der gesamten Anlagenkosten pro Jahr angenommen. (Wilhelm, 1997) (Rudolf-Miklau and Sauer Moser, 2011) Die Ausscheidungskosten werden auf 10 Prozent der gesamten Kosten geschätzt.

Für das LCC wurde eine maximale Lebenserwartung von 80 Jahren angenommen. (Rudolf-Miklau and Sauer Moser, 2011) Die Preissteigerung der Folgekosten beträgt 4,22 Prozent und der Diskontsatz 3,50 Prozent.

Tabelle 5.7: Ergebnisse des LCC der Vollverbauung der Liesgele-Lawine.

Kostenstellen	Kapitalwerte [€]	Annuitäten [€]	Relative Anteile [%]
Anlage und Installation	4.642.400	173.556	73
Instandhaltung	1.294.126	48.381	20
Gesch. Ausscheidungsk.	464.240	17.356	7
Summe	6.400.766	239.292	100

Tabelle 5.7 zeigt die Ergebnisse des LCC der Vollverbauung. Neben den Kapitalwerten sind auch die Annuitäten und die relativen Anteile an den Gesamtkosten angeführt. Aufgrund des gewaltigen Unterschiedes der Nutzungsdauer von Vollverbauung und künstlicher Lawinenauslösung bietet sich für den Vergleich nur die Annuitätenmethode an. Für den Vergleich wurde die Variante mit dem Sprengmast-System gewählt.

Tabelle 5.8 zeigt, dass eine Vollverbauung im Bereich der Liesgele Lawine genau zweieinhalb mal so teuer ist wie zwei Lawinensprengmasten in Kombination mit einem Lawinen-Auffangdamm.

Tabelle 5.8: Vergleich der Annuitäten von Vollverbauung und Sprengmast, in Euro gerundet.

Kostenstellen	Vollverbauung [€]	Sprengmast [€]
Anlage und Installation	173.556	25.170
Laufender Betrieb	0	8.147
Instandhaltung	48.381	7.522
Behördliche Auflagen	0	0
Gesch. Ausscheidungsk.	17.356	1.740
Sonstige Kosten	0	52.900
Summe	239.292	95.480

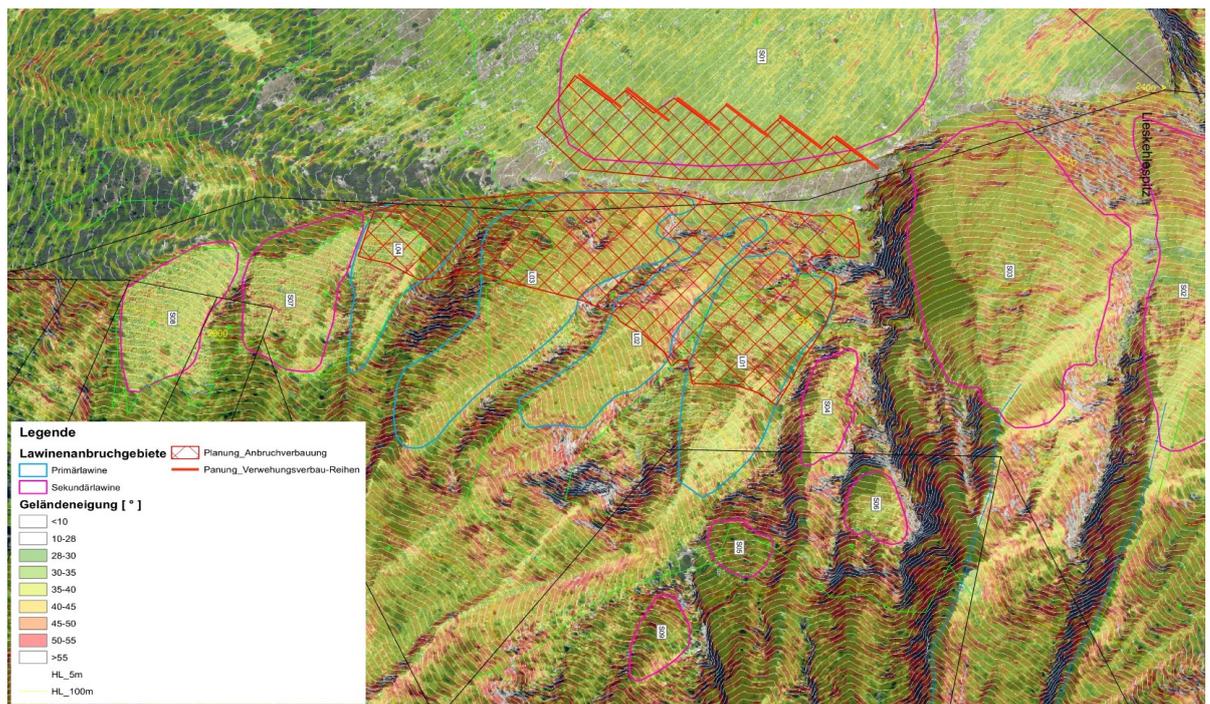


Abbildung 5.15: Mögliche Anbruchverbauung mit Verwehungsverbauung. Eingezeichnet auf einer Neigungskarte. (ÖBB Infrastruktur AG, 2015)

6 Conclusio

Das LCC ergab, dass bei Anschaffung und Installation einer künstlichen Lawinenauslöse-Anlage der Bedarf eines Sprengmittellagers einen großen Posten darstellt. Hier wäre es zu empfehlen entweder die Baukosten mit einem anderen Betrieb, etwa einem Skigebiet oder einem Steinbruch zu teilen oder sich in ein bereits bestehendes Lager einzumieten und durch Teilung der Kosten diese gering zu halten.

Bei den laufenden Kosten hat sich ergeben, dass der "laufende Betrieb" und der "Unterhalt" die beiden größten Posten sind. Innerhalb des laufenden Betriebs wird am meisten Geld für die Munition und das Laden der selbigen ausgegeben. Beim Unterhalt waren die Wartungskosten am höchsten. Um die Systeme miteinander zu vergleichen, ist die Datenbasis leider zu gering. Vor allem da von den sechs, bezüglich GAZ.EX ausgeschickten Fragebögen, nur einer zurück gekommen ist.

Um eine Empfehlung für das praktische Beispiel der Liesgele Lawine abzugeben, werden in [Tabelle 6.1](#) noch einmal die Anforderungen an ein solches System betrachtet. [Tabelle 6.1](#) setzt sich aus den speziellen Anforderungen der ÖBB aus [Abschnitt 5.2](#) und den allgemeinen Anforderungen aus [Abschnitt 2.3](#) zusammen.

Tabelle 6.1: Die Anforderungen an das Auslösesystem zur Sicherung der Liesgele Lawine und das jeweils dafür geeignetste System.

Anforderung	Geeignetstes System
Kosten	Lawinenwächter
Sperrzeiten	-
Umweltschutz	Sprengmast
Effizienz	Sprengmast
Energieautark	-
Gefahr für Menschen	Sprengmast
Wiederholbarkeit	Sprengmast
Schädliche Nebenwirkungen	GAZ.EX

Das LCC ergab, dass der Lawinenwächter das günstigste System ist. Da das Wurfsystem mit nur einem Mast in der Lage ist multiple Auslösepunkte zu sichern, fallen für ihn die geringsten Baukosten an.

Bei der Auslösung dürfte keines der drei automatisierten Systeme gravierend schneller sein als die anderen. Die Sperrzeiten dürfen also für alle drei Systeme als gleich angenommen werden.

Aus Sicht des Umweltschutzes eignet sich der Sprengmast am besten. Er benötigt den

geringsten baulichen Eingriff in die Natur und fügt sich auch am unscheinbarsten in die Landschaft ein.

Aufgrund der Genauigkeit durch den fixen Sprengpunkt, die Überschneesprengung und der Verwendung von großen Sprengladungen, erzielt der Sprengmast von allen drei Systemen den höchsten Wirkungsgrad bei der Auslösung.

Alle drei Systeme sind energieautark und eignen sich dadurch gleichermaßen für das abgelegene Gebiet der Liesgele Lawine.

Keines der Systeme benötigt zur Bedienung eine Mannschaft vor Ort. Durch den Einsatz eines Detektionssystems werden auch keine Beobachter in der Nähe benötigt. Die Gefahr für Menschen ist also beim Betrieb aller drei Systeme kaum vorhanden. Dennoch müssen der Lawinenwächter und das GAZ.EX-System vor Ort im Gelände gewartet und munitioniert werden. Da der Kern des Sprengmastsystems für diese Arbeit ins Tal geflogen werden kann und alle Arbeiten auf dem Betriebsgelände der ÖBB durchgeführt werden können, stellt es aus der Sicht des Arbeitnehmerschutzes die ideale Lösung dar. Um permanente Sicherheit gewährleisten zu können, muss das die Auslösemöglichkeit ständig vorhanden sein. Im Idealfall ist das bei allen drei Systemen gewährleistet. Problematisch wird es bei unplanmäßigen Reparaturen oder einem überdurchschnittlich hohen Munitionsverbrauch. In beiden Fällen benötigen der Lawinenwächter und das GAZ.EX-System Personal vor Ort. Dies kann durch große Schneemassen oder eine hohe Lawinengefahr problematisch bis unmöglich werden. Hier kann bei einem Sprengmast mit Hilfe eines Hubschraubers und gutem Flugwetter ein leeres oder defektes System sofort durch ein frisches ersetzt werden.

Bei erfolgreicher Auslösung sind die schädlichen Auswirkungen auf Mensch und Umwelt im Einzugsgebiet der Lawine (Anbruchgebiet, Sturzbahn, Ablagerungsgebiet) bei allen drei Systemen identisch. Einziger Unterschied ist, dass das GAZ.EX-System keine gefährlichen Blindgänger erzeugen kann.

[Tabelle 6.1](#) zeigt, dass der Sprengmast am häufigsten die Anforderungen zur Sicherung der Liesgele Lawine erfüllt. Diese Arbeit empfiehlt daher seinen Einsatz in diesem speziellen Fall.

Daher wurden auch die Kosten des Sprengmastes mit denen der alternativen Vollverbauung verglichen. Die Vollverbauung erwies sich dabei zweieinhalbmal so teuer wie die künstliche Lawinenauslösung wie [Abbildung 6.1](#) zeigt.

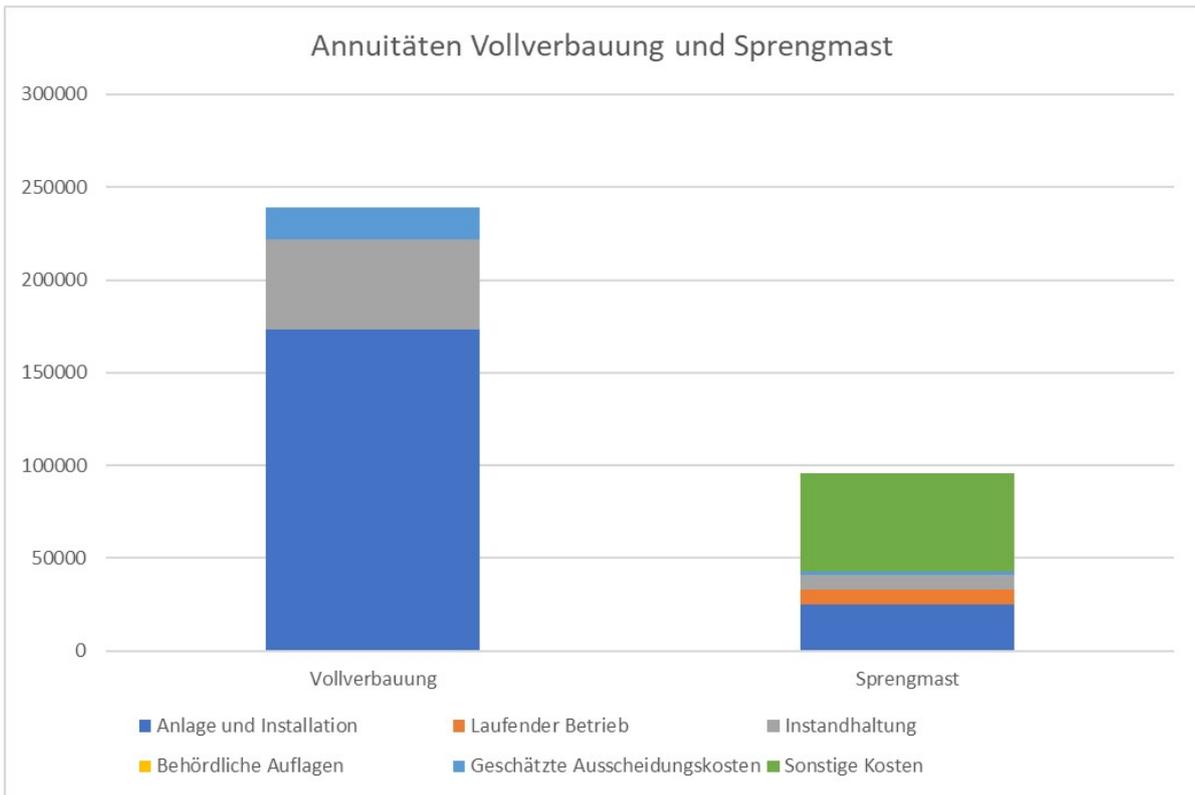


Abbildung 6.1: Vergleich der Annuitäten von Vollverbauung und Sprengmast in Euro gerundet.

Obwohl sich die tatsächlichen Kosten der beiden Anlagen stark unterscheiden, sind sie sich relativ gesehen recht ähnlich.

Tabelle 6.2: Vergleich der Annuitäten von Vollverbauung und Sprengmast, in Euro gerundet.

Kostenstellen	Vollverbauung [%]	Sprengmast [%]
Anlage und Installation	72,5	77,9
Lauf. Betrieb u. Instandhaltung	20,2	20,2
Behördliche Auflagen	0	0
Gesch. Ausscheidungsk.	7,3	1,8
Sonstige Kosten	0	0
Summe	100	100

Rechnet man den Auffangdamm nicht mehr als eigenen Posten, sondern in die Anlagenkosten hinein und zählt den laufenden Betrieb und die Instandhaltung zusammen (Tabelle 6.2), beginnen sich die relativen Kosten der beiden Bauprojekte ähnlich zu sehen und unterscheiden sich nur noch in ihren Ausscheidungskosten offensichtlich.

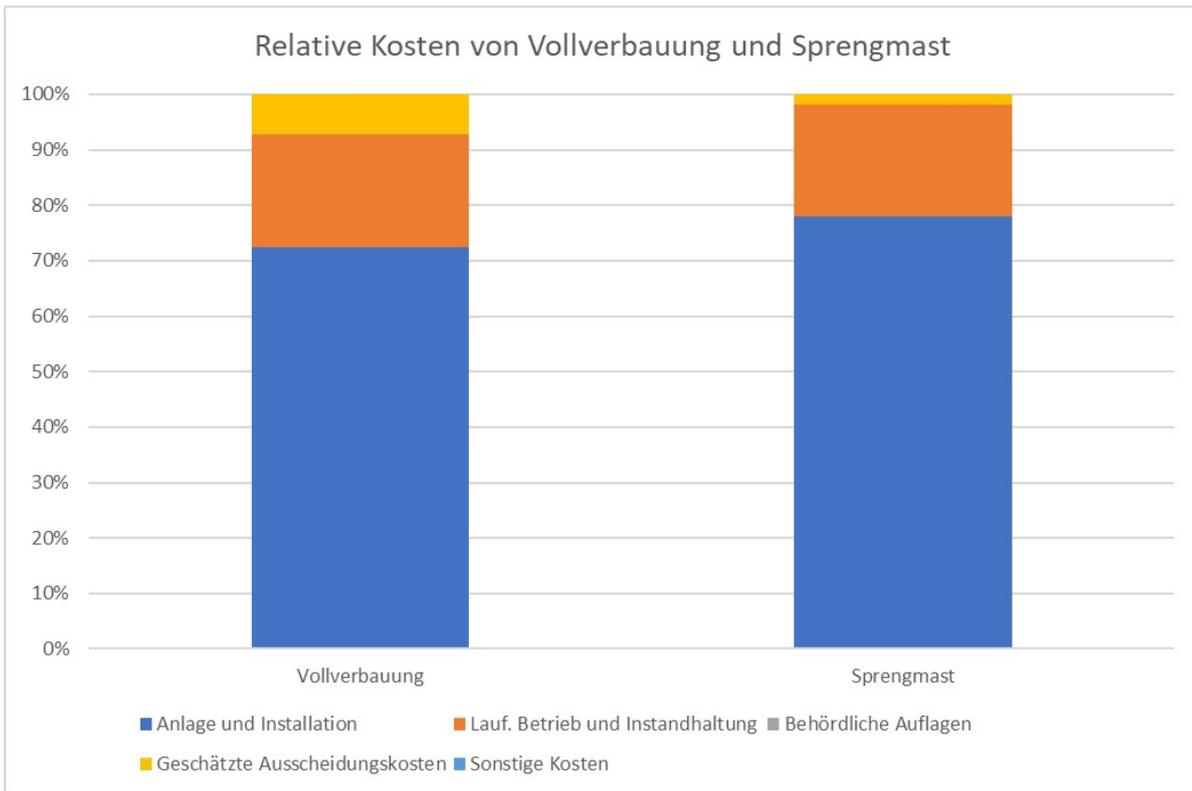


Abbildung 6.2: Die relativen Anteile der Kosten von Vollverbauung und Sprengmast zur Sicherung der Liesgele Lawine in Prozent.

Abbildung 6.2 zeigt, dass die Ausgaben der beiden Alternativen Vollverbauung und Sprengmast relativ zu ihren Gesamtausgaben in etwa gleich sind.

Literaturverzeichnis

- Allesch, A. and Brunner, P. (2014). Assessment methods for solid waste management: A literature review. *SAGE journals*, 32:461–473.
- Brucker, A. (2013). Künstliche Lawinenauslösung zur Sicherung von Verkehrswegen in Österreich - Status-Quo und Einschätzung aus Sicht von Experten. Master's thesis, Leopold Franzens Universität Innsbruck, Fakultät für Geo- und Atmosphärenwissenschaften, Institut für Geographie.
- Burkard, A. and Gauderon, A. (2008). Detektionssysteme bei künstlicher Lawinenauslösung. Online Version SILS Homepage, www.sils-ch.ch. Auftraggeber: Schweizerische Interessengemeinschaft Lawinenwarnsysteme (SILS).
- Ernest, A. (1884). Eisenbahnchronik Hiefiau. ÖBB-interne Lawinenchronik.
- Gubler, H. (1983). *Kuenstliche Ausloesung von Lawinen durch Sprengungen: Eine Anleitung fuer den Praktiker*. Mitteilungen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung Nr.36.
- Gubler, H. and Salm, B. (1996). Lawinen und Rechtsfragen. Proceedings zur Tagung vom 10.-14. Januar 1994 in Davos. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung. Schnee- Lawinenforum 1: 172 S.
- Gubler, H., Wyssen, H., and Kogelnig, A. (2012). Leitfaden künstliche Lawinenauslösung. wyssen avalanche control AG, Reichenbach.
- Haid, H. (2007). *Mythos Lawinen, Eine Kulturgeschichte*. Studienverlag Ges.m.b.H.
- Höhne, C. (2009). Life Cycle Costing - Systematisierung bestehender Studien. Master's thesis, Technische Universität Dresden, Fakultät Wirtschaftswissenschaften.
- Höllner, P. (2015). *Lawinen, die größten Katastrophen in Österreich seit 1946/47*. Studia Universitätsverlag Innsbruck.
- Inauen-Schätti (2017). *Inauen-Schätti Lawinenwächter*. Inauen-Schätti AG, Tschachen 1; CH-8762 Schwanden. Werbeprospekt.
- Kienberger, C. (2013). Evaluation of Avalanche Detection Systemes and Development of a Plan for Simple Detection System. Master's thesis, Universität für Bodenkultur Wien.

- Lacroix (2018). Avalancheur. <http://www.lacroix-defense.com/produit.php?pole=civil&code=avalauncher>. Bezogen am 17.03.2018.
- Langdon, D. (2007). Life cycle costing (LCC) as a contribution to sustainable construction - Guidance on the use of the LCC Methodology and its application in public procurement. Verfügbar über EU Publications: ec.europa.eu/DocsRoom/documents/5060/attachments/1/.../native. Bezogen am 20.01.2018.
- Lück, W. (2004). *Lexikon der Betriebswirtschaftslehre*. R. Oldenbourg Verlag, 6., völlig neu bearbeitete auflage edition.
- ÖBB Infrastruktur AG (2015). Machbarkeitsstudie Lawinenschutz - Liesgele-Lawine Gemeinde Mallnitz. Durchgeführt von Ingenieurbüro Illmer Daniel e.U.
- Petri, P., Hikade, R., and Kuschel, A. (2010). *Handbuch Sprengtechnik*. Tyrolia-Verlag Innsbruck-Wien, 2. überarbeitete auflage edition.
- Rabofsky, E., Gabl, K., Lackinger, B., Hanausek, E., Hopf, J., Schimpp, O., Mayr, R., Scheiber, P., Larcher, M., Damisch, C., Gayl, A., Hecher, H., Phleps, W., Mair, R., and Schaffhauser, H. (2000). *Lawinenhandbuch*. Land Tirol, Tyrolia-Verlag.
- Roth, E. (2013). *Lawinen Verstehe - Vermeiden - Praxistipps*. Bergverlag Rother.
- Rudolf-Miklau, F. (2009). *Naturgefahren-Management in Österreich*. LexisNexis Verlag.
- Rudolf-Miklau, F. and Sauer Moser, S. (2011). *Handbuch technischer Lawinenschutz*. Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co.KG.
- Schwab, A. (1999). *Managementwissen für Ingenieure*. Springer-Verlag. 2.,neubearbeitete Auflage.
- Schweizer, J. (2006). *Lawinen und Recht. Proceedings zum Internationalen Seminar vom 6.-9. November 2005. Davos*. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF.
- snowbrains.com (2018). GAZ.EX. <https://snowbrains.com/squaw-valley-to-invests-4-million-13-gazex-4-avalaunchers-1-avy-helicopter-largest-ski-patrol-team-history-navy-seal-trainers/>. Bezogen am 17.03.2018.
- Stoffel, L. (1996). *Künstliche Lawinenauslösung. Hinweise für den Praktiker*. Mitteilungen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung Nr.53.
- Wilhelm, C. (1997). *Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz. Methodik und Erhebung zur Beurteilung von Schutzmassnahmen mittels quantitativer Risikoanalyse und ökonomischer Bewertung*. Mitteilungen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung Nr.54.
- Wyssen (2018). Sprengmast. <https://www.wyssenavalanche.com/lawinenausloesesysteme/lawinen-sprengmast/>. Bezogen am 17.03.2018.

Abbildungsverzeichnis

2.1	Wirkung einer Detonation	20
2.2	Lawinenwächter Inauen-Schätti	24
2.3	Lawinenpfeife Inauen-Schätti	25
2.4	Avalancheur Lacroix	26
2.5	Sprengmast Wyssen	27
2.6	GAZ.EX Zündrohr	28
4.1	Kapitalwerte	42
4.2	Annuitäten pro Auslöseeinheit	44
4.3	Relative Anteile der Kostenstellen	45
4.4	Boxplot der Kosten des laufenden Betriebes	48
4.5	Boxplot der Kosten des Unterhaltes	49
5.1	Liesgele-Sturzbahn	52
5.2	Anbruchgebiete-Liesgele	53
5.3	Simulation Anbruch L01	54
5.4	Simulation Anbruch L03	54
5.5	Simulation Anbruch L01-L02	55
5.6	Simulation Anbruch L03-L04	56
5.7	Südliche Sekundärlawine	57
5.8	Nationalpark Hohe Tauern und Lawenstrich Liesgele	58
5.9	Anbruchgebiet Liesgele mit Sprengmasten	61
5.10	Lawinendamm	62
5.11	Kosten der Liesgele-Varianten	63
5.12	Kapitalwerte des Liesgele-Vergleich	66
5.13	Relative Anteile Liesgele	67
5.14	Kosten Anbruchverbauung	71
5.15	Mögliche Anbruchverbauung Liesgele	72
6.1	Annuitäten von Vollverbauung und Sprengmast	75
6.2	Vergleich von Vollverbauung mit Sprengmast	77

Tabellenverzeichnis

4.1	Kostenstrukturplan	39
4.2	Berechnete Kapitalwerte aller Anlagen	40
4.3	Berechnete Annuitäten aller Anlagen	41
4.4	Berechnete Kapitalwerte aller Anlagen pro Auslöseeinheit	43
4.5	Berechnete Annuitäten aller Anlagen pro Auslöseeinheit	43
4.6	Relative Anteile der Kostenstellen	45
4.7	Durchschnitt der relativen Anteile der Kostenstellen	46
4.8	Relative laufende Kosten	47
4.9	Relative Kosten Unterhalt	49
5.1	Anbruchgebiete Liesgele	51
5.2	Kombinierte Anbruchgebiete Liesgele	53
5.3	Kapitalwerte Variantenvergleich Liesgele	65
5.4	Relative Anteile der Kostenstellen	67
5.5	Effizienz der erhobenen Anlagen	68
5.6	Effizienz von Lawinenwächter, Sprengmast und GAZ.EX	68
5.7	LCC Vollverbauung	71
5.8	Vergleich Vollverbauung und Sprengmast	72
6.1	Vergleich der verschiedenen Auslösesysteme für die Liesgele Lawine	73
6.2	Relative Anteile Vollverbauung und Sprengmast	76

Anhang

Anlage 1

Umfrage zur Kostenerfassung von temporärer
Lawinenauslösung für die Masterarbeit

*„Life Cycle Costs von temporären
Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“*

an der Universität für Bodenkultur Wien



Thomas SCHALLER, BSc

walschalla@gmail.com

0699 81884912

Anlage 1

Dieses Interview dient der Erfassung von Daten und Kosten verschiedener Lawinensprenganlagen, die der temporären Sicherung vor Lawinen dienen.

In Bezug auf künstliche Lawinenauslösung besteht mittlerweile österreichweit eine über 10-jährige Erfahrung bei über 120 Auslösegebieten.

Daher erscheint eine erste unabhängige Gesamtkostenauswertung über die typische Lebensdauer der Anlagen als möglich und sinnvoll.

Ziel ist die Durchführung einer Life Cycle Cost Analyse im Zuge der Masterarbeit
„Life Cycle Costs von temporären Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“,
bearbeitet von Thomas Schaller.

Dazu sollen mit Hilfe dieses Fragebogens die gesamten Kosten, die über die Lebensdauer von verschiedenen Sprenganlagen anfallen erfasst, und die Anlagen unter dem Kostenaspekt miteinander verglichen werden.

Es wird dazu versucht werden, nach Anonymisierung der Daten, die Kosten nach Anlagentyp und Auslösegebiet gruppiert auszuwerten.

Diese Datenbasis soll für weitere Fachdiskussionen zur Verfügung stehen.

Die hiermit erfassten Daten dienen einzig zur Erstellung der oben genannten Arbeit zum Erlangen eines akademischen Grades an der Universität für Bodenkultur.

Sämtliche Daten werden anonym behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.
Die Angaben zur interviewten Person, Firma, ect., dienen nur dem Autor für eventuelle Rückfragen.

Anlage 1

Inhaltsverzeichnis

Angaben zum Interviewpartner	5
• Datum u. Ort des Interviews	5
• Interviewpartner	5
• Titel	5
• Organisation	5
• Funktion	5
• Kontaktdaten für weitere Fragen	5
Beschreibung der Anlage	6
• Systembezeichnung	6
• System-Hersteller	6
• Größe / Aufbau	6
• Gesicherter Bereich	7
• Detektionssystem	7
• Baujahr	7
• Nutzungsdauer	7
• Sprengmittellager / Gaslager	8
• Stromversorgung	8
• Auslösefrequenz	8
• Betriebspersonal	8
Gebiet	9
• Seehöhe	9
• Exposition	9
• Neigung	9
• Schneehöhe	9
• Bewaldung	9
• Sonstiges	9
Kosten der Anlage	10
1. Kosten Anlage	10
1.1 Anlage	10
1.2 Kontrollraum	11
1.3 PC und Software	11
1.4 Detektionssystem	11
1.5 Spezialequipment	12
1.6 Sprengmittellager / Gaslager	12
1.7 Sonstiges	12
2. Installation Anlage	12
2.1 Baustelleneinrichtung	12
2.2 Erdbau / Fundierung	13
2.3 Installation Anlage	13
2.4 Installation Detektionssystem	13
2.5 Transport Boden	13

Anlage 1

2.6	Transport Luft	14
2.7	Kleinmaterial	14
2.8	Erstmalige Inbetriebnahme	14
2.9	Erstmalige Einschulung Betriebspersonal	14
2.10	Sonstiges	15
3.	Laufender Betrieb	15
3.1	Munition / Gas	15
3.2	Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung	15
3.3	Auslösung	15
3.4	Sperre während Sprengung	16
3.5	Blindgängerbeseitigung	16
3.6	Sprengung	16
3.7	Situationsbewertung vor Sprengung	16
3.8	Sonstiges	17
4.	Unterhalt	17
4.1	Betriebspersonal	17
4.2	Versicherung	17
4.3	Wartung	17
4.4	Ersatzteile	18
4.5	Wöchentlicher Check	18
5.	Behördliche Auflagen	18
5.1	TÜF-Prüfung	18
6.	Geschätzte Ausscheidungskosten	18
7.	Sonstige Kosten	19
	Summe der Kosten	19

Anlage 1

Angaben zum Interview Partner

Ort* . [redacted] Datum . [redacted]

Interviewpartner [redacted]

Titel

Organisation . [redacted]

Funktion* [redacted]

Email . [redacted]

Tel. Nr.* [redacted]

*Bitte unbedingt ausfüllen um Auswertbarkeit zu Gewährleisten.

Anlage 1

Beschreibung der Anlage

Bitte pro Anlage jeweils einen Fragebogen ausfüllen!

Systembezeichnung:

- | | |
|--|------------------------------------|
| <input type="radio"/> Sprenganlage | <input type="radio"/> Gaszündung |
| <input checked="" type="radio"/> Stationär | <input type="radio"/> Luftgestützt |

System - Hersteller:

Lawienenergel LSA
hersteller ist die Firma Doppelmayr (Inauen-Schätti)

Größe / Aufbau:

Anzahl Komandozentralen: Eine Komandozentrale.....
Anzahl Masten / Zündrohre: Zwei Masten, 30 Zündrohre.....
Anzahl Gaszentralen:
Durchschnittliche Anzahl Zündrohre pro Gaszentrale:
Anzahl Auslösepunkte: 7 Auslösepunkte.....
Anzahl / Größe Sprengmagazine: 3 Stk. Auslösekästen mit je 10 Zündrohren.....
Seilbahn Spannlänge:
Spannmasten pro Seilbahn:
Wirkungsradius pro Spreng- / Zündpunkt: ca. 50m.....

Anlage 1

Gesicherter Bereich:

Anzahl gesicherter Anbruchflächen: 7 Schneerinnen auf ca. 250m länge.....

Fläche gesicherter Anbruchflächen [m²]: einige 1000m².....

Gesichertes Anbruchsvolumen [m³]:

Maximale Schneemächtigkeit [m]: je nach Winter, ca.7m.....

Detektionssystem:

- Vorhanden Nicht vorhanden
- Radar Ultrasound Geophon Visuell
- Wärmebild Andere:
- Am Auslösesystem Am Gegenhang

Baujahr:

2004

Nutzungsdauer: (in Jahren)

Geplante Nutzungsdauer:

Erreichte Nutzungsdauer:

Diese Anlage wird so lange sie ohne großen Rep. Aufwand ist, in Betrieb bleiben.

Anlage 1

Sprengmittellager / Gaslager:

- Vorhanden Nicht Vorhanden
 Einzelnutzung Gemeinsame Nutzung
 Neuanschaffung Bereits Vorhanden Erweiterung

Kapazität [kg]: 100 kg.....

Stromversorgung:

- Autark Solar
 Stromanschluss

Auslösefrequenz:

Durchschn. Anzahl der erfolgten Sprengungen / Zündungen pro Jahr: 14.....

Durchschn. Anzahl der erfolgreichen Lawinen-Auslösungen pro Jahr: 2.....

Kann nicht genau angegeben werden, da sich diese Sprengungen nach den Schneemengen richten. bei uns wird das als Vorsorgesprengung deklariert. Gibt auch Winter wo es keiner Sprengung bedarf.,

Benötigtes Personal:

4 Mitarbeiter der Autobahnmeisterei inkl. Schneepflüge
4 Mitglieder der Lawienenkommision
Exekutive (Polizei) für die Straßensperre

Anlage 1

Zu sicherndes Gebiet

Durchschnittliche Seehöhe [m]:

1870m

Durchschnittliche Exposition:

Südost

Durchschnittliche Neigung [°]:

30 bis 35 Grad

Durchschnittliche Schneehöhe [m]:

ca. 180cm bei der Wetterstation

Bewaldet

Über Waldgrenze

Sonstiges:

Anlage 1

1.2) Kontrollraum: (Kosten für Räumlichkeiten, die die Steuerung der Anlage enthalten.

Baukosten, Miete; ect.)

Fixe K. (8000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Dieser Raum befindet sich bei uns in der Autobahnmeisterei. Daher keine zusätzlichen kosten.

1.3) PC und Software: (Anschaffungskosten, Installationskosten, Wartung, ect.)

Fixe K. (1500..... €) Laufende K./Jahr (200..... €)

1.4) Detektionssystem:

Σ Fixe K. (0..... €) Σ Laufende K./Jahr (0..... €)

Anschaffungskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Lieferungskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Installationskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Diese kosten sind bei den 170.000 dabei.

Anlage 1

1.5) Spezialequipment: (Spezielles Werkzeug oder Hilfsmittel für den Betrieb der Anlage, z.B. Heli-Klinke, Motorschlitten, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.6) Sprengmittellager / Gaslager: (Errichtung, Miete, Instandhaltung, ect.)

Fixe K. (40000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Diese wurde auch auf unserem Gelände verbaut. Hier belaufen sich die Baukosten auf ca. 40.000 Euro. laufende kosten gibt es zur Zeit nicht.

1.7) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (4000..... €)

Diese beträge werden jährlich an die Grundstücksbesitzer übergeben. Zusätzlich bekommen diese bei einer Sprengung noch einen Betrag X für diverse Wildunfälle durch die Sprengung.

2. Installation Anlage

Kosten die sich auf die Lieferung, Errichtung und Montage der Auslöseeinheiten beziehen (Masten, Zündrohre, Gaszentralen, ...)

2.1) Baustelleneinrichtung: (Kosten für Baustelleneinrichtung, Arbeit, ect.)

Fixe K. (12000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

12000€ Baustelleneinrichtung und Betonfundamente

Anlage 1

2.2) Erdbau / Fundierung:

Arbeitsstunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

nicht bekannt.....

2.3) Installation Anlage:

Arbeitsstunden:

Fixe K. (5000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.4) Installation Detektionssystem:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Nicht bekannt.....

2.5) Transport Boden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

nicht bekannt.....

Anlage 1

2.6) Transport Luft:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.7) Kleinmaterial:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.8) Erstmalige Inbetriebnahme:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.9) Erstmalige Einschulung Betriebspersonal:

Fixe K. (3000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Sämtliche Schulungen und Kurse für zwei MA der Autobahnmeisterei. Sprengkurse, Lawienenkurse usw.... und alle dazugehörigen Auffrischungen.

Anlage 1

2.10) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3. Laufender Betrieb

3.1) Munition / Gas:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (2000..... €)

Diese jedoch nur bei Bedarf einer Nachfüllung.

3.2) Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 60.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (6000..... €)

Hierfür werden zwei Mitarbeiter benötigt. Sind die gleichen Arbeitsstunden wie bei 4.

1) Betriebspersonal!

6000: Diese werden für die Hubschrauberflüge benötigt. Hier ist aber noch keine Nachfüllung mit berücksichtigt.

3.3) Auslösung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 1

3.4) Sperre während Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 1,5.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Diese Stunde wird für Vorarbeiten und Informationen benötigt

3.5) Blindgängerbeseitigung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Hatten wir noch nicht.

3.6) Sprengung:

Mittlerer Zeitaufwand pro Sprengung in Stunden: 0,5.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3.7) Situationsbewertung vor Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 2.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Diese bewertung übernimmt die Lawienenkommision.

Anlage 1

3.8) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4. Unterhalt

4.1) Betriebspersonal:

Arbeitsstunden Personal pro Jahr: **60**.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (**3720**..... €)

Für Wartung und Instandhaltung. Be- und Entladen.

Stundenlohn beträgt 62€ für zwei Mitarbeiter.

4.2) Versicherung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

kein Einzelposten, diese wird über die Autobahnmeisterei generell gemacht und bezahlt.

4.3) Wartung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: **10**.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (**620**..... €)

Anlage 1

4.4) Ersatzteile:

Fixe K. (.5000..... €) Laufende K./Jahr (.500..... €)

Die Anlage wurde 2015 mit einem GPS System erneuert.

500 Euro / Jahr: Bekleidung und Werkzeug

4.5) Wöchentlicher Check:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 10.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.620..... €)

5. Behördliche Auflagen

5.1) TÜF-Überprüfung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

keine

6. Geschätzte Ausscheidungskosten

Fixe K. (.12000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 1

7. Sonstige Kosten

Fixe K. (27.000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Wetterstation

Summe Kosten

Die Summierung dient der schnellen Überprüfung über die totalen Kosten.

POSTEN	FIXE K. [€]	LAUF. K. [€]
1.KOSTEN ANLAGE	179500	4200
2.INSTALLATION ANLAGE	20000	0
3.LAUFENDER BETRIEB	0	8000
4.UNTERHALT	5000	5460
5.BEHÖRDLICHE AUFLAGEN	0	0
6.GESCHÄTZTE AUSSCHIEDUNGSK.	12000	0
7.SONSTIGE KOSTEN	27000	0
SUMME Σ	243500	17660

Anlage 2

Umfrage zur Kostenerfassung von temporärer
Lawinenauslösung für die Masterarbeit

*„Life Cycle Costs von temporären
Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“*

an der Universität für Bodenkultur Wien



Thomas SCHALLER, BSc

walschalla@gmail.com

0699 81884912

Anlage 2

Dieses Interview dient der Erfassung von Daten und Kosten verschiedener Lawinensprenganlagen, die der temporären Sicherung vor Lawinen dienen.

In Bezug auf künstliche Lawinenauslösung besteht mittlerweile österreichweit eine über 10-jährige Erfahrung bei über 120 Auslösegebieten.

Daher erscheint eine erste unabhängige Gesamtkostenauswertung über die typische Lebensdauer der Anlagen als möglich und sinnvoll.

Ziel ist die Durchführung einer Life Cycle Cost Analyse im Zuge der Masterarbeit
„Life Cycle Costs von temporären Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“,
bearbeitet von Thomas Schaller.

Dazu sollen mit Hilfe dieses Fragebogens die gesamten Kosten, die über die Lebensdauer von verschiedenen Sprenganlagen anfallen erfasst, und die Anlagen unter dem Kostenaspekt miteinander verglichen werden.

Es wird dazu versucht werden, nach Anonymisierung der Daten, die Kosten nach Anlagentyp und Auslösegebiet gruppiert auszuwerten.

Diese Datenbasis soll für weitere Fachdiskussionen zur Verfügung stehen.

Die hiermit erfassten Daten dienen einzig zur Erstellung der oben genannten Arbeit zum Erlangen eines akademischen Grades an der Universität für Bodenkultur.

Sämtliche Daten werden anonym behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.
Die Angaben zur interviewten Person, Firma, ect., dienen nur dem Autor für eventuelle Rückfragen.

Anlage 2

Inhaltsverzeichnis

Angaben zum Interviewpartner	5
• Datum u. Ort des Interviews	5
• Interviewpartner	5
• Titel	5
• Organisation	5
• Funktion	5
• Kontaktdaten für weitere Fragen	5
Beschreibung der Anlage	6
• Systembezeichnung	6
• System-Hersteller	6
• Größe / Aufbau	6
• Gesicherter Bereich	7
• Detektionssystem	7
• Baujahr	7
• Nutzungsdauer	7
• Sprengmittellager / Gaslager	8
• Stromversorgung	8
• Auslösefrequenz	8
• Betriebspersonal	8
Gebiet	9
• Seehöhe	9
• Exposition	9
• Neigung	9
• Schneehöhe	9
• Bewaldung	9
• Sonstiges	9
Kosten der Anlage	10
1. Kosten Anlage	10
1.1 Anlage	10
1.2 Kontrollraum	11
1.3 PC und Software	11
1.4 Detektionssystem	11
1.5 Spezialequipment	12
1.6 Sprengmittellager / Gaslager	12
1.7 Sonstiges	12
2. Installation Anlage	12
2.1 Baustelleneinrichtung	12
2.2 Erdbau / Fundierung	13
2.3 Installation Anlage	13
2.4 Installation Detektionssystem	13
2.5 Transport Boden	13

Anlage 2

2.6	Transport Luft	14
2.7	Kleinmaterial	14
2.8	Erstmalige Inbetriebnahme	14
2.9	Erstmalige Einschulung Betriebspersonal	14
2.10	Sonstiges	15
3.	Laufender Betrieb	15
3.1	Munition / Gas	15
3.2	Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung	15
3.3	Auslösung	15
3.4	Sperre während Sprengung	16
3.5	Blindgängerbeseitigung	16
3.6	Sprengung	16
3.7	Situationsbewertung vor Sprengung	16
3.8	Sonstiges	17
4.	Unterhalt	17
4.1	Betriebspersonal	17
4.2	Versicherung	17
4.3	Wartung	17
4.4	Ersatzteile	18
4.5	Wöchentlicher Check	18
5.	Behördliche Auflagen	18
5.1	TÜF-Prüfung	18
6.	Geschätzte Ausscheidungskosten	18
7.	Sonstige Kosten	19
	Summe der Kosten	19

Anlage 2

Angaben zum Interview Partner

Ort* [redacted] Datum [redacted]

Interviewpartner [redacted]

Titel

Organisation [redacted]

Funktion* [redacted]

Email [redacted]

Tel. Nr.* [redacted]

*Bitte unbedingt ausfüllen um Auswertbarkeit zu Gewährleisten.

Anlage 2

Beschreibung der Anlage

Bitte pro Anlage jeweils einen Fragebogen ausfüllen!

Systembezeichnung:

- | | |
|---|------------------------------------|
| <input checked="" type="radio"/> Sprenganlage | <input type="radio"/> Gaszündung |
| <input checked="" type="radio"/> Stationär | <input type="radio"/> Luftgestützt |

Wyssen Lawinen-Sprengmast LS12-5

System - Hersteller:

Wyssen

Größe / Aufbau:

Anzahl Komandozentralen: 1.....

Anzahl Masten / Zündrohre: 4.....

Anzahl Gaszentralen:

Durchschnittliche Anzahl Zündrohre pro Gaszentrale:

Anzahl Auslösepunkte: 4.....

Anzahl / Größe Sprengmagazine: 12 pro Mast.....

Seilbahn Spannlänge:

Spannmasten pro Seilbahn:

Wirkungsradius pro Spreng- / Zündpunkt: 260m laut Wyssen (.120m2.).....

Anlage 2

Gesicherter Bereich:

Anzahl gesicherter Anbruchsflächen: 3

Fläche gesicherter Anbruchsflächen [m²]: 1) 16000m² 2) 40000m² 3+4) 80000m²

Gesichertes Anbruchsvolumen [m³]: mit Auslösung Ø 68000m³

Maximale Schneemächtigkeit [m]: mit Anlage ca 50cm ohne Anlage 2.m

Detektionssystem:

- Vorhanden Nicht vorhanden
- Radar Ultrasound Geophon Visuell
- Wärmebild Andere: Webcam.....
- Am Auslösesystem Am Gegenhang

Wärmebildkamera für Personendetektion vorhanden

Baujahr:

2014

Nutzungsdauer: (in Jahren)

Geplante Nutzungsdauer: laut EconoMe 20 Jahre laut Hersteller 49 Jahre

Erreichte Nutzungsdauer: 2

Laut Wyssen Lebensdauer von Mast/ Fundament 49 Jahre, wenn Elektronik unterhalten wird

Anlage 2

Sprengmittellager / Gaslager:

- Vorhanden Nicht Vorhanden
 Einzelnutzung Gemeinsame Nutzung
 Neuanschaffung Bereits Vorhanden Erweiterung

Kapazität [kg]: 1000kg; RhB davon 250 kg.....

Stromversorgung:

- Autark Solar
 Stromanschluss

Auslösefrequenz:

Durchschn. Anzahl der erfolgten Sprengungen / Zündungen pro Jahr: 4 - 10.....

Durchschn. Anzahl der erfolgreichen Lawinen-Auslösungen pro Jahr: 3 - 8.....

Benötigtes Personal:

LawK Val Bever, RhB Personal, Gemeinde, Absperrposten

Anlage 2

Zu sicherndes Gebiet

Durchschnittliche Seehöhe [m]:

2400

Durchschnittliche Exposition:

NO

Durchschnittliche Neigung [°]:

35-50°

Durchschnittliche Schneehöhe [m]:

1 - 2m (ohne Verrachtungen) Wert / IMIS Alpetta

Bewaldet

Über Waldgrenze

Sonstiges:

nur Anriss über Waldgrenze

Anlage 2

1.2) Kontrollraum: (Kosten für Räumlichkeiten, die die Steuerung der Anlage enthalten.

Baukosten, Miete; ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.3) PC und Software: (Anschaffungskosten, Installationskosten, Wartung, ect.)

Fixe K. (.10000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.4) Detektionssystem:

Σ Fixe K. (.35000..... €) Σ Laufende K./Jahr (.0..... €)

Anschaffungskosten

Ab Werk

Fixe K. (.35000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Lieferungskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Installationskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

zuvor 20000 für Prototyp

Anlage 2

1.5) Spezialequipment: (Spezielles Werkzeug oder Hilfsmittel für den Betrieb der Anlage, z.B. Heli-Klinke, Motorschlitten, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.6) Sprengmittellager / Gaslager: (Errichtung, Miete, Instandhaltung, ect.)

Fixe K. (.172000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.7) Sonstiges:

Fixe K. (.10000..... €) Laufende K./Jahr (2000..... €)

Für Absperrmaterial

2. Installation Anlage

Kosten die sich auf die Lieferung, Errichtung und Montage der Auslöseeinheiten beziehen (Masten, Zündrohre, Gaszentralen, ...)

2.1) Baustelleneinrichtung: (Kosten für Baustelleneinrichtung, Arbeit, ect.)

Fixe K. (40000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 2

2.2) Erdbau / Fundierung:

Arbeitsstunden:

Fixe K. (.60000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.3) Installation Anlage:

Arbeitsstunden:

Fixe K. (.15000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.4) Installation Detektionssystem:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.5) Transport Boden:

Fixe K. (.2800..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 2

2.6) Transport Luft:

Fixe K. (25000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.7) Kleinmaterial:

Fixe K. (5000..... €) Laufende K./Jahr (5000..... €)

Absperrungen inkl. Heli

2.8) Erstmalige Inbetriebnahme:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.9) Erstmalige Einschulung Betriebspersonal:

Fixe K. (5800..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Projektierung, Einschulung und Inbetriebnahme

Anlage 2

2.10) Sonstiges:

Fixe K. (80000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Projektierung und Bauleitung

3. Laufender Betrieb

3.1) Munition / Gas:

Fixe K. (0..... €) Laufende K./Jahr (3200..... €)

Munition Riomon T1

3.2) Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 6 Mannstd....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (480..... €)

3.3) Auslösung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 10.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (800..... €)

Anlage 2

3.4) Sperre während Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 3.....

Fixe K. (4000..... €) Laufende K./Jahr (.240..... €)

Absperrmaterial 4000CHF (Schilder)

3.5) Blindgängerbeseitigung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.1000..... €)

3.6) Sprengung:

Mittlerer Zeitaufwand pro Sprengung in Stunden: 1/2 Std.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3.7) Situationsbewertung vor Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 3.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.240..... €)

Anlage 2

3.8) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4. Unterhalt

4.1) Betriebspersonal:

Arbeitsstunden Personal pro Jahr: 20.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.1600..... €)

4.2) Versicherung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4.3) Wartung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 20.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.9535..... €)

7135 Upgrade 10000CHF, Lizenz Software 515CHF pro Mast und Jahr (2060),
Wartung 2350 erster Mast und alle weiter 575 (Summe 4075). Zudem KUF1 Kontrolle
1000CHF und wartung Detektionssystem 2400

Anlage 2

4.4) Ersatzteile:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.1000..... €)

4.5) Wöchentlicher Check:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 2.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.160..... €)

5. Behördliche Auflagen

5.1) TÜF-Überprüfung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

6. Geschätzte Ausscheidungskosten

Fixe K. (.17.500..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Da ich Leider zu dieser Situation keinerlei Angaben habe würde ich die Kosten pro Masten mit Rücktransport Masten und Rückbau der Fundamente und Entsorgung auf ca 15000 – 20000 Sfr. Schätzen. (Entsorgung, Personal, Maschinen, Heli.)

Ist Natürlich auch stark abhängig über der Grösse der Fundamente und die Flugruten Zeit.

Anlage 2

7. Sonstige Kosten

Fixe K. (.7000..... €) Laufende K./Jahr (.1000..... €)

Ausbildung Personal Sprengkurs und regelmäßige Weiterbildung, Beratung Experte

Summe Kosten

Die Summierung dient der schnellen Überprüfung über die totalen Kosten.

POSTEN	FIXE K. [€]	LAUF. K. [€]
1.KOSTEN ANLAGE	475001	2000
2.INSTALLATION ANLAGE	233600	5000
3.LAUFENDER BETRIEB	4000	5960
4.UNTERHALT	0	12295
5.BEHÖRDLICHE AUFLAGEN	0	0
6.GESCHÄTZTE AUSSCHIEDUNGSK.	17500	0
7.SONSTIGE KOSTEN	7000	1000
SUMME Σ	737101	26255

Anlage 3

Umfrage zur Kostenerfassung von temporärer
Lawinenauslösung für die Masterarbeit

*„Life Cycle Costs von temporären
Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“*

an der Universität für Bodenkultur Wien



Thomas SCHALLER, BSc

walschalla@gmail.com

0699 81884912

Anlage 3

Dieses Interview dient der Erfassung von Daten und Kosten verschiedener Lawinensprenganlagen, die der temporären Sicherung vor Lawinen dienen.

In Bezug auf künstliche Lawinenauslösung besteht mittlerweile österreichweit eine über 10-jährige Erfahrung bei über 120 Auslösegebieten.

Daher erscheint eine erste unabhängige Gesamtkostenauswertung über die typische Lebensdauer der Anlagen als möglich und sinnvoll.

Ziel ist die Durchführung einer Life Cycle Cost Analyse im Zuge der Masterarbeit
„Life Cycle Costs von temporären Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“,
bearbeitet von Thomas Schaller.

Dazu sollen mit Hilfe dieses Fragebogens die gesamten Kosten, die über die Lebensdauer von verschiedenen Sprenganlagen anfallen erfasst, und die Anlagen unter dem Kostenaspekt miteinander verglichen werden.

Es wird dazu versucht werden, nach Anonymisierung der Daten, die Kosten nach Anlagentyp und Auslösegebiet gruppiert auszuwerten.

Diese Datenbasis soll für weitere Fachdiskussionen zur Verfügung stehen.

Die hiermit erfassten Daten dienen einzig zur Erstellung der oben genannten Arbeit zum Erlangen eines akademischen Grades an der Universität für Bodenkultur.

Sämtliche Daten werden anonym behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.
Die Angaben zur interviewten Person, Firma, ect., dienen nur dem Autor für eventuelle Rückfragen.

Anlage 3

Inhaltsverzeichnis

Angaben zum Interviewpartner	5
• Datum u. Ort des Interviews	5
• Interviewpartner	5
• Titel	5
• Organisation	5
• Funktion	5
• Kontaktdaten für weitere Fragen	5
Beschreibung der Anlage	6
• Systembezeichnung	6
• System-Hersteller	6
• Größe / Aufbau	6
• Gesicherter Bereich	7
• Detektionssystem	7
• Baujahr	7
• Nutzungsdauer	7
• Sprengmittellager / Gaslager	8
• Stromversorgung	8
• Auslösefrequenz	8
• Betriebspersonal	8
Gebiet	9
• Seehöhe	9
• Exposition	9
• Neigung	9
• Schneehöhe	9
• Bewaldung	9
• Sonstiges	9
Kosten der Anlage	10
1. Kosten Anlage	10
1.1 Anlage	10
1.2 Kontrollraum	11
1.3 PC und Software	11
1.4 Detektionssystem	11
1.5 Spezialequipment	12
1.6 Sprengmittellager / Gaslager	12
1.7 Sonstiges	12
2. Installation Anlage	12
2.1 Baustelleneinrichtung	12
2.2 Erdbau / Fundierung	13
2.3 Installation Anlage	13
2.4 Installation Detektionssystem	13
2.5 Transport Boden	13

Anlage 3

2.6	Transport Luft	14
2.7	Kleinmaterial	14
2.8	Erstmalige Inbetriebnahme	14
2.9	Erstmalige Einschulung Betriebspersonal	14
2.10	Sonstiges	15
3.	Laufender Betrieb	15
3.1	Munition / Gas	15
3.2	Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung	15
3.3	Auslösung	15
3.4	Sperre während Sprengung	16
3.5	Blindgängerbeseitigung	16
3.6	Sprengung	16
3.7	Situationsbewertung vor Sprengung	16
3.8	Sonstiges	17
4.	Unterhalt	17
4.1	Betriebspersonal	17
4.2	Versicherung	17
4.3	Wartung	17
4.4	Ersatzteile	18
4.5	Wöchentlicher Check	18
5.	Behördliche Auflagen	18
5.1	TÜF-Prüfung	18
6.	Geschätzte Ausscheidungskosten	18
7.	Sonstige Kosten	19
	Summe der Kosten	19

Anlage 3

Angaben zum Interview Partner

Ort* [redacted] Datum [redacted]

Interviewpartner [redacted]

Titel

Organisation [redacted]

Funktion* [redacted]

Email [redacted]

Tel. Nr.* [redacted]

*Bitte unbedingt ausfüllen um Auswertbarkeit zu Gewährleisten.

Anlage 3

Beschreibung der Anlage

Bitte pro Anlage jeweils einen Fragebogen ausfüllen!

Systembezeichnung:

- | | |
|---|------------------------------------|
| <input checked="" type="radio"/> Sprenganlage | <input type="radio"/> Gaszündung |
| <input checked="" type="radio"/> Stationär | <input type="radio"/> Luftgestützt |

System - Hersteller:

Laxroix

Größe / Aufbau:

Anzahl Komandozentralen: 1.....

Anzahl Masten / Zündrohre: 1 Avalancheur.....

Anzahl Gaszentralen:

Durchschnittliche Anzahl Zündrohre pro Gaszentrale:

Anzahl Auslösepunkte: 32.....

Anzahl / Größe Sprengmagazine: 1.....

Seilbahn Spannlänge: 250.....

Spannmasten pro Seilbahn: 1.....

Wirkungsradius pro Spreng- / Zündpunkt: 50.-60.m.....

Anlage 3

Gesicherter Bereich:

Anzahl gesicherter Anbruchflächen: 17.....

Fläche gesicherter Anbruchflächen [m²]: 2500.....

Gesichertes Anbruchsvolumen [m³]:

Maximale Schneemächtigkeit [m]: 1.....

Detektionssystem:

- Vorhanden Nicht vorhanden
- Radar Ultrasound Geophon Visuell
- Wärmebild Andere:
- Am Auslösesystem Am Gegenhang

Ein Beobachter

Baujahr:

2000

Nutzungsdauer: (in Jahren)

Geplante Nutzungsdauer: 30.....

Erreichte Nutzungsdauer: 17.....

Anlage 3

Sprengmittellager / Gaslager:

- Vorhanden Nicht Vorhanden
 Einzelnutzung Gemeinsame Nutzung
 Neuanschaffung Bereits Vorhanden Erweiterung

Kapazität [kg]: 600.....

Stromversorgung:

- Autark Solar
 Stromanschluss

Auslösefrequenz:

Durchschn. Anzahl der erfolgten Sprengungen / Zündungen pro Jahr: 60.....

Durchschn. Anzahl der erfolgreichen Lawinen-Auslösungen pro Jahr: 45.....

Benötigtes Personal:

2

Anlage 3

Zu sicherndes Gebiet

Durchschnittliche Seehöhe [m]:

2300 - 2600

S - NO

Durchschnittliche Exposition:

NW

Durchschnittliche Neigung [°]:

36

Durchschnittliche Schneehöhe [m]:

2,5

Bewaldet

Über Waldgrenze

Sonstiges:

Anlage 3

Kosten der Anlage

Die Kosten bitte nach den einzelnen angeführten Positionen angeben oder nichtzutreffende streichen.

Die getätigten Zahlungen in einmalige Ausgaben (Fixe Kosten) und (wenn vorhanden) laufende Kosten pro Jahr unterteilen.

Das Feld darunter dient für Notizen, Erklärungen und Aufschlüsselung komplizierterer Posten.

Bitte geben Sie an in welcher Währung gerechnet wird: EUR

SFR

USD

Die Kostenbasis ist Brutto

Netto

1. Kosten Anlage

1.1) Anlage:

Σ Fixe K. (80500..... €) Σ Laufende K./Jahr (0..... €)

Anschaffungskosten Ab Werk

Fixe K. (80000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Lieferungskosten Ab Werk

Fixe K. (500..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Installationskosten Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 3

1.5) Spezialequipment: (Spezielles Werkzeug oder Hilfsmittel für den Betrieb der Anlage, z.B. Heli-Klinke, Motorschlitten, ect.)

Fixe K. (.15000..... €) Laufende K./Jahr (.1000..... €)

1.6) Sprengmittellager / Gaslager: (Errichtung, Miete, Instandhaltung, ect.)

Fixe K. (.10000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.7) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2. Installation Anlage

Kosten die sich auf die Lieferung, Errichtung und Montage der Auslöseeinheiten beziehen (Masten, Zündrohre, Gaszentralen, ...)

2.1) Baustelleneinrichtung: (Kosten für Baustelleneinrichtung, Arbeit, ect.)

Fixe K. (.600..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 3

2.2) Erdbau / Fundierung:

Arbeitsstunden: 2.....

Fixe K. (.500..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.3) Installation Anlage:

Arbeitsstunden: 8.....

Fixe K. (.700..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.4) Installation Detektionssystem:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.5) Transport Boden:

Fixe K. (.500..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 3

2.6) Transport Luft:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.7) Kleinmaterial:

Fixe K. (.200..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.8) Erstmalige Inbetriebnahme:

Fixe K. (.2500..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.9) Erstmalige Einschulung Betriebspersonal:

Fixe K. (.1000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 3

2.10) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3. Laufender Betrieb

3.1) Munition / Gas:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.12250..... €)

3.2) Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 49.....

Fixe K. (.3200..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3.3) Auslösung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 30.....

Fixe K. (.2700..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 3

3.4) Sperre während Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 30.....

Fixe K. (2700..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3.5) Blindgängerbeseitigung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 3.....

Fixe K. (240..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3.6) Sprengung:

Mittlerer Zeitaufwand pro Sprengung in Stunden: 1.....

Fixe K. (160..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3.7) Situationsbewertung vor Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 59.....

Fixe K. (4000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 3

3.8) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4. Unterhalt

4.1) Betriebspersonal:

Arbeitsstunden Personal pro Jahr: 5.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (400..... €)

4.2) Versicherung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Im gesamten Skigebiet integriert!

4.3) Wartung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 3.....

Fixe K. (270..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 3

4.4) Ersatzteile:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.500..... €)

Alle 3 Jahre!

4.5) Wöchentlicher Check:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

5. Behördliche Auflagen

5.1) TÜF-Überprüfung:

Fixe K. (.800..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

alle 3 Jahre!

6. Geschätzte Ausscheidungskosten

Fixe K. (.3500..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 3

7. Sonstige Kosten

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Summe Kosten

Die Summierung dient der schnellen Überprüfung über die totalen Kosten.

POSTEN	FIXE K. [€]	LAUF. K. [€]
1.KOSTEN ANLAGE	107000	1000
2.INSTALLATION ANLAGE	6000	0
3.LAUFENDER BETRIEB	13000	12250
4.UNTERHALT	270	900
5.BEHÖRDLICHE AUFLAGEN	800	0
6.GESCHÄTZTE AUSSCHIEDUNGSK.	3500	0
7.SONSTIGE KOSTEN	0	0
SUMME Σ	130570	14150

Anlage 4

Umfrage zur Kostenerfassung von temporärer
Lawinenauslösung für die Masterarbeit

*„Life Cycle Costs von temporären
Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“*

an der Universität für Bodenkultur Wien



Thomas SCHALLER, BSc

walschalla@gmail.com

0699 81884912

Anlage 4

Dieses Interview dient der Erfassung von Daten und Kosten verschiedener Lawinensprenganlagen, die der temporären Sicherung vor Lawinen dienen.

In Bezug auf künstliche Lawinenauslösung besteht mittlerweile österreichweit eine über 10-jährige Erfahrung bei über 120 Auslösegebieten.

Daher erscheint eine erste unabhängige Gesamtkostenauswertung über die typische Lebensdauer der Anlagen als möglich und sinnvoll.

Ziel ist die Durchführung einer Life Cycle Cost Analyse im Zuge der Masterarbeit
„Life Cycle Costs von temporären Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“,
bearbeitet von Thomas Schaller.

Dazu sollen mit Hilfe dieses Fragebogens die gesamten Kosten, die über die Lebensdauer von verschiedenen Sprenganlagen anfallen erfasst, und die Anlagen unter dem Kostenaspekt miteinander verglichen werden.

Es wird dazu versucht werden, nach Anonymisierung der Daten, die Kosten nach Anlagentyp und Auslösegebiet gruppiert auszuwerten.

Diese Datenbasis soll für weitere Fachdiskussionen zur Verfügung stehen.

Die hiermit erfassten Daten dienen einzig zur Erstellung der oben genannten Arbeit zum Erlangen eines akademischen Grades an der Universität für Bodenkultur.

Sämtliche Daten werden anonym behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.
Die Angaben zur interviewten Person, Firma, ect., dienen nur dem Autor für eventuelle Rückfragen.

Anlage 4

Inhaltsverzeichnis

Angaben zum Interviewpartner	5
• Datum u. Ort des Interviews	5
• Interviewpartner	5
• Titel	5
• Organisation	5
• Funktion	5
• Kontaktdaten für weitere Fragen	5
Beschreibung der Anlage	6
• Systembezeichnung	6
• System-Hersteller	6
• Größe / Aufbau	6
• Gesicherter Bereich	7
• Detektionssystem	7
• Baujahr	7
• Nutzungsdauer	7
• Sprengmittellager / Gaslager	8
• Stromversorgung	8
• Auslösefrequenz	8
• Betriebspersonal	8
Gebiet	9
• Seehöhe	9
• Exposition	9
• Neigung	9
• Schneehöhe	9
• Bewaldung	9
• Sonstiges	9
Kosten der Anlage	10
1. Kosten Anlage	10
1.1 Anlage	10
1.2 Kontrollraum	11
1.3 PC und Software	11
1.4 Detektionssystem	11
1.5 Spezialequipment	12
1.6 Sprengmittellager / Gaslager	12
1.7 Sonstiges	12
2. Installation Anlage	12
2.1 Baustelleneinrichtung	12
2.2 Erdbau / Fundierung	13
2.3 Installation Anlage	13
2.4 Installation Detektionssystem	13
2.5 Transport Boden	13

Anlage 4

2.6	Transport Luft	14
2.7	Kleinmaterial	14
2.8	Erstmalige Inbetriebnahme	14
2.9	Erstmalige Einschulung Betriebspersonal	14
2.10	Sonstiges	15
3.	Laufender Betrieb	15
3.1	Munition / Gas	15
3.2	Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung	15
3.3	Auslösung	15
3.4	Sperre während Sprengung	16
3.5	Blindgängerbeseitigung	16
3.6	Sprengung	16
3.7	Situationsbewertung vor Sprengung	16
3.8	Sonstiges	17
4.	Unterhalt	17
4.1	Betriebspersonal	17
4.2	Versicherung	17
4.3	Wartung	17
4.4	Ersatzteile	18
4.5	Wöchentlicher Check	18
5.	Behördliche Auflagen	18
5.1	TÜF-Prüfung	18
6.	Geschätzte Ausscheidungskosten	18
7.	Sonstige Kosten	19
	Summe der Kosten	19

Anlage 4

Angaben zum Interview Partner

Ort* [redacted] Datum [redacted]

Interviewpartner [redacted]

Titel [redacted]

Organisation [redacted]

Funktion* [redacted]

Email [redacted]

Tel. Nr.* [redacted]

*Bitte unbedingt ausfüllen um Auswertbarkeit zu Gewährleisten.

Anlage 4

Beschreibung der Anlage

Bitte pro Anlage jeweils einen Fragebogen ausfüllen!

Systembezeichnung:

- | | |
|---|------------------------------------|
| <input checked="" type="radio"/> Sprenganlage | <input type="radio"/> Gaszündung |
| <input type="radio"/> Stationär | <input type="radio"/> Luftgestützt |

System - Hersteller:

Fa. Wyssen avalanche control

Größe / Aufbau:

Anzahl Komandozentralen: 2.....

Anzahl Masten / Zündrohre: 12.....

Anzahl Gaszentralen:

Durchschnittliche Anzahl Zündrohre pro Gaszentrale:

Anzahl Auslösepunkte: 12.....

Anzahl / Größe Sprengmagazine: 12 Ladungen pro Anlage.....

Seilbahn Spannlänge:

Spannmasten pro Seilbahn:

Wirkungsradius pro Spreng- / Zündpunkt: ca. 150m Radius.....

Anlage 4

Gesicherter Bereich:

Anzahl gesicherter Anbruchflächen: 12.....

Fläche gesicherter Anbruchflächen [m²]:

Gesichertes Anbruchsvolumen [m³]:

Maximale Schneemächtigkeit [m]: 1-2m.....

Detektionssystem:

- Vorhanden Nicht vorhanden
- Radar Ultrasound Geophon Visuell
- Wärmebild Andere: .Pilotprojekt.....
- Am Auslösesystem Am Gegenhang

Verschiedene, UHU (system SLF) Arfang, Geophone, Radar Wyssen

Baujahr:

2009 - 2012

Nutzungsdauer: (in Jahren)

Geplante Nutzungsdauer: 20 Jahre.....

Erreichte Nutzungsdauer: Die ersten 8 (Arfang/UHU).....

Anlage 4

Sprengmittellager / Gaslager:

- Vorhanden Nicht Vorhanden
 Einzelnutzung Gemeinsame Nutzung
 Neuanschaffung Bereits Vorhanden Erweiterung

Kapazität [kg]: 1500 Kg (3 Magazine).....

Stromversorgung:

- Autark Solar
 Stromanschluss

Auslösefrequenz:

Durchschn. Anzahl der erfolgten Sprengungen / Zündungen pro Jahr: 7 - 16.....

Durchschn. Anzahl der erfolgreichen Lawinen-Auslösungen pro Jahr: über 90%.....

Benötigtes Personal:

2 Mitglieder Lawinendienst + 2 MA Absperrposten

Anlage 4

Zu sicherndes Gebiet

Durchschnittliche Seehöhe [m]:

2000 - 2950 müM

Durchschnittliche Exposition:

S, SE, N

Durchschnittliche Neigung [°]:

32° - 45°

Durchschnittliche Schneehöhe [m]:

0.5m - 2.0m ohne Windeinfluss

Bewaldet

Über Waldgrenze

Sonstiges:

Anlage 4

1.2) Kontrollraum: (Kosten für Räumlichkeiten, die die Steuerung der Anlage enthalten.

Baukosten, Miete; ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.3) PC und Software: (Anschaffungskosten, Installationskosten, Wartung, ect.)

Fixe K. (.10000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.4) Detektionssystem:

Σ Fixe K. (.400000..... €) Σ Laufende K./Jahr (.0..... €)

Anschaffungskosten

Ab Werk

Fixe K. (.400000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Lieferungskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Installationskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 4

1.5) Spezialequipment: (Spezielles Werkzeug oder Hilfsmittel für den Betrieb der Anlage, z.B. Heli-Klinke, Motorschlitten, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.6) Sprengmittellager / Gaslager: (Errichtung, Miete, Instandhaltung, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.7) Sonstiges:

Fixe K. (5000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2. Installation Anlage

Kosten die sich auf die Lieferung, Errichtung und Montage der Auslöseeinheiten beziehen (Masten, Zündrohre, Gaszentralen, ...)

2.1) Baustelleneinrichtung: (Kosten für Baustelleneinrichtung, Arbeit, ect.)

Fixe K. (5000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 4

2.2) Erdbau / Fundierung:

Arbeitsstunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.3) Installation Anlage:

Arbeitsstunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.4) Installation Detektionssystem:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.5) Transport Boden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 4

2.6) Transport Luft:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.7) Kleinmaterial:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.8) Erstmalige Inbetriebnahme:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.9) Erstmalige Einschulung Betriebspersonal:

Fixe K. (2000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 4

2.10) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3. Laufender Betrieb

3.1) Munition / Gas:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.10000..... €)

3.2) Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: ~~Ca. 80h~~.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.14400..... €)

80CHF x 80 h =6400

+

8000CHF = In den 8000 SFR. Sind alle Flugkosten enthalten, wie Montage/Demontage der Sprengkübel, Wartungsarbeiten/Überwachung der Fundamente und einsammeln von Munitionsrückstände

3.3) Auslösung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.2800..... €)

Pro Auslösung rechnen wir mit je einem Zeitaufwand von 3.5h
(3.3hx80CHFx10Auslösungen=2800)

Anlage 4

3.4) Sperre während Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Pro Sprengeneinsatz wird die Strasse zwischen 30 und 45 Minuten gesperrt

3.5) Blindgängerbeseitigung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3.6) Sprengung:

Mittlerer Zeitaufwand pro Sprengung in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Auslösung und Sprengung ist identisch

3.7) Situationsbewertung vor Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (2000..... €)

Kosten Lawinenberater

Anlage 4

3.8) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4. Unterhalt

4.1) Betriebspersonal:

Arbeitsstunden Personal pro Jahr: 35.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (2800..... €)

4.2) Versicherung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4.3) Wartung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 30.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (7500..... €)

Wird durch Fa. Wyssen durchgeführt (Wartungsvertrag)

Anlage 4

4.4) Ersatzteile:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4.5) Wöchentlicher Check:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 2.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (3200..... €)

Ca. 2 Std./Woche für Check 20 Wochen gibt 40h

5. Behördliche Auflagen

5.1) TÜF-Überprüfung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

6. Geschätzte Ausscheidungskosten

Fixe K. (36000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3000 SFR pro Anlage

Anlage 4

7. Sonstige Kosten

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Summe Kosten

Die Summierung dient der schnellen Überprüfung über die totalen Kosten.

POSTEN	FIXE K. [€]	LAUF. K. [€]
1.KOSTEN ANLAGE	1915000	0
2.INSTALLATION ANLAGE	7000	0
3.LAUFENDER BETRIEB	0	29200
4.UNTERHALT	0	13500
5.BEHÖRDLICHE AUFLAGEN	0	0
6.GESCHÄTZTE AUSSCHIEDUNGSK.	36000	0
7.SONSTIGE KOSTEN	0	0
SUMME Σ	1958000	42700

Anlage 5

Umfrage zur Kostenerfassung von temporärer
Lawinenauslösung für die Masterarbeit

*„Life Cycle Costs von temporären
Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“*

an der Universität für Bodenkultur Wien



Thomas SCHALLER, BSc

walschalla@gmail.com

0699 81884912

Anlage 5

Dieses Interview dient der Erfassung von Daten und Kosten verschiedener Lawinensprenganlagen, die der temporären Sicherung vor Lawinen dienen.

In Bezug auf künstliche Lawinenauslösung besteht mittlerweile österreichweit eine über 10-jährige Erfahrung bei über 120 Auslösegebieten.

Daher erscheint eine erste unabhängige Gesamtkostenauswertung über die typische Lebensdauer der Anlagen als möglich und sinnvoll.

Ziel ist die Durchführung einer Life Cycle Cost Analyse im Zuge der Masterarbeit
„Life Cycle Costs von temporären Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“,
bearbeitet von Thomas Schaller.

Dazu sollen mit Hilfe dieses Fragebogens die gesamten Kosten, die über die Lebensdauer von verschiedenen Sprenganlagen anfallen erfasst, und die Anlagen unter dem Kostenaspekt miteinander verglichen werden.

Es wird dazu versucht werden, nach Anonymisierung der Daten, die Kosten nach Anlagentyp und Auslösegebiet gruppiert auszuwerten.

Diese Datenbasis soll für weitere Fachdiskussionen zur Verfügung stehen.

Die hiermit erfassten Daten dienen einzig zur Erstellung der oben genannten Arbeit zum Erlangen eines akademischen Grades an der Universität für Bodenkultur.

Sämtliche Daten werden anonym behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.
Die Angaben zur interviewten Person, Firma, ect., dienen nur dem Autor für eventuelle Rückfragen.

Anlage 5

Inhaltsverzeichnis

Angaben zum Interviewpartner	5
• Datum u. Ort des Interviews	5
• Interviewpartner	5
• Titel	5
• Organisation	5
• Funktion	5
• Kontaktdaten für weitere Fragen	5
Beschreibung der Anlage	6
• Systembezeichnung	6
• System-Hersteller	6
• Größe / Aufbau	6
• Gesicherter Bereich	7
• Detektionssystem	7
• Baujahr	7
• Nutzungsdauer	7
• Sprengmittellager / Gaslager	8
• Stromversorgung	8
• Auslösefrequenz	8
• Betriebspersonal	8
Gebiet	9
• Seehöhe	9
• Exposition	9
• Neigung	9
• Schneehöhe	9
• Bewaldung	9
• Sonstiges	9
Kosten der Anlage	10
1. Kosten Anlage	10
1.1 Anlage	10
1.2 Kontrollraum	11
1.3 PC und Software	11
1.4 Detektionssystem	11
1.5 Spezialequipment	12
1.6 Sprengmittellager / Gaslager	12
1.7 Sonstiges	12
2. Installation Anlage	12
2.1 Baustelleneinrichtung	12
2.2 Erdbau / Fundierung	13
2.3 Installation Anlage	13
2.4 Installation Detektionssystem	13
2.5 Transport Boden	13

Anlage 5

2.6	Transport Luft	14
2.7	Kleinmaterial	14
2.8	Erstmalige Inbetriebnahme	14
2.9	Erstmalige Einschulung Betriebspersonal	14
2.10	Sonstiges	15
3.	Laufender Betrieb	15
3.1	Munition / Gas	15
3.2	Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung	15
3.3	Auslösung	15
3.4	Sperre während Sprengung	16
3.5	Blindgängerbeseitigung	16
3.6	Sprengung	16
3.7	Situationsbewertung vor Sprengung	16
3.8	Sonstiges	17
4.	Unterhalt	17
4.1	Betriebspersonal	17
4.2	Versicherung	17
4.3	Wartung	17
4.4	Ersatzteile	18
4.5	Wöchentlicher Check	18
5.	Behördliche Auflagen	18
5.1	TÜF-Prüfung	18
6.	Geschätzte Ausscheidungskosten	18
7.	Sonstige Kosten	19
	Summe der Kosten	19

Anlage 5

Angaben zum Interview Partner

Ort* [redacted]..... Datum [redacted].....

Interviewpartner [redacted].....

Titel

Organisation [redacted].....

Funktion* [redacted].....

Email [redacted].....

Tel. Nr.* [redacted].....

*Bitte unbedingt ausfüllen um Auswertbarkeit zu Gewährleisten.

Anlage 5

Beschreibung der Anlage

Bitte pro Anlage jeweils einen Fragebogen ausfüllen!

Systembezeichnung:

Sprenganlage

Gaszündung

Stationär

Luftgestützt

LW 2700

System - Hersteller:

Innauen - Schätti

Größe / Aufbau:

Anzahl Komandozentralen: 1.....

Anzahl Masten / Zündrohre: 11 / 110.....

Anzahl Gaszentralen:

Durchschnittliche Anzahl Zündrohre pro Gaszentrale: 10.....

Anzahl Auslösepunkte: 17.....

Anzahl / Größe Sprengmagazine:

Seilbahn Spannlänge:

Spannmasten pro Seilbahn:

Wirkungsradius pro Spreng- / Zündpunkt: 30.m.....

Anlage 5

Gesicherter Bereich:

Anzahl gesicherter Anbruchflächen: 17

Fläche gesicherter Anbruchflächen [m²]:

Gesichertes Anbruchsvolumen [m³]:

Maximale Schneemächtigkeit [m]: 1 -3 m

Detektionssystem:

- Vorhanden Nicht vorhanden
- Radar Ultrasound Geophon Visuell
- Wärmebild Andere:
- Am Auslösesystem Am Gegenhang

Baujahr:

2005

Nutzungsdauer: (in Jahren)

Geplante Nutzungsdauer: 20

Erreichte Nutzungsdauer: 12

Anlage 5

Sprengmittellager / Gaslager:

- Vorhanden Nicht Vorhanden
 Einzelnutzung Gemeinsame Nutzung
 Neuanschaffung Bereits Vorhanden Erweiterung

Kapazität [kg]: 5000.....

Stromversorgung:

- Autark Solar
 Stromanschluss

Bunker mit Stromanschluss

Auslösefrequenz:

Durchschn. Anzahl der erfolgten Sprengungen / Zündungen pro Jahr: 40.....

Durchschn. Anzahl der erfolgreichen Lawinen-Auslösungen pro Jahr: 10.....

Benötigtes Personal:

1 Person

Anlage 5

Zu sicherndes Gebiet

Durchschnittliche Seehöhe [m]:

2000

Durchschnittliche Exposition:

alle

Durchschnittliche Neigung [°]:

45

Durchschnittliche Schneehöhe [m]:

80 - 150 cm

Bewaldet

Über Waldgrenze

Sonstiges:

Anlage 5

1.2) Kontrollraum: (Kosten für Räumlichkeiten, die die Steuerung der Anlage enthalten.

Baukosten, Miete; ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Büro Bauhof

1.3) PC und Software: (Anschaffungskosten, Installationskosten, Wartung, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Land Vorarlberg

1.4) Detektionssystem:

Σ Fixe K. (..... €) Σ Laufende K./Jahr (..... €)

Anschaffungskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Lieferungskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Installationskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 5

1.5) Spezialequipment: (Spezielles Werkzeug oder Hilfsmittel für den Betrieb der Anlage, z.B. Heli-Klinke, Motorschlitten, ect.)

Fixe K. (.50..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.6) Sprengmittellager / Gaslager: (Errichtung, Miete, Instandhaltung, ect.)

Fixe K. (.1000000..... €) Laufende K./Jahr (.1500..... €)

1.7) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2. Installation Anlage

Kosten die sich auf die Lieferung, Errichtung und Montage der Auslöseeinheiten beziehen (Masten, Zündrohre, Gaszentralen, ...)

2.1) Baustelleneinrichtung: (Kosten für Baustelleneinrichtung, Arbeit, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Land Vorarlberg

Anlage 5

2.2) Erdbau / Fundierung:

Arbeitsstunden: 330.....

Fixe K. (.9900..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.3) Installation Anlage:

Arbeitsstunden: 44.....

Fixe K. (.1320..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.4) Installation Detektionssystem:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.5) Transport Boden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Land Vorarlberg

Anlage 5

2.6) Transport Luft:

Fixe K. (20000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Beton + Masten

2.7) Kleinmaterial:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.8) Erstmalige Inbetriebnahme:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.9) Erstmalige Einschulung Betriebspersonal:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 5

2.10) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3. Laufender Betrieb

3.1) Munition / Gas:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.1000..... €)

ca. 40 Schuss a 25 Euro

3.2) Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 40.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.3200..... €)

Ladungsbau 1 Stunde pro Schuss a 30 Euro = 30Euro * 40h = 1200

Munitionierung = Flugkosten = 2000 Euro

3.3) Auslösung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 12.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.360..... €)

12 Stunden a 30 Euro

Anlage 5

3.4) Sperre während Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 3.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3.5) Blindgängerbeseitigung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 8.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (240..... €)

a 30 Euro

3.6) Sprengung:

Mittlerer Zeitaufwand pro Sprengung in Stunden: 10.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (300..... €)

0,15 h pro Schuss a 30 Euro

3.7) Situationsbewertung vor Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 3.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (90..... €)

3 Stunden a 30 Euro

Anlage 5

3.8) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4. Unterhalt

4.1) Betriebspersonal:

Arbeitsstunden Personal pro Jahr: 60.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.1800..... €)

a 30 Euro

4.2) Versicherung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Personen Haftpflicht + Unfall

4.3) Wartung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 16.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.480..... €)

a 30 Euro

Anlage 5

4.4) Ersatzteile:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.2000..... €)

4.5) Wöchentlicher Check:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

5. Behördliche Auflagen

5.1) TÜF-Überprüfung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

6. Geschätzte Ausscheidungskosten

Fixe K. (.10142..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Das würde pro Lawinenwächter beinhalten:

- Hubschrauberflüge mit Bell 205 A1 T53-17B: 20 Minuten à €35 (Transport Abbauteam, Material und Wächter)
- 1 Stunde Abbau durch 2 Pax à €37
- Wenn man die Betonsockel noch zusammenschremmen will und anschließend wieder zuschüttet nochmals 2 Stunden/2 Pax à €37

Anlage 5

7. Sonstige Kosten

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.500..... €)

Funkgebühr

Summe Kosten

Die Summierung dient der schnellen Überprüfung über die totalen Kosten.

POSTEN	FIXE K. [€]	LAUF. K. [€]
1.KOSTEN ANLAGE	1770050	1500
2.INSTALLATION ANLAGE	31220	0
3.LAUFENDER BETRIEB	0	5190
4.UNTERHALT	0	4280
5.BEHÖRDLICHE AUFLAGEN	0	0
6.GESCHÄTZTE AUSSCHIEDUNGSK.	10142	0
7.SONSTIGE KOSTEN	0	500
SUMME Σ	1811412	11470

Anlage 6

Umfrage zur Kostenerfassung von temporärer
Lawinenauslösung für die Masterarbeit

*„Life Cycle Costs von temporären
Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“*

an der Universität für Bodenkultur Wien



Thomas SCHALLER, BSc

walschalla@gmail.com

0699 81884912

Anlage 6

Dieses Interview dient der Erfassung von Daten und Kosten verschiedener Lawinensprenganlagen, die der temporären Sicherung vor Lawinen dienen.

In Bezug auf künstliche Lawinenauslösung besteht mittlerweile österreichweit eine über 10-jährige Erfahrung bei über 120 Auslösegebieten.

Daher erscheint eine erste unabhängige Gesamtkostenauswertung über die typische Lebensdauer der Anlagen als möglich und sinnvoll.

Ziel ist die Durchführung einer Life Cycle Cost Analyse im Zuge der Masterarbeit
„Life Cycle Costs von temporären Lawinenschutzanlagen zur Streckensicherung der ÖBB“,
bearbeitet von Thomas Schaller.

Dazu sollen mit Hilfe dieses Fragebogens die gesamten Kosten, die über die Lebensdauer von verschiedenen Sprenganlagen anfallen erfasst, und die Anlagen unter dem Kostenaspekt miteinander verglichen werden.

Es wird dazu versucht werden, nach Anonymisierung der Daten, die Kosten nach Anlagentyp und Auslösegebiet gruppiert auszuwerten.

Diese Datenbasis soll für weitere Fachdiskussionen zur Verfügung stehen.

Die hiermit erfassten Daten dienen einzig zur Erstellung der oben genannten Arbeit zum Erlangen eines akademischen Grades an der Universität für Bodenkultur.

Sämtliche Daten werden anonym behandelt und nicht an Dritte weitergegeben.
Die Angaben zur interviewten Person, Firma, ect., dienen nur dem Autor für eventuelle Rückfragen.

Anlage 6

Inhaltsverzeichnis

Angaben zum Interviewpartner	5
• Datum u. Ort des Interviews	5
• Interviewpartner	5
• Titel	5
• Organisation	5
• Funktion	5
• Kontaktdaten für weitere Fragen	5
Beschreibung der Anlage	6
• Systembezeichnung	6
• System-Hersteller	6
• Größe / Aufbau	6
• Gesicherter Bereich	7
• Detektionssystem	7
• Baujahr	7
• Nutzungsdauer	7
• Sprengmittellager / Gaslager	8
• Stromversorgung	8
• Auslösefrequenz	8
• Betriebspersonal	8
Gebiet	9
• Seehöhe	9
• Exposition	9
• Neigung	9
• Schneehöhe	9
• Bewaldung	9
• Sonstiges	9
Kosten der Anlage	10
1. Kosten Anlage	10
1.1 Anlage	10
1.2 Kontrollraum	11
1.3 PC und Software	11
1.4 Detektionssystem	11
1.5 Spezialequipment	12
1.6 Sprengmittellager / Gaslager	12
1.7 Sonstiges	12
2. Installation Anlage	12
2.1 Baustelleneinrichtung	12
2.2 Erdbau / Fundierung	13
2.3 Installation Anlage	13
2.4 Installation Detektionssystem	13
2.5 Transport Boden	13

Anlage 6

2.6	Transport Luft	14
2.7	Kleinmaterial	14
2.8	Erstmalige Inbetriebnahme	14
2.9	Erstmalige Einschulung Betriebspersonal	14
2.10	Sonstiges	15
3.	Laufender Betrieb	15
3.1	Munition / Gas	15
3.2	Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung	15
3.3	Auslösung	15
3.4	Sperre während Sprengung	16
3.5	Blindgängerbeseitigung	16
3.6	Sprengung	16
3.7	Situationsbewertung vor Sprengung	16
3.8	Sonstiges	17
4.	Unterhalt	17
4.1	Betriebspersonal	17
4.2	Versicherung	17
4.3	Wartung	17
4.4	Ersatzteile	18
4.5	Wöchentlicher Check	18
5.	Behördliche Auflagen	18
5.1	TÜF-Prüfung	18
6.	Geschätzte Ausscheidungskosten	18
7.	Sonstige Kosten	19
	Summe der Kosten	19

Anlage 6

Angaben zum Interview Partner

Ort* [redacted] Datum [redacted]

Interviewpartner [redacted]

Titel

Organisation [redacted]

Funktion* [redacted]

Email [redacted]

Tel. Nr.* [redacted]

*Bitte unbedingt ausfüllen um Auswertbarkeit zu Gewährleisten.

Anlage 6

Beschreibung der Anlage

Bitte pro Anlage jeweils einen Fragebogen ausfüllen!

Systembezeichnung:

- | | |
|--|------------------------------------|
| <input type="radio"/> Sprenganlage | <input type="radio"/> Gaszündung |
| <input checked="" type="radio"/> Stationär | <input type="radio"/> Luftgestützt |

System - Hersteller:

GAZEX Anlage

Größe / Aufbau:

Anzahl Komandozentralen: 1.....

Anzahl Masten / Zündrohre: 2 Zündrohre.....

Anzahl Gaszentralen: 1.....

Durchschnittliche Anzahl Zündrohre pro Gaszentrale: 2.....

Anzahl Auslösepunkte: 2.....

Anzahl / Größe Sprengmagazine:

Seilbahn Spannlänge:

Spannmasten pro Seilbahn:

Wirkungsradius pro Spreng- / Zündpunkt: ca. 30 Meter.....

Anlage 6

Gesicherter Bereich:

Anzahl gesicherter Anbruchflächen: 2.....

Fläche gesicherter Anbruchflächen [m²]:

Gesichertes Anbruchsvolumen [m³]:

Maximale Schneemächtigkeit [m]:

Detektionssystem:

- Vorhanden Nicht vorhanden
- Radar Ultrasound Geophon Visuell
- Wärmebild Andere:
- Am Auslösesystem Am Gegenhang

Baujahr:

Nutzungsdauer: (in Jahren)

Geplante Nutzungsdauer: 20.....

Erreichte Nutzungsdauer: seit 2011 im Einsatz.....

Anlage 6

Sprengmittellager / Gaslager:

- Vorhanden Nicht Vorhanden
 Einzelnutzung Gemeinsame Nutzung
 Neuanschaffung Bereits Vorhanden Erweiterung

Kapazität [kg]:

bei Bedarf werden Gas bzw. Sauerstoff bei örtlichen Lieferanten gekauft

Stromversorgung:

- Autark Solar
 Stromanschluss

Auslösefrequenz:

Durchschn. Anzahl der erfolgten Sprengungen / Zündungen pro Jahr: 10.....

Durchschn. Anzahl der erfolgreichen Lawinen-Auslösungen pro Jahr: 2.....

Benötigtes Personal:

Absperrposten 2 Personen
Bediener der Anlage 1 Person

Anlage 6

Zu sicherndes Gebiet

Durchschnittliche Seehöhe [m]:

1.800 m

Durchschnittliche Exposition:

Ost

Durchschnittliche Neigung [°]:

30 Grad

Durchschnittliche Schneehöhe [m]:

1,20

Bewaldet

Über Waldgrenze

Sonstiges:

Anlage 6

1.2) Kontrollraum: (Kosten für Räumlichkeiten, die die Steuerung der Anlage enthalten.

Baukosten, Miete; ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.3) PC und Software: (Anschaffungskosten, Installationskosten, Wartung, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (300..... €)

1.4) Detektionssystem:

Σ Fixe K. (0..... €) Σ Laufende K./Jahr (0..... €)

Anschaffungskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Lieferungskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Installationskosten

Ab Werk

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 6

1.5) Spezialequipment: (Spezielles Werkzeug oder Hilfsmittel für den Betrieb der Anlage, z.B. Heli-Klinke, Motorschlitten, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.6) Sprengmittellager / Gaslager: (Errichtung, Miete, Instandhaltung, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1.7) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2. Installation Anlage

Kosten die sich auf die Lieferung, Errichtung und Montage der Auslöseeinheiten beziehen (Masten, Zündrohre, Gaszentralen, ...)

2.1) Baustelleneinrichtung: (Kosten für Baustelleneinrichtung, Arbeit, ect.)

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 6

2.2) Erdbau / Fundierung:

Arbeitsstunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.3) Installation Anlage:

Arbeitsstunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.4) Installation Detektionssystem:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.5) Transport Boden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 6

2.6) Transport Luft:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.7) Kleinmaterial:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.8) Erstmalige Inbetriebnahme:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

2.9) Erstmalige Einschulung Betriebspersonal:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 6

2.10) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

3. Laufender Betrieb

3.1) Munition / Gas:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.500..... €)

Sauerstoff, Gas

3.2) Ladungsbau / Munitionierung / Gas-Befüllung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: .16.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (.700..... €)

Aktivierung im Herbst 10 Std.

Abschaltung im Frühjahr 6 Std.

3.3) Auslösung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: .10.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

1 Std. pro Auslöser mit 3 Personen a 20 Minuten

erfolgen auf freiwilliger Basis – fallen keine Kosten an

Anlage 6

3.4) Sperre während Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 6.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

erfolgen auf freiwilliger Basis – fallen keine Kosten an

3.5) Blindgängerbeseitigung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

erfolgen auf freiwilliger Basis – fallen keine Kosten an

3.6) Sprengung:

Mittlerer Zeitaufwand pro Sprengung in Stunden: 0,5.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

erfolgen auf freiwilliger Basis – fallen keine Kosten an

3.7) Situationsbewertung vor Sprengung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

laufende Situationsbeurteilung

erfolgen auf freiwilliger Basis – fallen keine Kosten an

Anlage 6

3.8) Sonstiges:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4. Unterhalt

4.1) Betriebspersonal:

Arbeitsstunden Personal pro Jahr:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4.2) Versicherung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4.3) Wartung:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 16.....

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 6

4.4) Ersatzteile:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

4.5) Wöchentlicher Check:

Zeitaufwand pro Jahr in Stunden: 1 Std/Woche

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Funktionscheck Basisstation, Drucküberprüfung

5. Behördliche Auflagen

5.1) TÜF-Überprüfung:

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

6. Geschätzte Ausscheidungskosten

Fixe K. (.15000..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Anlage 6

7. Sonstige Kosten

Fixe K. (..... €) Laufende K./Jahr (..... €)

Abschreibungskosten der Lawinensprenganlage 5%/Jahr (20 Jahre): 10000 jährlich

Summe Kosten

Die Summierung dient der schnellen Überprüfung über die totalen Kosten.

POSTEN	FIXE K. [€]	LAUF. K. [€]
1.KOSTEN ANLAGE	199480	300
2.INSTALLATION ANLAGE	0	0
3.LAUFENDER BETRIEB	0	1200
4.UNTERHALT	0	0
5.BEHÖRDLICHE AUFLAGEN	0	0
6.GESCHÄTZTE AUSSCHIEDUNGSK.	15000	0
7.SONSTIGE KOSTEN	0	0
SUMME Σ	214480	1500