



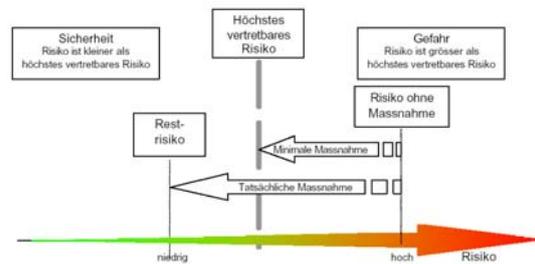
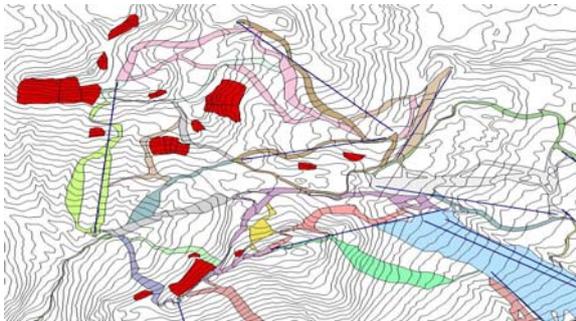
Universität für Bodenkultur Wien
Institut für Alpine Naturgefahren
und Forstliches Ingenieurwesen



Peter Jordan Str. 82
A-1190 WIEN

Tel.: #43-1-47654-4350
Fax: #43-1-47654-4390

WLS REPORT 84



Im Auftrag:

**Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt
und Wasserwirtschaft**

Wien, Mai 2003

ENDBERICHT

Optimierung der Lawinensicherung in Schigebieten – Fallbeispiele in Lech und St.Anton/Rendl

Im Auftrag von: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und
Wasserwirtschaft

Projektleitung:	Dipl. Ing. Wieshofer Sigrid
Projektverantwortlicher:	Dipl. Ing. Scheidl Christian
Mitarbeiter:	Dipl. Ing. Kurz Daniel

Universität für Bodenkultur Wien

Institut für Alpine Naturgefahren und forstliches Ingenieurwesen
Arbeitsbereich Wildbach – Lawine - Steinschlag

Peter Jordan Str. 82

Tel.: +43-1-47654-4350

A – 1190 Wien

Fax: +43-1-47654-4390

Report Nr.: 84

Wien, im Mai 2003

OPTIMIERUNG DER
LAWINENSICHERUNG IN
SKIGEBIETEN -
FALLBEISPIELE IN LECH UND
ST. ANTON/RENDL
ENDBERICHT

IM AUFTRAG DES

BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND-
UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT
UND WASSERWIRTSCHAFT

Institut für Alpine Naturgefahren
und Forstliches Ingenieurwesen
Peter Jordanstr. 82
A – 1190 Wien

Sigrid Wieshofer
Christian Scheidl
Christian Pürstinger
Stefan Kreuzer

A.	PROBLEMSTELLUNG	5
A.1.	EINLEITUNG	5
A.2.	ZIELSETZUNG	5
A.3.	GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG	6
B.	GRUNDLAGEN DER RISIKOWISSENSCHAFT	10
B.1.	RISIKO, GEFAHR UND SICHERHEIT	10
B.2.	ABGRENZUNG DER DISZIPLINEN RISIKOANALYSE, RISIKOBEWERTUNG UND RISIKOMANAGEMENT	13
B.3.	RISIKOANALYSE	14
B.3.1.	<i>Funktionsweise der Risikoanalyse:</i>	14
B.3.1.1.	Systemanalyse (Abgrenzung/Beschreibung)	15
B.3.1.2.	Gefahrenanalyse	17
B.3.1.3.	Expositionsanalyse	22
B.3.1.4.	Folgenanalyse	24
B.3.1.5.	Risikobestimmung	24
B.3.2.	<i>Methoden der Risikoanalyse</i>	27
B.3.3.	<i>Qualitative Methoden</i>	28
B.3.3.1.	Checklistenverfahren	28
B.3.3.2.	Preliminary Hazard Analysis PHA	28
B.3.4.	<i>Halb- oder semiquantitative Methoden</i>	29
B.3.4.1.	Fehler-, Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (Failure Mode and Effect Analysis) FMEA	29
B.3.4.2.	Hazard and Operability study HAZOP	29
B.3.4.3.	Zürich Hazard Analysis ZHA	30
B.3.5.	<i>Quantitative Methoden</i>	31
B.3.5.1.	Fehlerbaum Analyse (Fault Tree Analysis, FTA)	31
B.3.5.2.	Ereignisbaum Analyse (Event Tree Analysis, ETA)	33
B.3.5.3.	Ursachen/Folgen Diagramm (Cause/Consequence Charts)	34
B.3.5.4.	Entscheidungsbaum Analyse (Decision Tree Analysis, DTA)	35
B.4.	RISIKOBEWERTUNG	35
B.5.	RISIKOMANAGEMENT	38
B.6.	ZUSAMMENFASSUNG	42
C.	GRUNDLAGEN DER LAWINENKUNDE UND DES LAWINENSCHUTZES	44
C.1.	LAWINENKLASSIFIKATION	44
C.1.1.	<i>Morphologische Lawinenklassifikation</i>	44
C.1.2.	<i>Genetische Lawinenklassifikation</i>	45
C.2.	LAWINEN – GEFÄHRLICHE PROZESSE	49
C.2.1.	<i>Charakterisierung der Abbruchmechanismen</i>	49
C.2.1.1.	Lockerschneelawinen	49
C.2.1.2.	Schneebrettlawinen	50
C.2.2.	<i>Bewegung und Wirkung von Lawinen</i>	53
C.2.2.1.	Lawinengeschwindigkeit	53
C.2.2.2.	Bewegungsformen	53
C.2.2.3.	Einfluss der Sturzbahnform	54
C.2.2.4.	Lawinenkräfte	54
C.3.	LAWINENSCHUTZMASSNAHMEN IN ÖSTERREICH	55
C.3.1.	<i>Permanenter Lawinenschutz</i>	56
C.3.1.1.	Technische Maßnahmen	56
C.3.1.2.	Forstliche Maßnahmen	62
C.3.1.3.	Raumplanerische Maßnahmen	62
C.3.2.	<i>Temporärer Lawinenschutz</i>	64
C.3.2.1.	Warnung, Sperre und Evakuierung	64
C.3.2.2.	Künstliche Lawinenauslösung	68
D.	RAHMENBEDINGUNG IN SCHIGEBIETEN	72
D.1.	BEGRIFFSBESTIMMUNGEN	72
D.2.	RECHTLICHE SITUATION	73
D.2.1.	<i>Rechtliche Situation für Betriebsanlagen (technische Aufstiegshilfen)</i>	73
D.2.1.1.	Haupt- und Kleinseilbahnen	73
D.2.1.2.	Schlepplifte	74



D.2.2. *Rechtliche Situation des Lawinenschutzes in organisierten Schiräumen* 74

 D.2.2.1. Lawinenerlass 22. Jänner 1975 74

 D.2.2.2. Lawinenerlass 9. September 1975 76

 D.2.2.3. Lawinenerlass 1996 77

 D.2.2.4. Warnung, Sperrung 78

 D.2.2.5. Künstliche Lawinenauslösung 79

E. VON DER QUALITATIVEN ZUR QUANTITATIVEN BEWERTUNG DER RISIKOVERMINDERUNG DURCH LAWINENSCHUTZMASSNAHMEN 81

E.1. ALLGEMEINES ZUR WIRKUNGSWEISE VON LAWINENSCHUTZMASSNAHMEN 81

E.2. RISIKOVERMINDERUNG DURCH PERMANENTE SCHUTZMASSNAHMEN 83

 E.2.1. *Stützverbauung* 84

 E.2.1.1. Aufgabe 84

 E.2.1.2. Schutzziel 84

 E.2.1.3. Wirkungsweise 84

 E.2.1.4. Wirkungsbestimmende Faktoren 85

 E.2.1.5. Risikoverminderung laut Literatur 87

 E.2.1.6. Implementierung der wirkungsbestimmenden Faktoren in eine Fehler-, Möglichkeits- und Einflussanalyse 88

E.3. RISIKOVERMINDERUNG DURCH TEMPORÄRE SCHUTZMASSNAHMEN 90

 E.3.1. *Lawinewarndienst und Lawinenkommission* 91

 E.3.1.1. Lawinewarndienst 91

 E.3.1.2. Lawinenkommission 92

 E.3.2. *Sperre* 94

 E.3.2.1. Aufgabe 94

 E.3.2.2. Schutzziel 95

 E.3.2.3. Wirkungsweise 95

 E.3.2.4. Wirkungsbestimmende Faktoren 95

 E.3.2.5. Bestimmung der Sperrungswahrscheinlichkeit 96

 E.3.3. *Künstliche Lawinenauslösung* 97

 E.3.3.1. Aufgabe 97

 E.3.3.2. Schutzziel 97

 E.3.3.3. Wirkungsweise 98

 E.3.3.4. Wirkungsbestimmende Faktoren 98

 E.3.3.5. Methoden der künstlichen Lawinensprengung 105

 E.3.3.6. Implementierung der wirkungsbestimmenden Faktoren in eine Fehler-, Möglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA) 109

 E.3.3.7. Daten über Auslöseerfolg verschiedener Sprengmethoden 113

METHODE ZUR BESTIMMUNG DES RISIKOS IN SCHIGEBIETEN 115

E.4. ERHEBUNG DES IST - ZUSTANDES IN SKIGEBIETEN ZUR ERMITTLUNG DES AUSGANGSRISIKOS, BESCHREIBUNG DER METHODE ZUR RISIKOBESTIMMUNG 117

 E.4.1. *Einleitung* 117

 E.4.2. *Systemanalyse* 117

 E.4.2.1. Naturgefahrenorientierte Systemanalyse 118

 E.4.2.2. Nutzungsorientierte Systemanalyse 131

Gefahrenanalyse 142

 E.4.2.3. Eintretenswahrscheinlichkeit h_e 142

 E.4.3. *Prozessanalyse* 165

 E.4.3.1. Grundlagen 165

 E.4.3.2. Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit 166

 E.4.3.3. Wirkungsanalyse 168

 E.4.4. *Expositionsanalyse* 169

 E.4.4.1. Grundsätzliche Überlegungen 169

 E.4.4.2. Potentielles Schadensausmaß 171

 E.4.4.3. Präsenzwahrscheinlichkeit 173

 E.4.4.4. Sperrungswahrscheinlichkeit 174

 E.4.5. *Folgenanalyse* 174

 E.4.6. *Risikobestimmung* 175

E.5. RISIKOOPTIMIERUNG IN SCHIGEBIETEN 176

 E.5.1. *Einleitung* 176

 E.5.2. *Optimierung der Gefahrenseite* 177

 E.5.2.1. Optimierung der permanenten Stützverbauung 177

 E.5.2.2. Optimierung der künstlichen Lawinenauslösung 178

E.5.3.	<i>Optimierung der Expositionsseite</i>	181
F.	ERGEBNISSE DER FALLSTUDIEN	182
F.1.	ALLGEMEIN	182
F.2.	RISIKOBESTIMMUNG – SCHIGEBIET LECH – OST	182
F.2.1.	<i>Risikobestimmung der „Nullvariante“, Lech – Ost</i>	187
F.2.2.	<i>Risikobestimmung der „Momentanvariante“, Lech – Ost</i>	188
F.2.3.	<i>Risikobestimmung aufgrund unterschiedlicher Lawinenschutzmaßnahmen, Lech - Ost</i>	190
F.3.	RISIKOBESTIMMUNG - SCHIGEBIET RENDL	192
F.3.1.	<i>Risikobestimmung der „Nullvariante“, Rendl</i>	195
F.3.2.	<i>Risikobestimmung der „Momentanvariante“, Rendl</i>	196
F.3.3.	<i>Risikobestimmung aufgrund unterschiedlicher Lawinenschutzmaßnahmen, Rendl</i>	198
F.4.	ERLÄUTERUNGEN ZU DEN BERECHNETEN RISIKOWERTEN.....	199
G.	GELÄNDEBEGEHUNG IN LECH	202
G.1.	GELÄNDEAUFNAHMEN LECH, 2002	202
G.1.1.	<i>Bilddokumentation</i>	202
G.2.	ABGRENZUNG DES SKIRELEVANTEN BEREICHES	207
G.3.	INFORMATIONSAUFARBEITUNG MITTELS DIGITALER GELÄNDEMODELLE	207
G.4.	GELÄNDEAUFNAHMEN IM ZUGE DER FALLSTUDIEN, 2003	209
H.	GELÄNDEBEGEHUNG RENDL, IM ZUGE DER FALLSTUDIEN, 2003	211
I.	ZUSAMMENFASSUNG	214
J.	LITERATURVERZEICHNIS	215
K.	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	220
L.	TABELLENVERZEICHNIS	225
M.	BILDNACHWEIS	228
N.	ANHANG	229

A. PROBLEMSTELLUNG

A.1. EINLEITUNG

Seit Jänner 1975 ist der Lawinenerlass (BMVIT 75, 1) in Kraft, der im September 1975 (BMVIT 75, 2) und 1996 (BMVIT 96) ergänzt wurde. In diesen Erlässen wird der Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen und Schleppliften mit den dazugehörigen Schiabfahrten geregelt. Seit dem Inkrafttreten der Erlässe kam es speziell im Bereich der temporären Maßnahmen zu einer stetigen Weiterentwicklung und zu einer Erweiterung des Erfahrungsschatzes.

Maßnahmenplanung aufgrund eines vorher bestimmten Risikos und Bewertung der Maßnahmen entsprechend ihrer Risikoverminderung stellt ein klassisches Problemgebiet des Risikomanagements dar, dessen Methoden zur Anwendung kommen sollen. Anhand der gesammelten Daten und Fakten soll geprüft werden, ob und mit welchen Kriterien und Standards, ein Abgehen von der grundsätzlich beizubehaltenden Forderung nach permanenter Sicherheit bzw. Sicherung von Seilbahnanlagen und Schiabfahrten ohne Risikoerhöhung für die Benutzer möglich ist.

A.2. ZIELSETZUNG

Beim gegenständlichen Projekt handelt es sich um die Entwicklung einer Planungsmethodik für Lawinensicherungsmaßnahmen. Dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung stehen oft nur wenige Grundlagen für die Gutachtertätigkeit in Schigebieten zur Verfügung. Durch dieses Projekt sollen nun Richtlinien für die Sicherheitsoptimierung in Schigebieten entwickelt werden, die eine nachvollziehbare Begutachtung und Entscheidung ermöglichen und dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung als Unterstützung für Sachverständigentätigkeit dienen. Diese Richtlinien sollen unter anderem eine Methodik enthalten, die bei der Planung von Lawinensicherungsmaßnahmen in Schigebieten eingesetzt werden kann. Dabei soll ein Entscheidungssystem entwickelt werden, das die Wahl einer optimierten Maßnahmenkombination für ein zu untersuchendes Schigebiet ermöglicht. Dazu sollen die möglichen Maßnahmen quantitativ und qualitativ bewertet und so die Voraussetzung für eine objektive Vorgehensweise bei der Planung des Lawinenschutzes geschaffen werden.

Derzeit liegen keine Verfahrensvorschläge oder Richtlinien auf, die den Praktiker bei der Beurteilung von Schutzmaßnahmen in Skigebieten unterstützen. Arbeiten von WILHELM (1997 - 2001) oder HOLLENSTEIN (1997) beschränken sich entweder auf Verkehrsinfrastruktur-einrichtungen oder stellen allgemeine methodische Konzepte dar. Die Erkenntnisse aus diesen Arbeiten sollen zwar in das Projekt integriert werden, die vorliegende Studie konzentriert sich jedoch auf die Probleme in Skigebieten und umfasst zwei Kernziele:

Die Grundlagen der Beurteilungsmethode stellen einerseits die bereits veröffentlichten Risikoanalysearbeiten dar und andererseits die Informationen aus der DELPHI-Befragung. Darauf



aufbauend soll unter Einbeziehung von Wetter-, Schneedecken- und Geländeinformationen eine Beurteilungsmethode erarbeitet werden, die sowohl eine qualitative als auch eine quantitative Bewertung des Risikos und der Risikoreduktion durch Maßnahmen ermöglicht. Dieses Beurteilungsschema wird so ausgearbeitet, dass es auch mit einfachen Mitteln durchgeführt werden kann. Grundsätzlich verwendbare Methoden werden im Zuge des Projektes geprüft und gegebenenfalls integriert. Die zu erarbeitende Methode soll vorschreiben, welche Informationen zu verwenden sind und den Gutachter durch WENN-Szenarien bei seinem Entscheidungsprozess leiten. Die Methode wird mit geeignetem Datenmaterial optimiert und anhand von Fallbeispielen aus Lech und St. Anton auf Plausibilität geprüft.

A.3. GESCHICHTLICHE ENTWICKLUNG

1905 veranstaltete Mattias Zdarsky, einer der bedeutendsten Pioniere des alpinen Schillaufes, am Muckenkogel bei Lilienfeld in NÖ den ersten Torlauf mit überregionalem Interesse. Dieses Ereignis war gewissermaßen die Geburtsstunde des Alpenschillaufes als Sportdisziplin. Bis dahin wurden Schier bzw. deren Vorläufer nur als Fortbewegungshilfe benützt. Weitere alpine Schiwettkämpfe folgten.

1924 gab es die ersten Olympischen Winterspiele (in Chamonix-Mont-Blanc), 12 weitere folgten bisher, von denen 8 in Europa ausgetragen wurden. Die Publikumswirksamkeit dieser Veranstaltungen war zweifellos der eigentliche Anstoß für die Entwicklung des Alpenschillaufes zum Massensport (Schönthaler, 1983).

Mit der wachsenden Begeisterung für den Schisport steigt auch die Anzahl der Aufstiegshilfen. Wirtschaftliche und touristische Aktivitäten verlagern sich so immer mehr ins Hochgebirge und damit steigt unweigerlich das Risiko hinsichtlich der Lawinengefährdung.

Effektiver Lawinenschutz wird zur Basis eines effizienten Schitourismus.

Im Lawinenschutz wird zwischen temporären und permanenten Maßnahmen differenziert. So wird mit unterschiedlichen Ansätzen versucht, bestmöglichen Lawinenschutz zu gewährleisten, wobei bis heute permanenten Maßnahmen höhere Effektivitäten im Sinne der Sicherheit zugesprochen werden, obwohl die Kosten dafür ungleich höher sind. Als Beispiel seien die Lawinenerlässe von 1975(1), 19975(2) bzw.. 1996 angeführt, da folgende Wertigkeit der Sicherheit in absteigender Reihenfolge von Lawinenschutzmaßnahmen vorgenommen wird:

1. Verlegung der Anlage oder der Schiabfahrt aus dem Lawinengefahrenbereich,
2. permanenter Lawinenschutz durch geeignete Verbauungsmaßnahmen,
3. Maßnahmen des aktiven temporären Lawinenschutzes (Sprengung),
4. Maßnahmen des passiven temporären Lawinenschutzes (Sperrungen, usw.)



Aulitzky (1980) initiierte zwei Jahre nach dem ersten Lawinenerlass, eine Delphi Befragung über die derzeitigen Sicherheitserwartungen gegenüber verschiedenen Methoden des permanenten und temporären Lawinenschutzes. Als Ergebnis wurden technische Verbauungen mit einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 91%, Sprengseilbahnen mit 71% und die Erwartungen an die Sicherheit von Lawinenkommissionen mit 61% bewertet. Diese Werte sind jedoch mit Vorsicht anzuwenden, da aufgrund der geringen Teilnehmerzahl (22 Experten) und der teilweise unklar formulierten Fragestellungen kein eindeutiges Umfragergebnis abgeleitet werden kann.

Der Lawinenerlass wurde von Beginn an vom Verband der Seilbahnunternehmer Österreichs als zu streng, als zu starr, als zu einseitig angesehen, und wird aus verständlichen Gründen bekämpft (Dragosits, 1993).

Seit in Kraft treten des ersten Lawinenerlasses kam es daher zu einer stetigen Weiterentwicklung und natürlicherweise zu einer Erweiterung des Erfahrungsschatzes im Bereich temporärer Lawinenschutzmaßnahmen.

Frutiger (1988) berichtet von Lawinenabgängen innerhalb permanenter Stützverbauungen. Die Tatsache, dass man bei der Dimensionierung von Stützbauwerken von der extremen Schneehöhe ausgeht, sieht er als ungenügend an. Zusätzlich muss die Festigkeit der Schneedecke in situ beachtet werden.

Auch das Dilemma, dass gegliederte Stützwerke einerseits so durchlässig sein sollten, dass sie nicht frühzeitig hinterfüllt werden, andererseits aber auch sehr lockeren, in Bewegung geratenen Schnee auffangen sollen, damit nicht die Gefahr "von anschwellenden Schneebewegungen" eintrete, besteht nach wie vor (Frutiger, 1988). Frutiger empfiehlt den Verbau mit Einzelwerken nur auf Standorten, wo die Schneedecke eine hohe Festigkeit aufweist. Dies sind vor allem Gebiete über der Waldgrenze.

Die 1993 von Dragosits verfasste Expertise hat andererseits den fachlichen Hintergrund des Lawinenerlasses weiter untermauert. Der hohen Sicherheitserwartung der Stützverbauung von über 90% stehen einige Nachteile gegenüber, die jedoch bei ordnungsgemäßer Verbauung nicht zum Tragen kommen:

- Die Gefahr von Oberschneelawinen beim bzw. nach einem Überschneien der Werke kann minimiert werden, wenn die Werke den möglichen maximalen Schneehöhen gemäß ausreichend dimensioniert werden.
- Die Gefahr von Lawinen, welche die Verbauung durchfließen und somit Personen gefährden, wie dies bei Schiabfahrten der Fall ist, kann durch richtliniengemäße Ausführung mit engerem Werkabstand, Gitterauflagen und einer konsequenten Verbauung des gesamten Anbruchgebietes minimiert werden (Dragosits, 1993).

Laut Klenkhart (2002) wiederum entspricht die 90%-ige Sicherheit von Stützverbauungen nicht der Realität in Skigebieten. Wären die Verbaungsflächen so umfassend, wie für die im Dragosits Gutachten angegebenen Sicherheiten erforderlich, würden in den Skigebieten bereits riesige stahl-, drahtseilgeflecht- oder holzverbaute Hänge das Landschaftsbild prägen. Und trotzdem könnten aus nicht verbauten Hangbereichen unter 60% in Extremfällen Lawinen anbrechen (Klenkhart, 2002).

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Frage der Bewertung temporärer und permanenter Maßnahmen die Wissenschaft seit in Kraft treten der Lawinenerlässe beschäftigt.

2002 wurde wiederum eine neue, umfassendere Delphibefragung zur Bewertung von Lawinenschutzmaßnahmen gestartet. Mit dieser Umfrage sollen Daten erhalten werden, durch die einerseits die Effizienz der zu errichtenden permanenten und temporären Schutzmassnahmen zur Sicherung von Lawinengefährdungsbereichen bewertet und andererseits die Eignung der einzelnen Maßnahmen bezüglich des Objektschutzes festgestellt werden kann (Wieshofer, 2002). Die Daten dieser Umfrage dienen als Grundlage für dieses Projekt.

Nun soll im Rahmen dieses Projekts eine Methodik entwickelt werden, die eine objektive Entscheidungsgrundlage für die Planung von Lawinenschutzmassnahmen darstellt. Für die Anwendung der Methode sind prinzipiell unterschiedliche Ausgangssituationen für einen Gutachter denkbar (vgl. Abbildung 1)

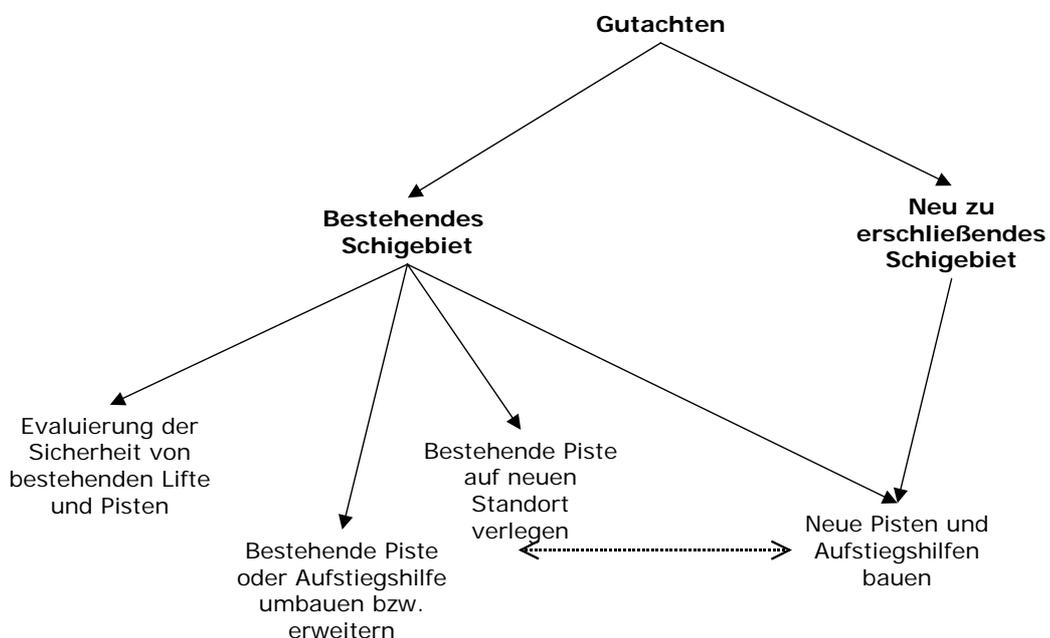


Abbildung 1: Anwendungsfälle der Methode zur Sicherheitsoptimierung

Die Situationen unterscheiden sich vor allem in der unterschiedlichen Datengrundlage, d.h. geringe Lawinenbeobachtungen, keine genaue Kenntnis über die Auslastung des Schigebiets oder der einzelnen Pisten. Im Gegensatz dazu kann bei der Evaluierung von bestehenden Aufstiegshilfen und zugehörigen



Pisten bereits auf einen längeren Zeitraum zurückgegriffen werden, indem einerseits Erfahrungen mit der Beliebtheit der Piste als auch mit bestehender Lawinengefahr gesammelt werden konnten, die anhand von Expertenbefragungen erhoben bzw. schon in digitaler Form zur Verfügung stehen.

Bei neuen Pisten ist nur durch einem Vergleich mit bestehenden Pisten eine Schätzung der für die Analyse notwendigen Parameter möglich.

In jedem der in Abbildung 1 dargestellten Anwendungsfälle soll mit Hilfe der zu entwickelnden Methode ein Sicherheitsoptimum aufgrund einer entsprechenden Maßnahmenplanung erreicht werden. Als Bewertungskriterium wird in diesem Projekt nur die durch die Maßnahmen erreichbare Risikoverminderung berücksichtigt. Eine Erweiterung der Methode durch eine Beachtung der Kosten bei der Entscheidungsfindung ist denkbar und sicher auch erstrebenswert.

B.1. RISIKO, GEFAHR UND SICHERHEIT

Früher galten Gebiete entweder als sicher oder gefährlich. Als Gefahrengebiete wurden Regionen bezeichnet, in denen Lawinenkatastrophen und Unfälle auftraten. Umfassende und flächenhafte Untersuchung von Gefahrenpotentialen und entsprechenden Risiken kann helfen, gut begründete Prioritäten und Methoden für Schutzmaßnahmen zu erhalten. Die Abwendung von dem „schwarz-weiß Denken“ führte zur Einführung von kontinuierlichen variablen Wahrscheinlichkeiten und damit zur modernen Risikowissenschaft in der Lawinengefahrenbeurteilung (Salm, 1993).

Das Ziel des Projekts ist eine Methodik zur Sicherheitsoptimierung des Systems Schigebiet bereitzustellen. Optimierung eines Systems bedeutet Eingriffe so in ein System vorzunehmen, dass ausgewählte, das System charakterisierende Variablen oder Ausgänge maximiert bzw. minimiert werden. Dabei besteht entweder die Möglichkeit die Eingangsparameter des Systems (Umwelteinflüsse wie Meteorologie) zu beeinflussen oder das System so zu gestalten, dass die ausgewählte Maßzahl ein Optimum erreicht. Da Eingriffe in die Systemumwelt nicht in unserer Hand liegen, wird das System verändert, indem Maßnahmen gesetzt werden. Zusätzlich ist, um eine Sicherheitsoptimierung durchführen zu können, eine Maßzahl für die Sicherheit notwendig ist. In der modernen Sicherheitswissenschaft wird die Erreichung von Sicherheit für Objekte oder Personen gleichgesetzt mit der Erlangung eines minimalen, unter einer bestimmten Grenze liegendem Risikos, da das Risiko als Maß für die Sicherheit herangezogen wird (Salm 1993). Je kleiner das Risiko, desto größer ist die Sicherheit. Andererseits kann auch davon gesprochen werden, dass Risiko ein Maß für die Größe einer Gefahr ist. Je größer das Risiko, desto größer wiederum die Gefahr.

Im normalen Sprachgebrauch bedeutet Risiko die Möglichkeit, einen Schaden zu erleiden. In der Versicherungswissenschaft wird unter Risiko ein Maß für die Größe einer Geldsumme, die im vornherein bereitzustellen ist, um einen für möglich angesehenen Schaden auf dem Wege der Wiederherstellung, der Erneuerung oder des Schadenersatzes ausgleichen zu können, verstanden (Kienholz, 1993).

Bei der Betrachtung von Pisten oder Aufstiegshilfen ist hingegen das Risiko an einer bestimmten Gefahrenstelle von Interesse. Dies ist definiert durch die Größe und die Wahrscheinlichkeit eines möglichen Schadens, der einerseits vom Ausmaß und der (Eintretens-)Wahrscheinlichkeit eines gefährlichen Prozesses an der Gefahrenstelle und andererseits vom Wert und der (Präsenz-)Wahrscheinlichkeit von Objekten an derselben Gefahrenstelle abhängig ist (Kienholz 1993). Damit ist bei Aufstiegshilfen, wie etwa bei Sesselliften die Frequenz der einzelnen Sessel, die Anzahl der Personen die sich darauf befinden und das Erreichen des Liftes durch eine Lawine von Bedeutung. Damit Menschen, Tiere, Bauwerke, Infrastruktur oder Verkehrsmittel Schäden erleiden können, müssen sie sich zum Zeitpunkt des gefährlichen Prozesses in dessen Wirkungsbereich befinden (Salm, 1993).



Gefahrenpotentiale oder Gefahr stellen die „Quellen“ von Risiken dar, beispielsweise durch Anwesenheit eines (für einen Menschen) gefährlichen Stoffes (Merz, et. All 1995). Die Aktivierung von Gefahrenpotentialen führt zu gefährlichen Prozessen, wie etwa dem Anbruch einer Schneemasse und einer anschließenden Bewegung bis zum Stillstand (Salm 1993).

Demnach gilt, dass je häufiger ein gefährlicher Prozess von schadenbringendem Ausmaß innerhalb einer gegebenen Periode eintritt, umso größer ist der mögliche kumulierte Schaden. Die Gefahr ist somit umso größer, je größer das Ausmaß des Einzelereignisses ist und je häufiger solche Ereignisse eintreten (Kienholz, 1993).

Stellen Lawinen die potentiellen Gefahren dar, können aufgrund der kurzen Ablaufdauer des gefährlichen Prozesses im Vergleich zum Beobachtungszeitraum, die einzelnen Lawinenprozesse auf der Zeitachse als punktuelle Ereignisse betrachtet werden. Daher spricht man auch von gefährlichen Ereignissen. Grundsätzlich ist stets eine (unendliche) Vielzahl von Ereignissen denkbar, die sich in Ursache, Ablauf, Zahl der mitbeteiligten Gefahrenpotentiale und den dafür wesentlichen Rahmenbedingungen (z.B. Meteorologie, Reaktion auf Ereignis, Anwesenheit von Personen) unterscheiden

Für die Zwecke einer Risikobestimmung muss diese Vielzahl möglicher Ereignisse auf eine begrenzte Zahl von repräsentativen Szenarien beschränkt werden. Szenarien sind demnach voneinander unabhängige, repräsentative, gefährliche Ereignisse, in denen die Bedingungen sowohl der Gefahrenfreisetzung als auch der exponierten Personen klar definiert sind. Pro Gefahrenpotential sind ein oder mehrere Szenarien zu definieren, um das Spektrum der möglichen Risiken möglichst realistisch abzudecken. Dabei sind allenfalls auch Szenarien mit Wechselwirkungen zwischen Gefahrenpotentialen zu berücksichtigen (Merz, et. All 1995).

Mögliche Schäden durch Naturgefahren stellen das Schadenspotential dar und sind in den Bereichen Personen, Wirtschaftsaktivität, Sachwerte aber auch in sozialen Bereichen zu finden. Für die Erfassung der Schäden werden Schadensindikatoren definiert. Durch die Auswahl der Schadensindikatoren erfolgt jedoch indirekt bereits eine Bewertung. Beispiele für Schadensindikatoren sind Todesfälle, verletzte und unterstützungsbedürftige Personen für das Schadenspotential „Personen“. Im Bereich Wirtschaftsaktivität im Sinne einer Gefährdung von Schigebieten ist die Anzahl und Dauer der Betriebsunterbrechung zu sehen, Schadensindikatoren bei Sachwerten sind hingegen physikalische Größen von zerstörten oder beschädigten Fahrzeugen, Fahrleitungen, Aufstiegshilfen oder Gebäuden. Im sozialen Bereich kann Angst, Unsicherheit oder Vertrauen als Schadensindikator betrachtet werden, die jedoch schwierig zu erfassen sind (Wilhelm 1997).

Ein anderer Ansatz für die Klassifizierung des Schadenpotentials anhand einer Analyse des Schadensgeschehens in einem System ist die Unterteilung der Schadensarten in die zwei Hauptkategorien „Materielle Schäden“ und „Personenschäden“ eingeteilt werden können, die sich wiederum in

„reparabel“ und „irreparabel“ gliedern. Reparable Schäden sind durch eine ökonomisch eindeutig messbare Leistung kompensierbar und können damit durch einen Geldbetrag behoben werden. Beispiele für reparable, materielle Schäden sind ein zerstörtes Auto oder Gebäude zu sehen. Reparable Personenschäden wären Leichtverletzte, die Schadenersatz zugesprochen bekommen. Bei irreparablen Schäden, also insbesondere Todesopfer, würde die Messung des Schadensausmaßes die Anzahl bedeuten. Die objektive Messbarkeit des Schadens ist schwierig bei irreparablen, materiellen Schäden, wie die Zerstörung von historischen Baudenkmalern, Zerstörung und Schäden an der Landschaft, an Gewässern und anderen Schäden an ideellen Werten (Schneider 1980).

Allgemein kann das Risiko, das ein Szenario S_i darstellt durch

$$R = p(S_i) \cdot A_{S_i} \quad \text{Gleichung 1}$$

berechnet werden, wobei $p(S)$ die Eintretenswahrscheinlichkeit und A_s das Schadensausmaß des Szenarios bedeutet (Wilhelm, 1998).

Falls die Szenarien $S_i, i=1..n$ voneinander unabhängig sind, entspricht

$$\bar{R} = \frac{1}{n} \sum_i p(S_i) A_{S_i} \quad \text{Gleichung 2}$$

dem Risiko eines durchschnittlichen Szenarios in dem betrachteten Gebiet (Wilhelm, 1998).

B.2. ABGRENZUNG DER DISZIPLINEN RISIKOANALYSE, RISIKOBEWERTUNG UND RISIKOMANAGEMENT

Die moderne Sicherheitswissenschaft zeigt bestehende Risiken auf, stellt ihre gesellschaftliche Bedeutung dar und optimiert Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit (Hollenstein, 1997).

Risikoanalyse, Risikobewertung und Risikomanagement sind Teilbereiche der Sicherheitswissenschaft bzw. Elemente des Risikokonzeptes. Dabei handelt es sich um ein systematisches Verfahren ein System von Risiken bestmöglich zu begegnen; dies unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer, wissenschaftlicher und gesellschaftspolitischer Ansprüche (BUWAL, 1999).

Hollenstein (1997) definiert die Teilbereiche folgendermaßen:

Die Risikoanalyse liefert Informationen über das Ausmaß und die Wahrscheinlichkeit der zu erwartenden Schäden. Sie beantwortet die Frage: „**Was kann passieren?**“.

Die Risikobewertung beurteilt die Bedeutung wahrgenommener Risiken anhand von Werten und Wertpräferenzen. Sie beantwortet die Frage: „**Was darf passieren?**“.

Das Risikomanagement ist das Bindeglied zwischen den Resultaten der Analyse und den Vorgaben der Bewertung. Es bestimmt die Zielsetzungen, den Handlungsbedarf, die Strategien und Maßnahmen.

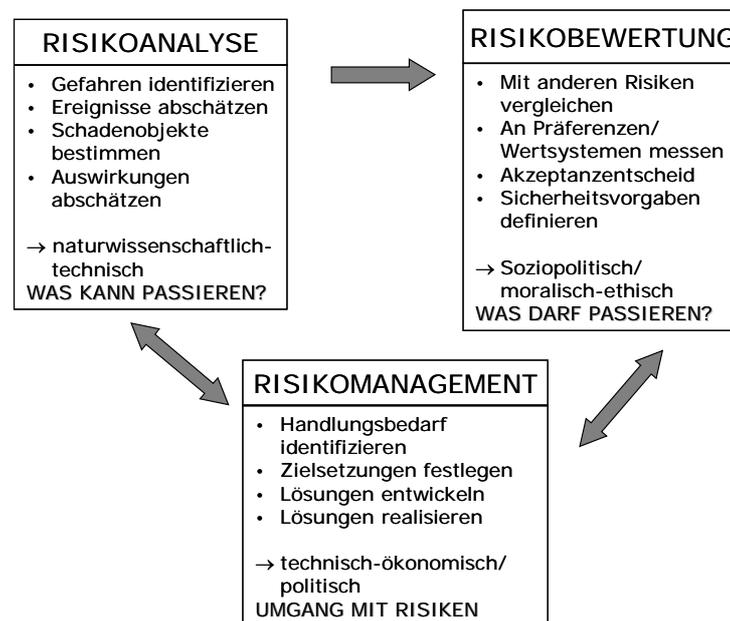


Abbildung 2: Teildisziplinen der Risikoforschung (Hollenstein, 1997)

B.3. RISIKOANALYSE

B.3.1. FUNKTIONSWEISE DER RISIKOANALYSE:

Die Risikoanalyse ist ein systematisches Verfahren, um ein Risiko hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit des Eintreffens und des Ausmaßes der Folgen zu charakterisieren und wenn möglich zu quantifizieren (BUWAL, 1999).

Risikoanalysen sind durch folgende Eigenschaften charakterisierbar:

- Sie beschreiben Systeme und deren Verhalten. An Stelle von einfachen Kausalitäten werden Ursachen und Wirkungen der Funktion des Untersuchungsobjektes betrachtet;
- es handelt sich um naturwissenschaftlich-mathematische Methoden. Darin können subjektive Einschätzungen (zum Beispiel für einen Parameterwert) enthalten sein, nicht aber subjektive Wertungen (zum Beispiel betreffend Zulässigkeit eines Zustandes);
- das Resultat einer Risikoanalyse sind Aussagen über Wahrscheinlichkeiten oder Häufigkeiten (probability oder frequency) und Ausmaße oder Intensitäten (magnitude oder number). Die Verknüpfung erlaubt Aussagen über die Bedeutung einzelner Risiken (Hollenstein, 1997).

Hollenstein (1997) beschreibt 4 Arbeitsschritte einer Risikoanalyse:

1. Systemabgrenzung und Systembeschreibung
2. Gefahrenabschätzung
3. Erfassung und Quantifizierung der exponierten Wertobjekte
4. Abschätzen der zu erwartenden Folgen

Etwas detaillierter wird die Risikoanalyse bei BUWAL, 1999 dargestellt (siehe Abbildung 3).

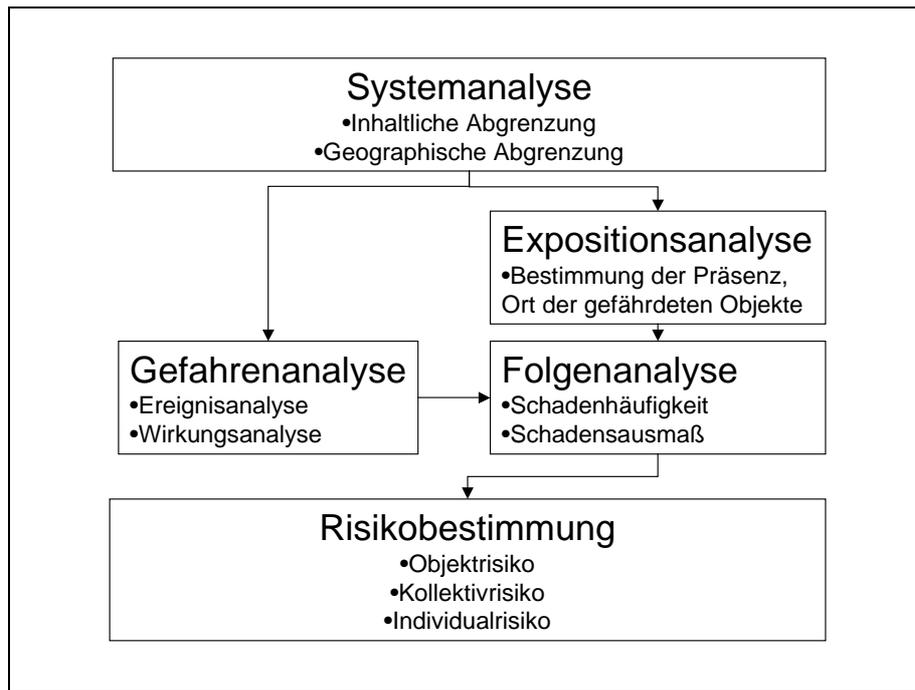


Abbildung 3: Arbeitsschritte der Risikoanalyse (BUWAL, 1999).

Diese Teilschritte werden nachfolgend erläutert.

B.3.1.1. Systemanalyse (Abgrenzung/ Beschreibung)

Die Systemanalyse dient zur Erarbeitung der Datengrundlage und ist ein wesentlicher Bestandteil der Risikoanalyse. Dabei werden die Elemente des Systems bzw. des Untersuchungsgebiets identifiziert und ihre Wechselwirkungen erfasst. Die Beschreibung des zu untersuchenden Systems liefert wichtige Eingangsdaten für die Analyse. Wichtige Elemente der Systemanalyse sind die Systemabgrenzung, in der die Rahmenbedingungen für die Risikoanalyse festgelegt werden, und die Systembeschreibung.

B.3.1.1.1. Systembegrenzung

Bei der **Systembegrenzung** wird das untersuchte Gebiet **räumlich, konditionell, thematisch** und zusätzlich oft **kausal** abgegrenzt.

Die räumliche (geographische) Begrenzung orientiert sich an den Prozessen der Naturereignisse.

Prozessräume sind oft durch hydrologische Einheiten (Einzugsgebiete), geomorphologischen Gliederungselementen (Lawinenzüge) oder tektonische Platten (im Falle von Erdbeben) begrenzt. Schwierig abzugrenzen sind Systeme für die Analyse von meteorologischen und klimatischen Risiken (Stürme, Dürre). Bei ihnen spielen systemüberschreitende Einflüsse eine große Rolle (Hollenstein, 1997).

Unter konditioneller Begrenzung versteht man die Beschaffenheit des zu untersuchenden Gebietes. Hierbei handelt es sich um die Abgrenzung von prozessrelevanten Parametern wie Niederschlagsverteilung, Temperaturmaximum, Siedlungsfläche, Verkehr, usw.



Die thematische (inhaltliche) Begrenzung liefert Prozesse (welche gefährlichen Prozesse treten auf ? Lawinen, Muren, Steinschlag, usw.) und Wertobjekte.

Als Wertobjekte werden Menschen und Sachgüter sowie funktionale Leistungen des Systems (Interventionspotential, ärztliche Versorgung) aber auch immaterielle Werte (Landschafts-, Ortsbild, biologische Vielfalt, Erholungswert, Wohlfahrtsfunktion,...) betrachtet.

Sind sekundäre bzw. indirekte Schäden eines Naturereignisses ausgeschlossen (Borkenkäferkalamität aufgrund Lawinentotholz, Arbeitsplatzverlust durch Firmenüberschwemmung,...) so wird das betrachtete System kausal abgegrenzt.

Kausal wird das System auf unmittelbare und akute Ursachen und Wirkungen beschränkt, also auf physikalische Direktschäden (Hollenstein, 1997).

B.3.1.1.2. Systembeschreibung

Die Systembeschreibung ist die Grundlage der Modellbildung und damit die Basis der gesamten weiteren Analysetätigkeit. Um Fehler zu vermeiden und die Unsicherheit zu reduzieren, muss sie mit größter Sorgfalt durchgeführt werden (Hollenstein, 1997).

Bei der Systembeschreibung wird zunächst qualitativ Gefüge und Art der Beziehungen einzelner Systembestandteile modellhaft dargestellt. Ergebnis ist eine vereinfachte und doch vollständige Abbildung der Realität.

Ein Verfahren zur Systembeschreibung ist die Methode des „Mind-Mapping“. Ausgehend von einem zentralen Bild des zu beschreibenden Systems, werden Verzweigungen zu dessen Teilbereichen dargestellt bis alle wichtigen Komponenten aufgeführt sind (siehe Abbildung 4).

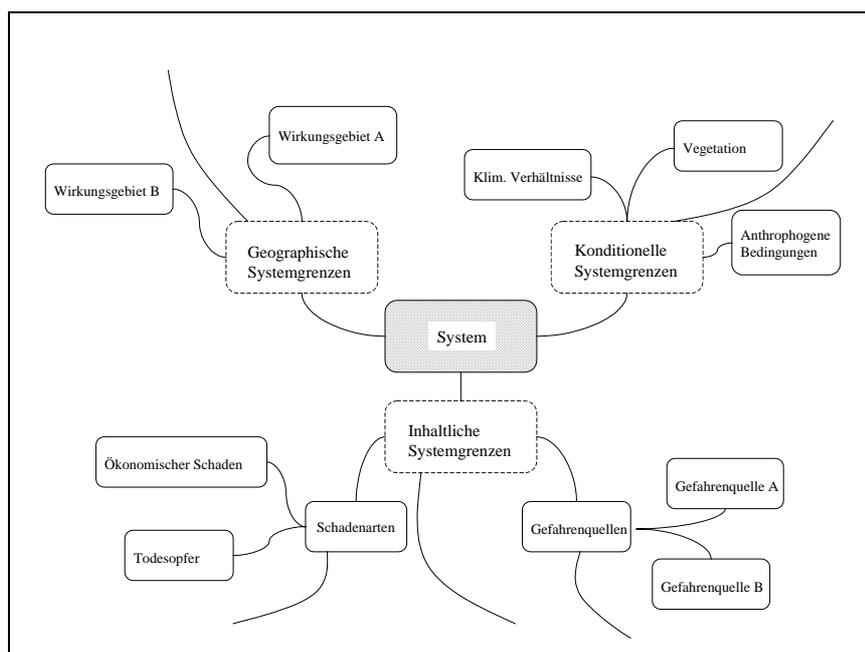


Abbildung 4: Beispiel einer vereinfachten Systembeschreibung, dargestellt als Mind Map

Abbildung 5 zeigt die Wechselbeziehung der Komponenten des Ereignisses Lawine anhand eines sog. „Influenzdiagrammes“. Damit werden Abläufe oder Zusammenhänge im System beschrieben und übersichtlich dargestellt.

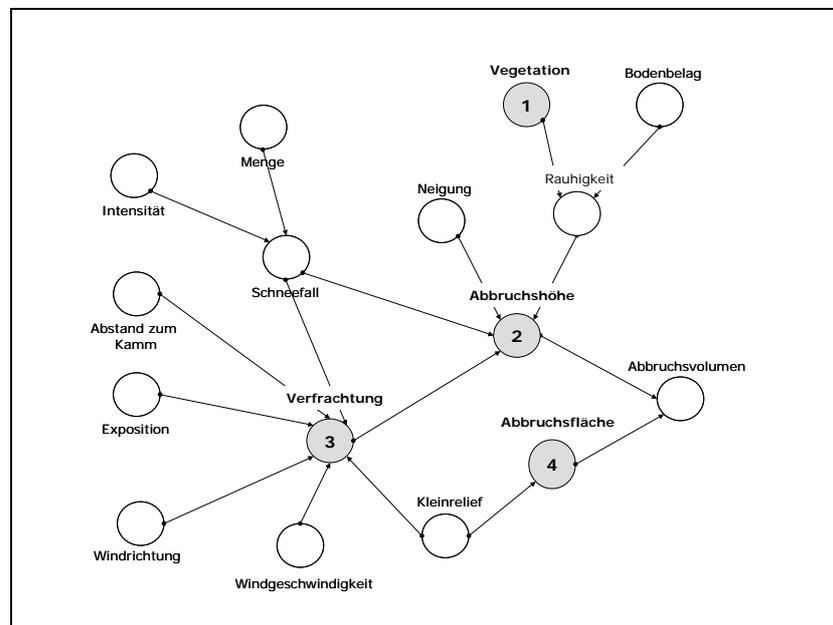


Abbildung 5: Systemelemente und Wechselwirkungen – langfristiger Betrachtungszeitraum

Anschließend werden die physikalischen Beziehungen mathematisch quantifiziert.

B.3.1.2. Gefahrenanalyse

Bei der Gefahrenanalyse (-abschätzung) werden die maßgebenden Gefährdungsprozesse des betrachteten Systems eruiert und hinsichtlich Eintrittswahrscheinlichkeit sowie Ausmaß untersucht.

Man unterscheidet Ereignisanalyse (Prozessanalyse) und Wirkungsanalyse (BUWAL, 1999).

B.3.1.2.1. Ereignisanalyse (Prozessanalyse)

Die Ereignisanalyse beschäftigt sich mit der Prozessidentifikation und versucht, die maßgeblichen physikalischen Parameter (z.B. Murfracht, Geschwindigkeit, Abfluss- bzw. Ablagerungstiefe) zu quantifizieren und die räumliche Ausbreitung des Prozesses für verschiedene Wiederkehrintervalle (z.B. 30, 100, 300 Jahre) abzugrenzen. Die Darstellung erfolgt in *Prozesskarten* (Rickenmann, 2002).

Die Identifikation der im System auftretenden Prozesse kann einerseits über Aufzeichnungen, stumme Zeugen, Analogieschlüsse, Erfahrungswerte, historische Daten und Ähnlichem erfolgen, oder über synthetische Dispositionsanalysen wie Hangneigungsmodelle, Energielinienmodelle, usw.

Interaktionen von mehreren Prozesselementen (Wasser, Feststoffe) führen zu komplexen Dispositionsanalysen.

B.3.1.2.1.1. Eintretenshäufigkeit

Da eine Gefahr nur dann ein Risiko darstellt, wenn der Prozess mit einer Wahrscheinlichkeit >0 auf ein Wertobjekt einwirkt, müssen Ausmaß und Häufigkeit bestimmt werden.

Ziel ist es, die Eintretenshäufigkeit eines Ereignisses festzulegen. Sie dient in weiterer Folge zur Bestimmung der Schadenhäufigkeit. Die Eintretenshäufigkeit h_e ist der reziproke Wert der Wiederkehrdauer T eines Ereignisses und beschreibt die relative Häufigkeit pro Jahr nach folgender Beziehung.

$$h_e = \frac{1}{T} \left[\frac{1}{\text{Jahr}} \right]$$

Im Bereich der Naturgefahren werden zur Bestimmung der Eintretenshäufigkeit meist reale Niederschlagsdaten eines Gefahrenereignisses herangezogen und auf längere Zeiträume extrapoliert. Im Bereich der Lawinenmodelle werden dazu Zeitreihen von Neuschneesummen verwendet.

Zusätzlich sind jedoch für die Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit neben den realen Niederschlagsdaten auch andere Parameter von Interesse. Anhand einer Fehlerbaum Analyse kann untersucht werden, wie die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Prozesses aufgrund mehrerer Interaktionen variiert. Schwierigkeiten bei der Umsetzung ergeben sich durch die, mit einem großen Aufwand, verbundene Entwicklung der Baumstruktur und durch die Quantifizierung der einzelnen Parameter. Die Bewertung müsste einerseits über Expertenwissen oder über Extremwertanalysen statt finden (siehe Beispiel in Abbildung 6).

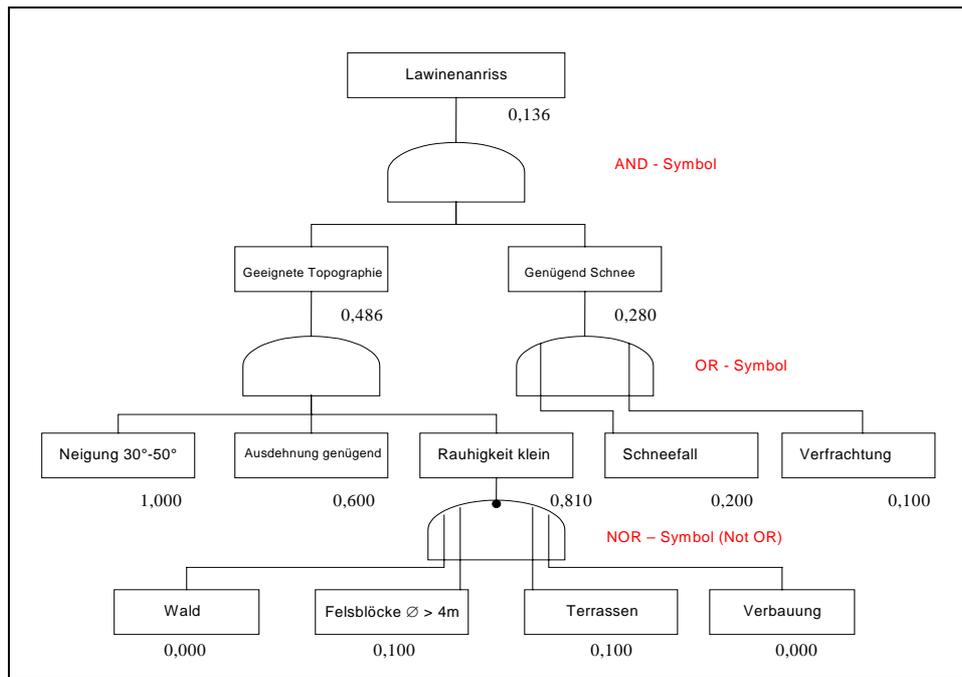


Abbildung 6: Quantifizierbarer Fehlerbaum: Die Zahlen bezeichnen die Wahrscheinlichkeit, dass ein Argument zutrifft. Einige Werte sind sofort ersichtlich (zum Beispiel beim fehlen einer Verbauung), andere müssen abgeschätzt werden (wenn z.B.: einzelne Blöcke vorhanden sind). Für die Berechnung wurde statistische Unabhängigkeit angenommen (Hollenstein, 1997).

Siehe dazu Kapitel B.3.2 - Methoden zur Risikoanalyse.

Für den Fehlerbaum in Abbildung 4 wurde statistische Unabhängigkeit angenommen. Gerade bei der Bestimmung von Eintretenshäufigkeiten für Lawinenprozesse muss bedenklich sein, dass es meistens keine Auskunft über Eintretenshäufigkeiten gleicher Ursachen gibt und damit nicht, a priori, eine statistische Unabhängigkeit angenommen werden kann.

Folgendes Beispiel anhand eines Lawinenereignisses zeigt, dass neben dem Ausmaß auch die Ursache (Auslösung) ein zu berücksichtigender Bereich der Wirkungsanalyse wäre:

Das Ereignis A = Lawineneintritt ist grundsätzlich möglich durch das Ereignis B = spontane Lawinenauslösung oder durch das Ereignis B' = keine spontane Lawinenauslösung und das Ereignis C = Lawinenauslösung durch Person, formal geschrieben als

$$A = B \cup (B' \cap C)$$

Die Abhängigkeit des Ereignisses C vom Ereignis B' setzt die Kenntnis der bedingten Wahrscheinlichkeit $P(C|B')$ voraus, die aber von vielen Faktoren abhängt und (noch) nicht bekannt ist (aus Wilhelm, 1997).

Im Falle einer Lawinenauslösung und Verschüttung durch ein und dieselbe Person ist die

wahrscheinlichkeitstheoretische Unabhängigkeit von Gefahr und Objekt nicht mehr gegeben und müsste bei der Risikoberechnung als bedingte Wahrscheinlichkeit berücksichtigt werden.

Tatsache ist, dass die Eintretenshäufigkeit von Naturgefahren bislang ohne Berücksichtigung der Auslösemechanismen bestimmt wurde.

Allgemein wird in *statistischer* und *probabilistischer* Ereignisabschätzung unterschieden.

Bei der *statistischen* Abschätzung werden Ausmaß und Häufigkeit von Ereignissen aufgrund früherer Beobachtungen direkt bestimmt (Hollenstein, 1997).

Man spricht auch von Extremwertstatistik wobei die abzuschätzenden Daten mit vorgegebenen Verteilungsfunktionen behandelt werden. Vor allem aus der Hydrologie sind folgende stetige Verteilungen bekannt:

- Normalverteilung: Grundlage vieler Verteilungen, Stichprobenverteilung von Parametern, symmetrisch und zweiparametrisch
- Pearson Typ III Verteilung: Standardverfahren zur Ermittlung der HW-Häufigkeiten bei jährlichen Serien, 3 parametrische Gammaverteilung
- Log – Pearson III Verteilung: Ermittlung extremer Abflüsse
- Weibull- od. Extremal Typ III Verteilung: aus einer Reihe normalverteilter Teilkollektive werden Extremwerte ausgesucht.
- Gumbelverteilung: Frequenzanalyse für Schnee - Ereignisse

Probabilistisch werden Ereignissausmaß und Häufigkeit durch Kenngrößen von Komponenten und Subsystemen berechnet (Hollenstein, 1997).

Der Hauptvorteil des probabilistischen Vorgehens ist die Unabhängigkeit von vergangenen Ereignissen. Angaben über Ausmaß und Häufigkeiten sind also vor dem Eintritt von Schäden möglich. Ein Nachteil des probabilistischen Ansatzes ist die Fortpflanzung von Unsicherheiten. Selbst für gut bekannte Systeme kann die Streuung einer Variable größer sein als ihr absoluter Wert selbst. Trotzdem sind probabilistische Abschätzungen für Naturgefahren interessant. Oft stehen nämlich nicht der absolute Wert einer Größe im Vordergrund, sondern ihre relative Bedeutung (Hollenstein, 1997).

B.3.1.2.1.2. Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Zusätzlich zur Eintretenshäufigkeit ist die **räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit** eines Ereignisses von Bedeutung.

Sie gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit bei Eintritt eines Gefahrenprozesses, ein bestimmter Punkt im Untersuchungsgebiet erreicht wird (BUWAL, 1999). Abbildung 7 zeigt Beispiele räumlicher Auftretungswahrscheinlichkeiten an Hand eines Murenereignisses mit einer Wiederkehrdauer von 150 Jahren.

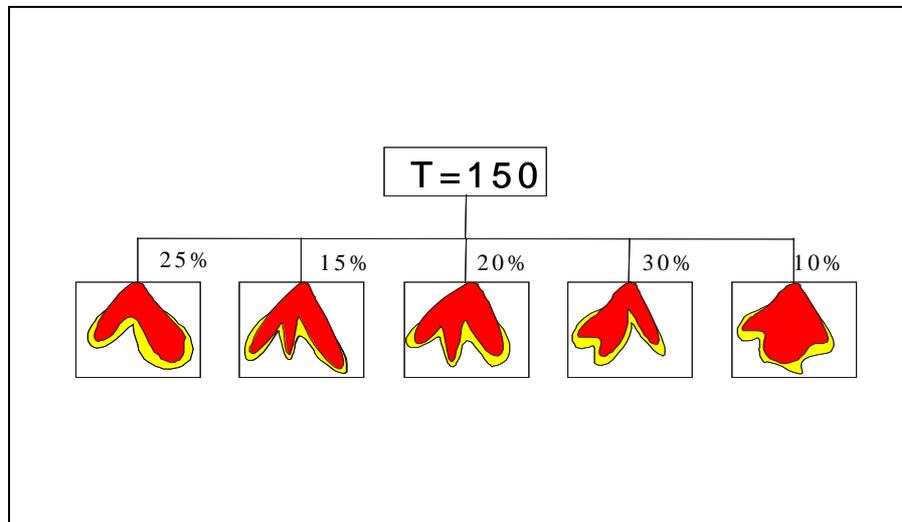


Abbildung 7: Räumliche Intensitätsszenarien bestimmter Auftretungswahrscheinlichkeit (Rickenmann, 2002).

B.3.1.2.2. Wirkungsanalyse

Bei der Wirkungsanalyse wird das Ausmaß einer Gefährdung bestimmt.

Im Gegensatz zur Eintretenswahrscheinlichkeit besteht bei der zweiten Komponente, dem Ausmaß, keine eindeutige Indexgröße, die die Gefährlichkeit für Personen und Objekte hinsichtlich Schäden repräsentiert.

Bereits sehr früh (De Quervain, 1973) wurde die Intensität einer Lawine, ausgedrückt durch den Lawinendruck [kN/m²] auf ein Hindernis, als allgemein anerkanntes Lawinenausmaß berücksichtigt. Bei anderen Naturgefahren sind z.B.: Hochwasserstand, Winddruck usw. die maßgebenden Gefahrenausmaßwerte (Wilhelm, 1997).

Werden Intensitäten zur Bestimmung der Wirkung eines Prozesses verwendet so ist sie gleichzusetzen mit der von Hollenstein (1997) beschriebenen Ereignisablaufanalyse bzw. -abschätzung und klassifiziert die in der Ereignisanalyse ermittelten Parameter (z.B. Geschwindigkeit, Tiefe) mit Hilfe einer Intensitätsmatrix. Dadurch lässt sich die Ausdehnung und der Grad (räumliche Intensität) der Gefährdung durch den Prozess beschreiben.

Somit kann dieses Ergebnis (*Intensitätskarte*) der Abgrenzung der Gefahrenzonen der Wildbach- und Lawinenverbauung gleichgesetzt werden (Rickenmann, 2002).



Ausmaßwerte für die Wirkung eines Gefahrenprozesses mit ausschließlicher Personenbeteiligung können Verschüttungstiefen oder die Erfassung einer Person darstellen.

B.3.1.3. *Expositionsanalyse*

Die Expositionsanalyse erfasst die Wertobjekte, auf welche die untersuchten gefährlichen Prozesse potentiell einwirken können (Hollenstein, 1997).

Die bisherigen Arbeitsschritte beschränkten sich auf die Untersuchung der Gefahrenseite. Durch die Kombination von Wertobjekt (Mensch bzw. Rechtsgut) und Gefahr entsteht ein Risiko, welches sich demnach auch auf die Untersuchungseinheit der Schadensseite bezieht (BUWAL, 1999).

Ziel ist es, Art, Ort und Präsenz der gefährdeten Objekte zu untersuchen.

Um das Ausmaß der möglichen Beeinträchtigungen messen und damit vergleichen zu können, gibt es zwei Konzepte. Den Kategorien- und den Indikatoren-Ansatz. Beim Kategorien-Ansatz werden Objekte bzw. Gruppen von Objekten direkt als Messgröße verwendet. Der Indikatoren-Ansatz betrachtet die Funktion eines Wertobjektes als Messgröße. Tabelle 1 verdeutlicht den Unterschied zwischen beiden Ansätzen.

Art der Wertobjekte	Mögliche Kategorien	Mögliche Indikatoren
Menschen	Dorf, Stadt, Streusiedlung..	Anzahl Personen
Gewässer	Bach, Fluss, See	Km, km ²
Biotope	Landwirtschaftsland, Wald.	Km ² , Biotopwert
Strassen	Hauptverkehrsstr., Nebenstr.	Km, Fahrzeugdichte
Elektrizitätsversorgung	Hauptversorgungsleitung, ..	Versorgte Bevölkerung
Gebäude	Wohnbauten, Gewerbebau	Bauwerkswert,-inhalt
Kommunikationsinfrastruktur	Haupt-, Sekundärnetz	Transferraten, Bandbr.

Tabelle 1: Unterschiedliche Konzepte zur Beschreibung von Wertobjekten

Die Art eines Wertobjektes wird, wie in Tabelle 1 ersichtlich, in Personen und Sachen unterschieden, welche in weiterer Folge zu Personenrisiken bzw. Sachrisiken führen (siehe Risikobestimmung). Dabei stellt die Exposition eine Funktion der Zeit dar, da sie meistens nicht ortsgebunden und nur temporär bedroht wird. Man spricht daher von einer zeitlichen Dynamik (Präsenz). Die Expositionsanalyse untersucht die Möglichkeit der Anwesenheit eines Objekts im Gefahrenbereich und liefert als Ergebnis die Präsenzwahrscheinlichkeiten der zu untersuchenden Objektkategorien.

Die Präsenzwahrscheinlichkeit von Personen und Objekten wird als zeitliche



Aufenthaltswahrscheinlichkeit in Gefahrenräumen verstanden, die zufällig oder systematisch variieren kann. In diesem Zusammenhang können stationäre, bewegliche und schnell bewegte Objekte unterschieden werden, die mit einer geringen bis hohen Präsenzwahrscheinlichkeit verbunden sind (vgl. Abbildung 8).

Die Untersuchungsobjekte können nach ihrem Schutzbedarf in Objektkategorien zusammengefasst werden (BUWAL, 1999).

Wilhelm (1997) ordnet Objekte nach Aufenthaltswahrscheinlichkeit und Schadenpotential zu Objektkategorien.

So ist in Abbildung 8, die Objektkategorie „Personen im Freien“ einem hohen Schadenpotential ausgesetzt (ungeschützte Menschenleben), die je nach Bewegung hohe bis geringe Präsenzwahrscheinlichkeit besitzt.

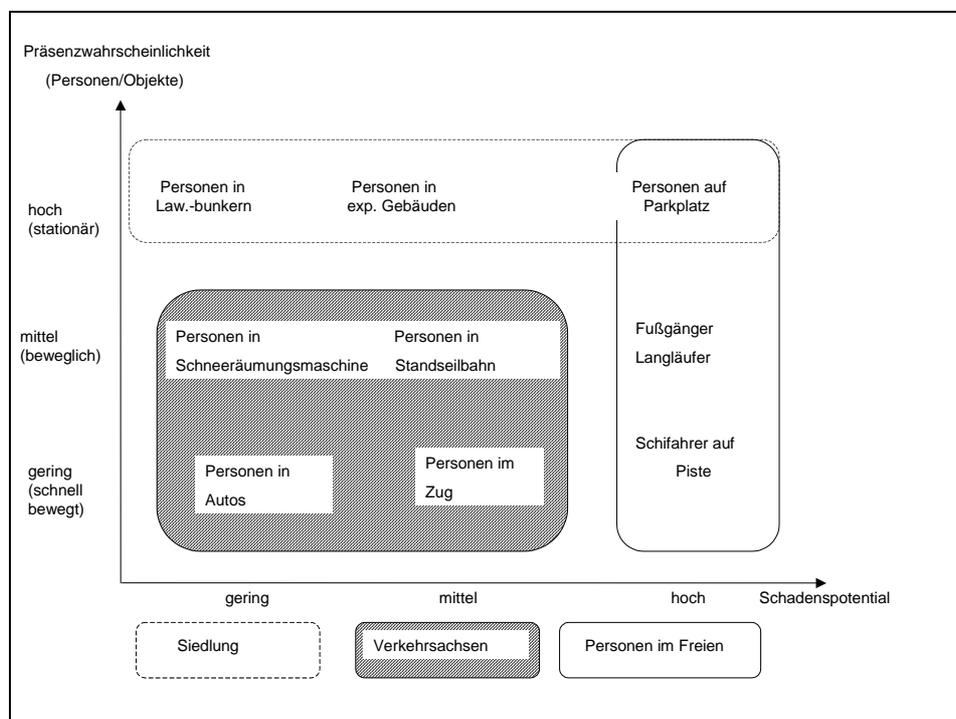


Abbildung 8: Typologisierung der Raumnutzung zu den Objektkategorien Siedlung, Verkehrsachsen und Personen im Freien mit Beispielen (Wilhelm, 1997).

Ein anderer Ansatz zur Kategorisierung von Objekten stammt von BUWAL, 1999. Dabei werden Objektkategorien als flächige, linienförmige und punkthafte Raumelemente erfasst und in Objektkategorien - Karten eingetragen. Grundlage für die Objektkategorien - Karte ist der Nutzungsplan. Mit Hilfe eines geographischen Informationssystems ordnet man die Kategorien des Nutzungsplanes den Objektkategorien zu und erstellt so die Objektkategorien - Karte. Objektkategorien im Sinne flächiger Raumelemente sind z.B.: Siedlungs-, Gewerbe-, Industrie-, Landwirtschafts- und Waldflächen.

Verkehrsachsen oder Energieleitungen sind linienförmige Raumelemente, wobei Einzelgebäude und Leitungsmasten Beispiele für punkthafte Raumelemente darstellen.

B.3.1.4. Folgenanalyse

Bei der Folgenanalyse werden die Ergebnisse der Gefahrenanalyse und der Expositionsanalyse zusammengeführt und die Schadenshäufigkeit und das Schadensausmaß abgeleitet.

Die Schadenshäufigkeit ist definiert als die statistische Zahl der Schadereignisse pro Jahr und setzt sich aus der Eintretenswahrscheinlichkeit, der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit und der Präsenzwahrscheinlichkeit zusammen. Zusätzlich können weitere Wahrscheinlichkeitsparameter, wie Sperrungswahrscheinlichkeit u. a., eingebunden werden. Da sich die Schadenshäufigkeit immer auf einen Gefahrenprozess bezieht, spricht man auch von einem Szenario.

Das Schadensausmaß beschreibt das zu erwartende Ausmaß eines Schadereignisses bezogen auf die Wertobjekte des untersuchten Gebietes. Die Bestimmung des Ausmaßes eines Schadereignisses ist Teil der Gefahrenanalyse. Je nach Fragestellung der Risikoanalyse gehen unterschiedliche Parameter zur Bestimmung des Schadausmaßes der Wertobjekte ein.

Folgendes Beispiel aus BUWAL (1999) zeigt das Schadensausmaß für Personenrisiken bzw. das Todesfallrisiko in Siedlungs-, Gewerbe- und Industrieflächen.

Das Schadausmaß ist diesbezüglich definiert als erwartetes Ausmaß eines Schadereignisses (in Anzahl Todesfälle), bezogen auf die Personen in der untersuchten Fläche und wird mit folgenden Parametern berechnet:

$$S = S_{sp,P} \times F_{GF}$$

Es setzt sich zusammen aus dem spezifischen Schadausmaß Personen $S_{sp,P}$ multipliziert mit der totalen Gebäudefläche F_{GF} . $S_{sp,P}$ ist ein Pauschalwert für das Schadensausmaß (in Anzahl Todesfällen) pro Ar Gebäudefläche bei Ereigniseintritt eines Gefahrenprozesses G mit Intensität I (siehe Gefahrenanalyse).

Die totale Gebäudefläche F_{GF} ist die Summe der Grundflächen aller Gebäude in der Untersuchungsfläche F und kann auf 2 Varianten berechnet werden (siehe BUWAL, 1999).

B.3.1.5. Risikobestimmung

In diesem Bearbeitungsschritt werden die Schadenshäufigkeit und das Schadensausmaß für das Objekt (die Objektkategorien) zum Risiko verknüpft.

Das Risiko wird allgemein definiert als:



Risiko = Ausmaß (A) * Wahrscheinlichkeit (w), weiters

Risiko = Einwirkung * Schadenspotential, oder

Risiko = H * D = (P_H * I) * (V * A * P_A), mit

H = Hazard (Gefahr),

P_H = recurrence probability of hazard (Eintretenswahrscheinlichkeit),

I = Intensity (Intensität),

D = Damage potential (Schadenpotential),

V = Vulnerability (Verletzlichkeit),

A = ASSET (WERT),

P_A = presence probability (Expositions Wahrscheinlichkeit),

(Rickenmann, 2002).

Üblicherweise ermittelt man zunächst das Objektrisiko mit objektspezifischen Daten. Das Objektrisiko ist das quantifizierte Risiko bezogen auf das untersuchte Objekt. Die Einheiten des Objektrisikos sind entweder Kosten für Sachschäden oder Anzahl Todesfälle für Personenschäden, jeweils pro Jahr oder Ereignis. Aus dem Objektrisiko und der Anzahl der Personen im Objekt kann man auf das Individualrisiko, welches auf eine einzelne Person bezogen wird, schließen. Die Summe aller Objektrisiken für ein spezifisches Szenario ergibt das Kollektivrisiko.

In einer Risikomatrix können Objektrisiko sowie Kollektivrisiko übersichtlich dargestellt werden.

Die Risikomatrizen geben eine vollständige numerische Beschreibung der Risikocharakteristik des betrachteten Systems und zeigen die Wirkungen der Szenarien auf die gefährdeten Personen und Objekte.

Objektgruppe		Szenarien SZ _{1,...,m}				Objektrisiko
		SZ ₁	SZ ₂	SZ ₃	SZ _m	r _i
Objekte	O ₁	r _{1,1}	r _{1,2}	r _{1,3}	r _{1,m}	r ₁
	O ₂	r _{2,1}	r _{2,2}	r _{2,3}	r _{2,m}	r ₂
	O ₃	r _{3,1}	r _{3,2}	r _{3,3}	r _{3,m}	r ₃
	O _n	r _{n,1}	r _{n,2}	r _{n,3}	r _{n,m}	r _n
Kollektivrisiko		R _{1,1}	R _{1,2}	R _{1,3}	R _{n,m}	R

Abbildung 9: Beispiel einer Risikomatrix

In einer Risikomatrix (vgl. Abbildung 9) werden die szenarienspezifischen Objektrisiken



$r_{i,m} = h_{sm} \cdot S_i$ zum gesamten Objektrisiko r_n , zum Kollektivrisiko $R_{n,m}$ eines Szenarios SZ_m oder zum Kollektivrisiko des Systems \mathbf{R} zusammengefasst.

B.3.2. METHODEN DER RISIKOANALYSE

Die in der Risikoanalyse verwendeten Methoden variieren in den verschiedenen Fachdisziplinen und unterscheiden sich durch unterschiedliche Herangehensweise. In der folgenden Abbildung sind verschieden Methoden entsprechend ihrer Betrachtungshorizonte und ihrer ursprünglichen Fachdisziplin dargestellt.

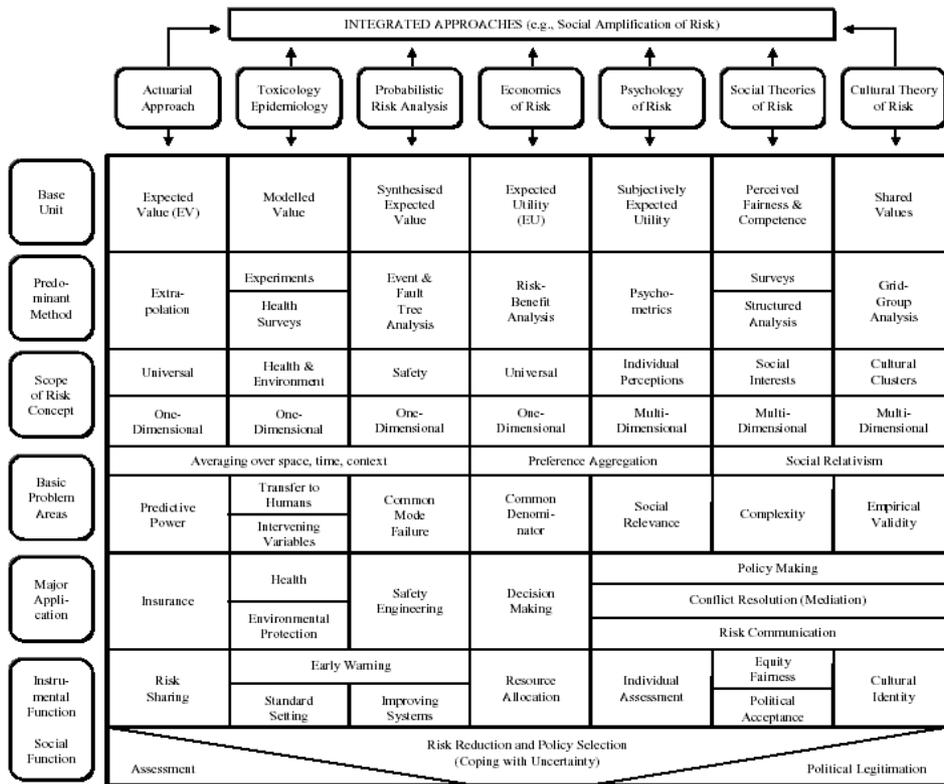


Abbildung 10: Konzepte der Risikoanalyse

In diesem Kapitel werden die wichtigsten Methoden zur Bestimmung von Risiken vorgestellt. Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Die vorgestellten Methoden sind grundsätzlich nicht an bestimmte Analyseobjekte gebunden, sondern universell anwendbar;
- die verschiedenen Methoden können miteinander kombiniert werden, was unter Umständen zu besonders gut angepassten Lösungen führen kann;
- die Methoden sind Formalismen, Resultate ergeben sich erst, wenn Informationen über das Untersuchungsobjekt vorliegen (Hollenstein, 1997).

Risikoanalysemethoden stellen ein Verfahren zur Verarbeitung von Informationen über das Untersuchungsobjekt zur Verfügung, sie stellen aber keinen Ersatz für gute Systemkenntnisse und die



richtige Modellierung des Objektes dar (Hollenstein, 1997).

Dabei wird grundsätzlich zwischen qualitativer, semiquantitativer und quantitativer Risikoanalyse unterschieden.

B.3.3. QUALITATIVE METHODEN

Qualitative Methoden charakterisieren risikorelevante Prozesse innerhalb eines Systems. Sie beschreiben Risiken in Worten wie gering, mittel, hoch. Solche (qualitative) Aussagen haben keine scharfe Abgrenzung. Sie sind subjektiv und ihr absolutes Ausmaß oder ihr relativer Beitrag zum Gesamtrisiko kann nicht bestimmt werden (Hollenstein, 1999).

Häufig verwendet werden Checklisten und die Preliminary Hazard Analysis (PHA).

B.3.3.1. Checklistenverfahren

Beim Checklistenverfahren wird zunächst das System definiert und funktional untersucht. Anhand von Leit- oder Schlüsselwörtern erfolgt die Gefahrenidentifikation. Solche Schlüsselwörter beschreiben Abweichungen von einem definierten Sollzustand. So kann z.B.: die Summe der beobachteten Dreitagesneuschneemenge größer als jene im Jahresmittel sein. Der so dargestellte Zustand gibt Hinweise auf eine mögliche Gefahr. Im oben genannten Beispiel kann daher eine erhöhte Lawinengefahr angenommen werden.

Resultat des Checklistenverfahrens ist eine Aufzählung von Gefährdungen.

Seine Vorteile sind der einfache Aufbau, die breite Anwendungsmöglichkeit und die rasche Handhabung. Nachteilig ist die Anfälligkeit für Lücken, die völlige Abhängigkeit vom Wissen der Person, die die Analyse durchführt, und die fehlende Quantifizierbarkeit der Ergebnisse (Hollenstein, 1997).

B.3.3.2. Preliminary Hazard Analysis PHA

Bei der Preliminary Hazard Analysis handelt es sich um eine erweiterte Methode des Checklistenverfahrens. Zunächst wird das System in Subsysteme und relevante Stoffflüsse unterteilt. Für jedes der untersuchten Subsysteme werden die Ausfallmechanismen beschrieben. Anschließend werden mittels Checklistenverfahren die daraus resultierenden Gefahrenpotentiale bestimmt und mit einer Tabelle qualitativ und wenn möglich ordinal untersucht (siehe Tabelle 2).

unters. Teil	Betriebszustand	gefährl. Element	auslös. Ereignis	gefährl. Zustand	Störfall-ursache	möglicher Störfall	mögliche Auswirk.	getroff. Massn.
Stützbauwerk	normal	H_{ext}	spontane Auslösung	$H_{ext} > H_k$	NS Wind	Rückhalt fällt aus	Lawine	H_k anpassen
Stützbauwerk	normal	Fundierung.	Materialbruch	Systemversagen	Korrosion Steinschl.	Rückhalt fällt aus	Lawine	Optimierung Anker



Tabelle 2: Preliminary Hazard Analysis, Beispiel für permanente Lawinenverbauung

B.3.4. HALB- ODER SEMIQUANTITATIVE METHODEN

Halbquantitative Ansätze beschreiben Risiken anhand einer willkürlich festgelegten Skala. Die Skalierung kann rein verbal, numerisch (Intervalle) oder gemischt erfolgen (Hollenstein, 1997).

Die wichtigsten Methoden mit beschränkten Quantifizierungsmöglichkeiten sind die Failure Mode and Effect Analysis FMEA, die Hazard and Operability Study HAZOP und die Zürich Hazard Analysis ZHA.

B.3.4.1. Fehler-, Möglichkeits- und Einfluss-Analyse (Failure Mode and Effect Analysis) FMEA

Die FMEA ist eine induktive Methode auf Komponenten- bzw. Subsystemstufe (Hollenstein, 1997). Beim induktiven Vorgehen wird von der Beobachtung von Einzelfällen auf allgemeine Gesetzmäßigkeiten geschlossen.

Beschrieben werden die möglichen, denkbaren Fehler einer Betrachtungseinheit innerhalb eines Systems. Anschließend werden deren Funktion im Einsatz bzw. Auswirkungen auf andere Bestandteile untersucht.

Die Resultate der FMEA sind primär qualitativ. Die Zuordnung der Ausfallarten zu Häufigkeitsklassen bzw. der Auswirkungen zu Schwereklassen erlaubt Aussagen über die ordinale Bedeutung verschiedener Risiken (Hollenstein, 1997).

Die Ergebnisse der Analyse werden bei der FMEA in einer Tabelle dargestellt (siehe Tabelle 3).

Betr. Einheit	Ausfallart	Häufigkeit	Auswirkung	Schwere	Folgen	Maßnahmen
Stützbauelement	Schäden an der Fundierung	selten	Destabilisierung Hang	sehr schwer, kritisch	spontaner großer Lawinengang möglich	Optimierung Fundamente
	Schäden am Oberbau Balkenelement	eher selten	Destabilisierung Hang, Materialfrei-	schwer	Lawinengang möglich	Optimierung Oberbau

Tabelle 3: Ausschnitt einer FMEA - Ergebnistabelle, Beispiel für permanente Lawinenverbauung

Der Vorteil der FMEA liegt in der expliziten Betrachtung der Effekte. Es wird nicht nur untersucht, unter welchen Umständen das System noch funktioniert, sondern welches die möglichen Folgen von Ausfällen sind. Nachteilig ist die Notwendigkeit der Definition von Versagensmechanismen (failures), die es in natürlichen Systemen eigentlich nicht gibt (Hollenstein, 1997).

B.3.4.2. Hazard and Operability study HAZOP

Beim induktiven HAZOP - Verfahren wird mit Leitworten festgestellt, wie ein System unter abnormalen Bedingungen reagiert. Die HAZOP ist auf die Optimierung der Zuverlässigkeit von Produktionssystemen ausgelegt. Eingangsgröße sind an kritischen Knoten angenommene Abweichungen (qualitativ), mit denen das weitere Verhalten des Systems bestimmt wird. Im Unterschied zur FMEA



liegt der Schwerpunkt bei der HAZOP in der Betrachtung von Abläufen anstelle von Komponenten. Es interessiert nicht die Art des Ausfalles, sondern die Art der Störung und der möglichen Maßnahme. Die Ergebnisse sind qualitativer Natur. Quantifizierungen in beschränktem Maße sind möglich, wenn Actio - Reactio Beziehungen des Systems quantifizierbar sind (Hollenstein, 1997).

B.3.4.3. Zürich Hazard Analysis ZHA

Bei der ZHA-Methode handelt es sich um eine induktive, semiquantitative Risikoanalysemethode, bei der die Folgenanalyse explizit eingeschlossen ist. Ausgehend von der Systembeschreibung werden alle relevanten Ereignisse bezüglich ihrer Häufigkeit (sehr häufig bis unmöglich) und ihrer Schwere (vernachlässigbar bis katastrophal) erfasst (Tabelle 4) und anschließend den willkürlich festgelegten Schutzziele gegenübergestellt (siehe Tabelle 5). Dabei werden nur qualitative Messgrößen verwendet.

Im folgenden Beispiel ist das zu beschreibende System eine Schipiste. Die systembedrohenden Gefahren werden aufgenommen, hinsichtlich ihrer Häufigkeit und ihres Ausmaßes mit gleichen qualitativen Kriterien¹ beschrieben und in tabellarische Form gebracht (Tabelle 4). In eine Risikomatrix eingesetzt können Schutzzieldefizite sofort erkannt werden (Tabelle 5)

Nr.:	Gefahr	Häufigkeit *	Auswirkung	Schwere *
1	Schneebrettlawine	E sehr selten	Tote, Verletzte	I
2	Naßschneelawine (klein)	D selten	Verletzte	II
3	Schneerutsch	C wahrscheinlich	Verletzte, Sperre	III

Tabelle 4: Darstellung von Gefahren und Auswirkungen, Beispiel Schipiste

Häufigkeit	A					
	B					
	C		Nr. 3			
	D			Nr.2		
	E				Nr.1	
	F					Schutzziel
			IV	III	II	I
		Schwere des Ereignisses				

¹ Häufigkeit: A sehr häufig, B häufig, C wahrscheinlich, D selten, E sehr selten, F unmöglich

Schwere: I sehr schwer - kritisch, II schwer, III gering, IV vernachlässigbar

Ähnlich der ZHA Methode ist das in BUWAL (1999) vorgestellte Verfahren der Risikoanalyse Stufe 1:

Man überlagert mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (GIS) die Karte der Gefährdung mit der Karte der Bodennutzung und ordnet den Bodennutzungsarten Schutzziele als maximal zulässige Intensität des Gefahrenprozesses und dessen Wiederkehrperiode zu. Wenn die tatsächliche Intensität des Gefahrenprozesses größer ist als die maximal zulässige Intensität in Bezug auf die Bodennutzung, dann besteht ein Schutzdefizit. Diesem gibt man aufgrund einer festzulegenden Skala einen Zahlenwert und bewertet es (BUWAL, 1999).

B.3.5. QUANTITATIVE METHODEN

Die Stärke der quantitativen Ansätze liegt in der Abbildung des Systemverhaltens und der Genauigkeit der Resultate. Sie ergeben gute Grundlagen für das Risikomanagement (Hollenstein, 1997).

Neben den Angaben über absolute und relative Werte einzelner Risiken werden hohe Anforderungen an die Systembeschreibung des Analyseobjektes gestellt, verbunden mit einem größeren Aufwand.

Die beschriebenen Methoden basieren auf logischen Verknüpfungen von Bestandteilen und Zuständen. Solche Operationen sind mathematisch genau und mit geringem Aufwand berechenbar. Die Zahl der verschiedenen Operationen ist klein, lediglich drei elementare Verknüpfungen (UND, ODER, NICHT) werden benötigt. Diese Methoden eignen sich deshalb besonders für computerunterstützte Berechnungen und Simulationen (Hollenstein, 1997).

Die graphische Darstellung quantitativer Methoden erfolgt mit logischen Bäumen.

Logische Bäume verknüpfen Ursachen, mit Folgen. Ein logischer Baum ist ein gerichteter Graph mit logischen Eigenschaften (Schneider, 1996).

Unterschieden werden die Fehlerbaum- (Fault Tree Analysis) und die Ereignisbaum-Analyse (Event Tree Analysis), weiters das Ursachen/Folgen Diagramm (Cause-Consequence) und die Entscheidungsbaumanalyse (Decision Tree analysis).

B.3.5.1. Fehlerbaum Analyse (Fault Tree Analysis, FTA)

Ziel der Fehlerbaum Analyse ist die systematische Erfassung möglicher Ursachen eines bestimmten unerwünschten TOP - Ereignisses. Der Fehlerbaum ist in diesem Sinn ein logisches Diagramm zur

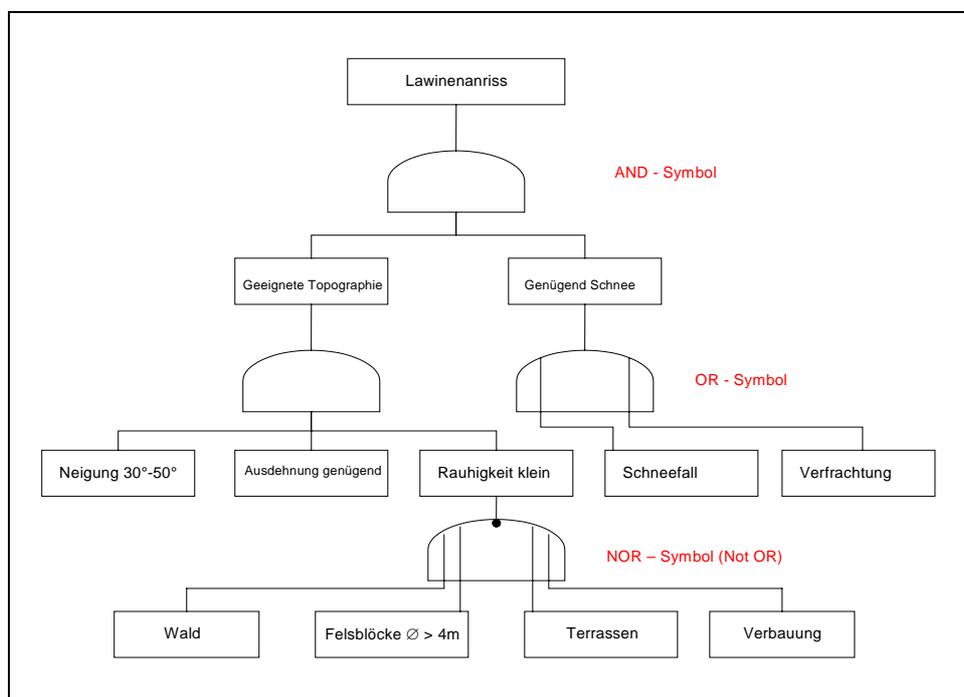
Darstellung von Ereigniskombinationen, die zum TOP führen (Schneider, 1996).

Die Fehlerbaum Analyse ist ein sogenanntes "top-down"-Verfahren. Zunächst werden alle Systemkonstellationen, welche zum Versagen führen können, dargestellt. Anschließend kombiniert man sie mittels "logischen Toren" (gates)² zu einem Fehlerbaum. Die "logischen Tore" sind Träger der logischen Operatoren zwischen Ursachen und Folgeereignissen.

Folgende Operatoren kommen dazu in Frage (Hollenstein, 1997):

- AND: logischer Durchschnitt (alle Argumente nötig für den Output)
- OR: logische Vereinigung (Output entsteht, wenn mind. ein Argument zutrifft)
- NOT: logischer Ausschluss (Output entsteht, wenn das Argument nicht zutrifft)
- NAND: Not And
- NOR: Not Or

Die Bedeutung der Verknüpfung, die Schreibweise und die Kombination von verschiedenen Systemelementen werden in Abbildung 11 dargestellt.



² Schneider, 1996



Abbildung 11: Fehlerbaum zur Analyse der Lawinendisposition: In den Kästchen ("logische Tore") sind Zustände enthalten, die zum Anriss von Lawinen führen können. Bemerkenswert ist, dass völlig verschiedene Elemente problemlos miteinander kombinierbar sind (Hollenstein, 1997).

Die Quantifizierung des Fehlerbaumes liefert die Wahrscheinlichkeit, dass das TOP Ereignis, also ein bestimmter unerwünschter Prozess, überhaupt eintreten kann. Sie gibt aber keine Information über Ausmaß und Häufigkeit von Naturereignissen. Wenn die einzelnen Elemente des Baumes voneinander unabhängig sind, reduziert sich die Berechnung auf einfache Multiplikationen, ansonsten muss mit bedingten Wahrscheinlichkeiten gerechnet werden. Über die Summe der Wahrscheinlichkeiten an einem Knoten ist beim Fehlerbaum keine Aussage möglich (im Gegensatz zum ET, vgl. Kapitel B.3.5.2), (Hollenstein, 1997).

B.3.5.2. Ereignisbaum Analyse (Event Tree Analysis, ETA)

Bei der Ereignisbaum Analyse handelt es sich um ein "bottom-up"-Verfahren. Das bedeutet, dass die auf ein Ereignis folgenden Ereignisse sich jeweils gegenseitig ausschließen. Daher ist der einzige logische Operator eines Ereignisbaumes die ODER Verknüpfung, eine bestimmte Entwicklung tritt ein oder nicht. Dies ist anhand des Beispiels in Abbildung 12 sofort zu erkennen.

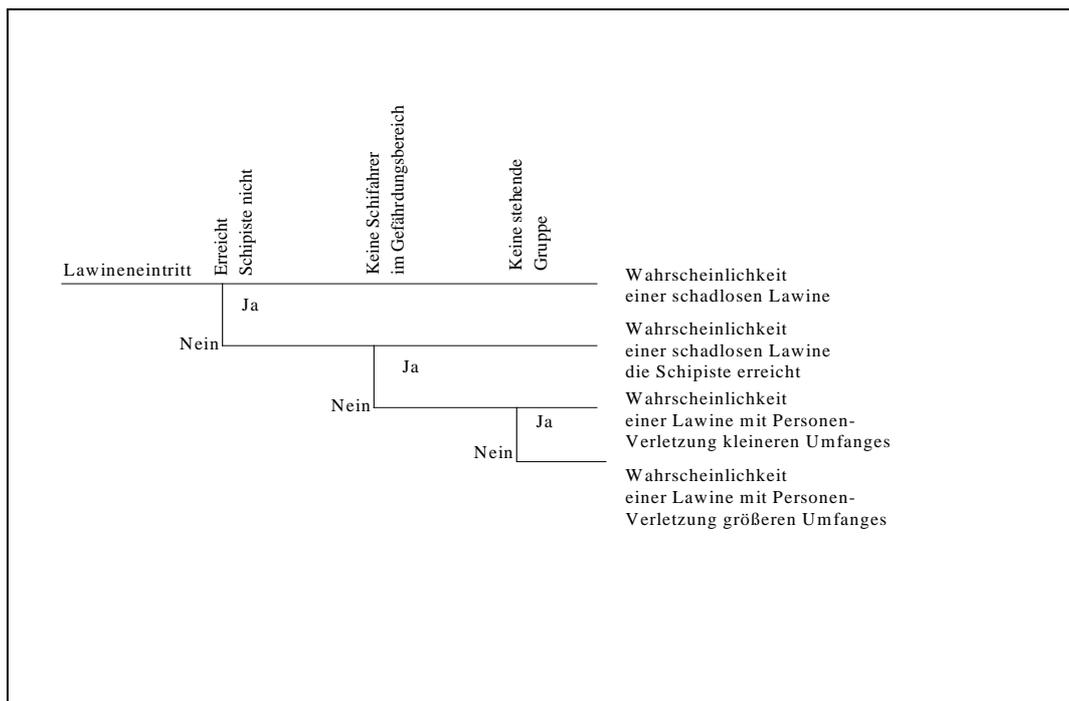


Abbildung 12: Ereignisbaum Analyse aufgrund lawinengefährdeter Schipiste (nicht quantifiziert).

Sofern über die Eintrittswahrscheinlichkeit einer Ereignisfolge Zahlen vorliegen (zum Beispiel aus einer FTA), ist es möglich, quantitative Aussagen über die zu erwartenden Folgen zu machen. Mit Ereignisbäumen können Ablauf und Folgen eines Naturereignisses dargestellt und auf einfache Weise berechnet werden (Hollenstein, 1997).

B.3.5.3. Ursachen/Folgen Diagramm (Cause/Consequence Charts)

Die beiden bisher behandelten logischen Bäume können in einer speziellen Darstellung zusammengefasst werden. Das kombinierte Bild enthält sowohl Ursachen als auch Folgen eines bestimmten Ereignisses und wird somit als "Ursachen/Folgen - Diagramm" bezeichnet (Schneider, 1996).

Als graphische Darstellung vereint das Ursachen/Folgen Diagramm die Methoden des Fehler- bzw. des Ereignisbaumes.

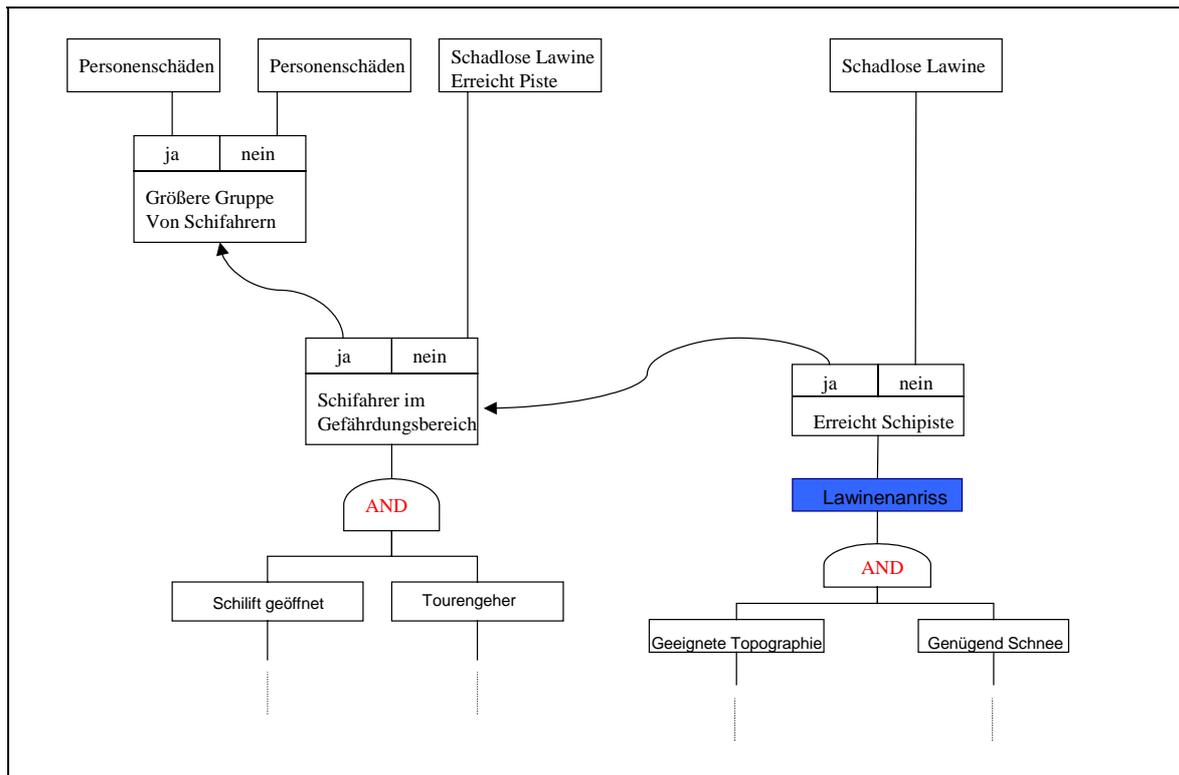


Abbildung 13: Ursachen/Folgen Diagramm eines Lawinenanrisses (nicht quantifiziert).

Elemente des Diagramms, welche nur mit ja oder nein beantwortet werden können, entsprechen der Methode des Ereignisbaumes. Ist man nicht sicher wie sich die Folgeereignisse entwickeln, kann man mit Fehlerbäumen versuchen, auf dahinterliegende Informationen zurückzugreifen.

Diese Fehlerbäume setzen demnach dort an, wo die Information gefragt ist. Der jeweilige TOP ist die im Kästchen (z.B.: Schifahrer im Gefährdungsbereich, vgl. Abbildung 13) gestellte Frage. Natürlich können je nach TOPs und damit Fehlerbäume an mehreren Verzweigungen des Ursachen/Folgen - Diagramms einbezogen werden. Man schaut also zunächst mit induktivem Denkansatz im Sinne eines Ereignisbaums in Richtung der Konsequenzen. Aber immer dann, wenn man das als sinnvoll erachtet, geht man auch immer gleich mit deduktivem Ansatz im Sinne eines Fehlerbaums in Richtung der Ursachen (Schneider, 1996).

B.3.5.4. Entscheidungsbaum Analyse (Decision Tree Analysis, DTA)

Der Entscheidungsbaum ist eine Möglichkeit zur Darstellung eines Entscheidungsproblems. Ausgehend von einer Handlung wird der Entscheidungsbaum gebildet. Daraus ergeben sich entweder weitere Handlungen mit erwünschten bzw. unerwünschten Wirkungen, oder Umstände, also Gelegenheiten, die der Einflussnahme des Akteurs entzogen sind.

In der Regel sind es die finanziellen Folgen von Entscheidungen, die von Interesse sind. Es lassen sich jedoch auch Personenschäden einbeziehen, ohne diese finanziell zu bewerten, da es letztendlich um einen Vergleich geht (Schneider, 1996)

Graphisch werden Handlungen als mögliche Aktionen des Entscheidenden, mit einem quaderförmigen Symbol dargestellt. Umstände werden als punktförmiges Symbol abgebildet. Man nennt sie auch Zufallspunkte. Sie stellen die mögliche Aktion des "Gegners" dar.

Als "Gegner" treten die Welt, die Natur etc. auf. Der Gegner ist meist neutral. Die "Aktionen des Gegners" sind nichts Kompliziertes, es sind z.B.: die "Zustände der Welt". Sie zu finden ist mit Phantasie und Vorstellungskraft verbunden und ist nicht immer einfach (Schneider, 1996).

Folgendes Beispiel (Abbildung 14) ist ein sogenanntes Basis-Entscheidungsdilemma. Es umfasst 2 Optionen wobei die Handlung 1 als sicher gilt.

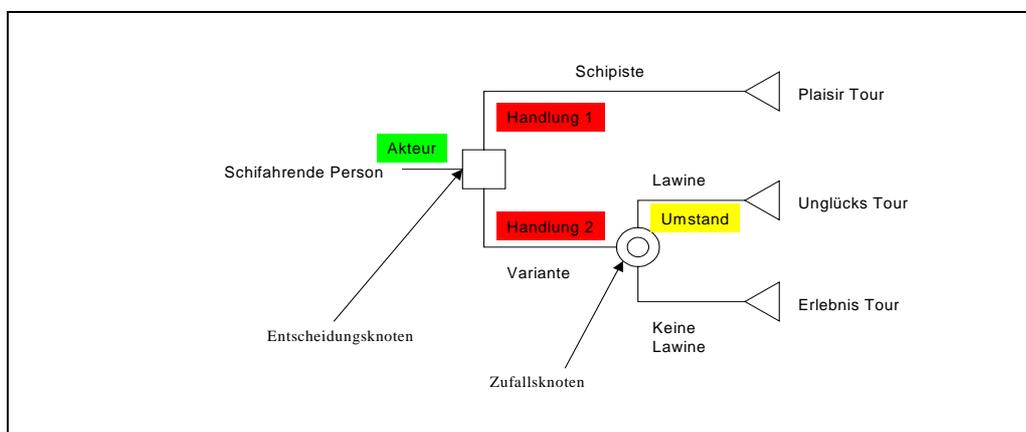


Abbildung 14: Entscheidungsbaum, Beispiel Schifahrer (nicht quantifiziert).

Der Schifahrer in Abbildung 14 entscheidet sich zunächst (bewusst), ob er den organisierten oder freien Schiraum betritt. Letzteres kann durch Zufallsentscheidungen unterschiedliche Wirkungen hervorrufen. In diesem Beispiel ist es die Lawinengefahr. Sie wird im organisiertem Schiraum ausgeschlossen.

B.4. RISIKOBEWERTUNG

Die Risikobewertung beschäftigt sich mit der Frage „Was darf passieren“, oder „Wie sicher ist sicher

genug?“ (Schneider, 1980). Die Beantwortung dieser Frage definiert das akzeptierte Risiko, das toleriert werden kann.

Die Größe des tolerierbaren Risikos ist einerseits vom Grad der Selbstbestimmung und andererseits vom auslösenden Faktor abhängig. Die Abbildung 15 versucht diese Abhängigkeit der Risikoakzeptanz vom Selbstbestimmungsgrad und dem auslösenden Faktor darzustellen (Technisches Risikomanagement, 2001):

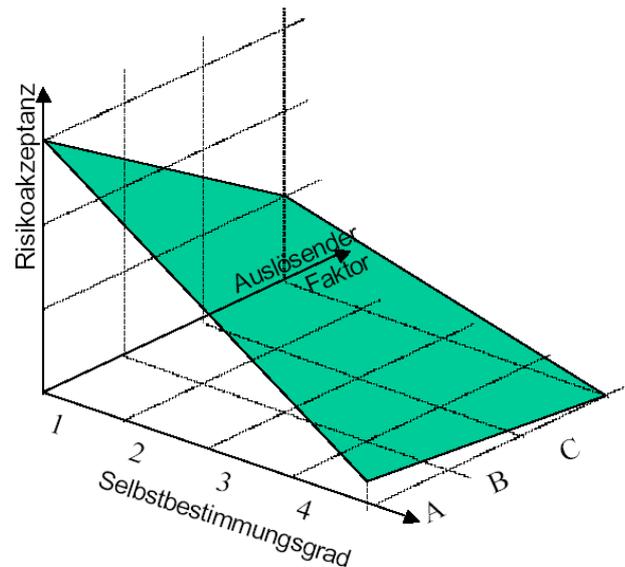


Abbildung 15: Risikoakzeptanz

Dem auslösenden Faktor wird dabei eine von drei Kategorien zugeordnet, die sich dadurch unterscheiden, wer die Auslösung herbeigeführt hat. Kategorie A entspricht dabei einer durch eigenes Verhalten, B einer durch fremdes Verhalten und C einer durch technische Fehler verursachten Situation. Bei der Selbstbestimmung können verschiedene Grade unterschieden werden: von freiwillig (1) über große (2) bzw. kleine (3) Selbstbestimmung zur unfreiwilligen Handlung (4). Je nach Selbstbestimmungsgrad und verursachenden Faktor ist die Bereitschaft, ein Risiko zu akzeptieren, unterschiedlich. Eine Person ist kaum bereit ein Risiko zu akzeptieren, ist sie mit einer Situation konfrontiert, in der ein Ereignis durch einen technischen Fehler verursacht wurde und die Situation unfreiwillig in Kauf genommen werden musste. Hingegen werden bei freiwillige Situationen mit selbstverschuldeten Verhalten große Risiken akzeptiert (Technisches Risikomanagement, 2001).

Gesellschaftlich ist das tolerierbare Risiko umso geringer, je geringer der Selbstbestimmungsgrad ist, mit der sich eine Person in der betreffenden Situation befindet. Die Festlegung eines solchen Wertes ist eine sozi-politische Entscheidung.

Die Forderung nach dem Wert Null für das tolerierbare Risiko ist nicht realisierbar, da durch



Maßnahmen die Gefahrenwahrscheinlichkeit zwar minimiert, aber nie auf Null gebracht werden kann (Salm, 1993). Die einzige Möglichkeit, durch Maßnahmen ein Restrisiko von Null zu erreichen, wäre eine räumliche, absolute Trennung von Gefahrengebieten und Objekten zu bewirken, was gesellschaftlich schwierig bis nicht umsetzbar ist, da die Nutzung von Gebieten als Siedlungsraum lange zurückreicht und eigentlich eine lange Tradition mit dem Umgang von Restrisiken besteht. Der heutige Lebensstandard und damit unter anderem der hohe Ausbaustandard der Infrastruktur führt auch zu einer hohen Empfindlichkeit und damit Verletzlichkeit gegenüber Naturgefahren (Kienholz, 1993). Durch vermehrten Tourismus wird das Risiko insofern erhöht, da aufgrund der Wertschöpfung und der Ausbreitung des Siedlungsraums eine Erhöhung des Objektwertes bewirkt wurde bzw. sich vermehrt Personen im Gefahrenbereich aufhalten, was zu einer Erhöhung der Präsenzwahrscheinlichkeit und somit zu einer Erhöhung der Schadenshäufigkeit, aber auch des potentiellen Schadensausmaßes führt.

Als Beispiel für die Definition eines tolerierbaren Risikos sind die Kriterien für die Festlegung der Zonen des Gefahrenbereichs erwähnt. Dabei werden aufgrund der Wahrscheinlichkeit des Eintretens einer Gefahr (Kriterium - Wiederkehrdauer) und des Ausmaßes der Gefahr (Kriterium - Druckgrenze) räumliche Bereiche ausgewiesen. In den so entstandenen Zonen ist nur mehr eine bestimmte Nutzung zulässig, womit direkt auf die Präsenzwahrscheinlichkeit eingegriffen wird. Mit diesen Kriterien wird das Risiko nach oben hin begrenzt. Diese obere Schranke entspricht dem politisch festgelegten – tolerierbaren Risiko.

B.5. RISIKOMANAGEMENT

Als Möglichkeit für den Umgang mit Risiken bieten sich Schutzmaßnahmen an. Der zeitliche Betrachtungshorizont ist dabei maßgeblich für die Wahl einer Schutzmaßnahme mit kurz- bzw. langfristigen Wirkungszeitraum. Die Wirkung der einzelnen Maßnahme kann entweder passiv, durch Einwirkung auf die Raumnutzung oder aktiv, durch Einwirkung auf die Lawinen erfolgen. Dementsprechend ergeben sich je nach Wirkungskonzept und Betrachtungszeit verschiedene Schutzstrategien (Wilhelm, 1997).

Ist das bestehende Risiko kleiner als das höchste, vertretbare Risiko, so kann bereits von Erreichung einer Sicherheit gesprochen werden, da keine Schutzdefizite vorhanden sind. Ist aber das Ausgangsrisiko ohne Maßnahme größer als das tolerierbare Risiko, so besteht eine Gefahr aufgrund eines Schutzdefizits, das Handlungsbedarf im Rahmen des Risikomanagements hervorruft. Die Aufgabe des Risikomanagements ist nun, Lösungen zu entwickeln und umzusetzen, die eine Verminderung des Risikos auf das angestrebte tolerierbare Risiko ermöglichen. Dies beinhaltet eine Definition eines Schutzkonzeptes, das eine Strategie zur Erreichung der Schutzziele darstellt (Hübl, 2001). In Abbildung 16 ist dargestellt, wie durch Auswahl einer Maßnahme Sicherheit erreicht werden kann. Das trotz der Maßnahme verbleibende Risiko wird als Restrisiko bezeichnet.

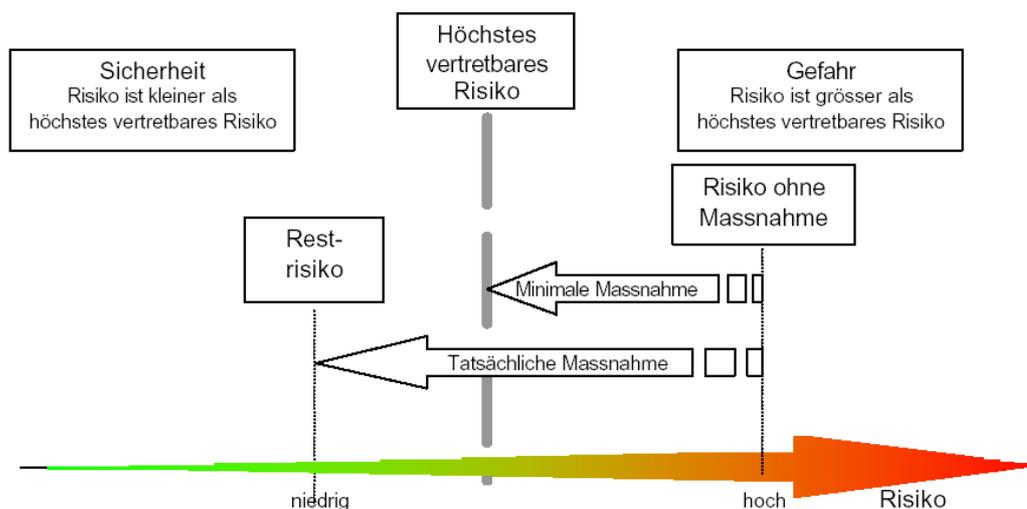


Abbildung 16: Sicherheit und Gefahr (Technisches Risikomanagement, 2001)

Die unterschiedlichen Lösungsvarianten bergen unterschiedliches Risikopotential, das sich aus dem nach der Umsetzung einer Maßnahme verbleibenden Restrisiko ergibt. Dabei ist möglich, dass zwei Maßnahmen für das jeweilige Untersuchungsgebiet zur selben Risikoverminderung führen, indem die bei der jeweiligen Maßnahme verbleibenden Restrisiken gleich groß sind. Für die Entscheidungsfindung, welche der Handlungsalternativen zu wählen ist, sollte zusätzlich zum schutztechnischen Aspekt als Entscheidungskriterium der Aufwand für die Umsetzung herangezogen werden. Prinzipiell sollte das

Bestreben des Risikomanagements sein, eine risikoeffiziente Lösung zu finden.

Eine risikoeffiziente Lösung zeichnet sich dadurch aus, dass das Risiko dieser Lösung nur mit höherem Aufwand gesenkt resp. der niedrigere Aufwand nur mit höherem Risiko erkaufte werden kann.

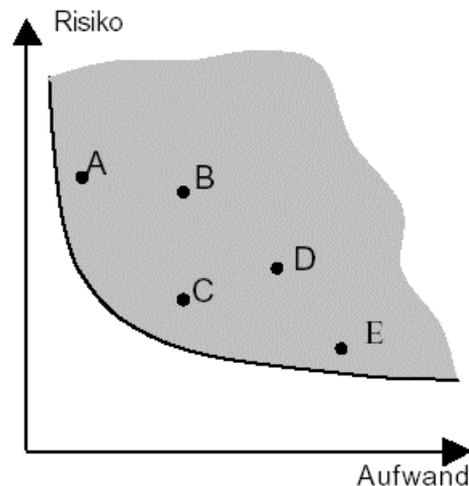


Abbildung 17: Lösungsvarianten für ein Risikoproblem

Man erhält also eine Menge von Lösungsvarianten, welche durch eine offene Kurve begrenzt ist (Abbildung 17). Die Punkte auf der Begrenzungskurve stellen die Menge der risikoeffizienten Lösungen dar. Daher ist eine weitere Aufgabe des Risikomanagements, Lösungsvarianten auszuarbeiten, die möglichst effizient sind (Technischen Risikomanagement, 2001).

Im Rahmen des Risikomanagements muss also eine Entscheidung für ein bestimmtes Schutzkonzept getroffen werden. Aus entscheidungstheoretischer Sicht setzt sich ein Entscheidungsproblem aus dem Aktionsraum, der die möglichen Handlungsalternativen enthält, dem Zustandsraum, der durch die Umweltzustände gebildet wird und dem Ergebnisraum, der die möglichen Ergebnisse bei Wahl einer Handlungsalternative und Eintritt eines Systemzustands darstellt, zusammen. Je nach Wissensstand unterscheidet man Entscheidungen bei Sicherheit, bei Unsicherheit oder bei Risiko. Bei Entscheidung bei Sicherheit steht für jede Aktion der Realisationsgrad für alle Zielgrößen eindeutig fest (Vollkommene Information). Bei der Entscheidung liegt nur ein möglicher Umweltzustand vor. Im Gegensatz dazu gibt es bei Entscheidungen für Unsicherheiten unterschiedliche Umweltzustände, jedoch sind dem Entscheidungsträger die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten der relevanten Umweltzustände unbekannt. Hat der Entscheidungsträger eine Entscheidung bei Risiko zu treffen, so berücksichtigt er in seinem Entscheidungsprozess die objektive oder subjektive Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten der möglicher Umweltzustände.



		Umweltzustände					
		s_1	s_2	.....	s_j	.....	s_m
Handlungsalternativen	a_1	e_{11}	e_{12}	.....	e_{1j}	.....	e_{1m}
	a_2	e_{21}	e_{22}	.....	e_{2j}	.....	e_{2m}
	:	:	:	:	:
	a_i	e_{i1}	e_{i2}	.....	e_{ij}	.....	e_{im}
	:	:	:	:	:
	a_n	e_{n1}	e_{n2}	.....	e_{nj}	.....	e_{nm}

Abbildung 18: Ergebnismatrix als Basis für die Entscheidungsfindung

Mögliche Umweltzustände sind das Eintreten einer Lawine eines bestimmten Ausmaßes, die Spalte der Handlungsalternativen beinhaltet die Menge der möglichen Maßnahmen. In den Feldern der Matrix werden die Ergebnisse, also die Auswirkung der jeweiligen Maßnahme bei dem bestimmten Umweltzustand angeführt. Die Analyse der Ergebnismatrix führt unter Berücksichtigung von Entscheidungskriterien zur Wahl einer der angeführten Handlungsalternativen (Abbildung 18).

Im gesamtwirtschaftlichen Kontext können die im Zusammenhang mit dem Lawinenschutz entstehenden Kosten zusätzlich zur optimalen Sicherheit als Entscheidungskriterium herangezogen werden, die in zwei Komponenten unterteilt werden:

- Schadenskosten (Personen- oder Sachschäden, indirekte Schadensfolgen)
- Maßnahmenkosten (Schutzaufwand, Folgekosten, negative externe Effekte)

Zum Schutz eingesetzte Maßnahmen führen zu Maßnahmenkosten und vermindern das Risiko, in dem die Schadenskosten bzw. die Wahrscheinlichkeit eines Schadens gesenkt werden. Der prinzipielle Verlauf der Schadenskosten und der Maßnahmenkosten in Funktion der Risikoverminderung ist durch zwei Gesetzmäßigkeiten bestimmt. Die Addition von Maßnahmen- und Schadenskosten ergibt die Gesamtkostenfunktion. Vor der Setzung der Maßnahme besteht ein Ausgangszustand A_0 , der durch das Risikoniveau R_0 und die Gesamtkosten K_0 gekennzeichnet ist. Indem Maßnahmen getätigt werden, wird das Risiko vermindert.

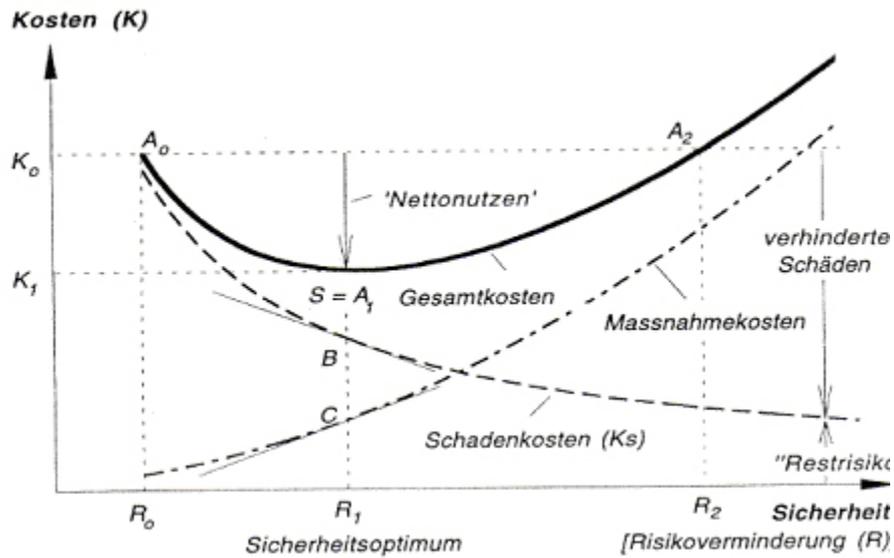


Abbildung 19: Zusammenhang Kosten und Risikoverminderung bei Lawinenschutzmaßnahmen (Wilhelm, 1997)

Die Maßnahmenkosten steigen mit zunehmender Risikoverminderung exponentiell an, d.h. je höher das erreichte Sicherheitsniveau, umso höher werden sich die aufzuwendenden Maßnahmengrenzkosten für eine weitere Risikoverminderungseinheit belaufen. Der steigende Aufwand bildet die asymptotische Annäherung an eine ‚absolute‘ Sicherheit. Hingegen fallen die hohen Schadenskosten im Ausgangszustand bei steigender Risikominderung ab. Wird als Zielsetzung Kostenminimierung angestrebt, so ergibt sich ein Sicherheitsoptimum S mit entsprechendem Risikoniveau, dort wo die Gesamtkosten minimal werden (Wilhelm, 1997).

B.6. ZUSAMMENFASSUNG

In den vorigen Abschnitten wurde versucht, verschiedene Ansätze im Bereich der Risikoforschung darzustellen. Die Verminderung des Risikos ist durch Eingriffe auf der Objektseite (passive Maßnahmen) oder durch Eingriffe in der Gefahrenseite (aktive Maßnahmen) möglich. Für die Entscheidungen im Umgang mit Risiken spielen neben der technischen Seite, Risikoverminderung durch Maßnahmen um einen bestimmten Prozentsatz, zusätzliche Faktoren eine Rolle, die den gesellschaftlichen Umgang mit Risiken widerspiegeln und deren Einfluss im Rahmen der Risikobewertung in einem breiten Rahmen behandelt werden muss.

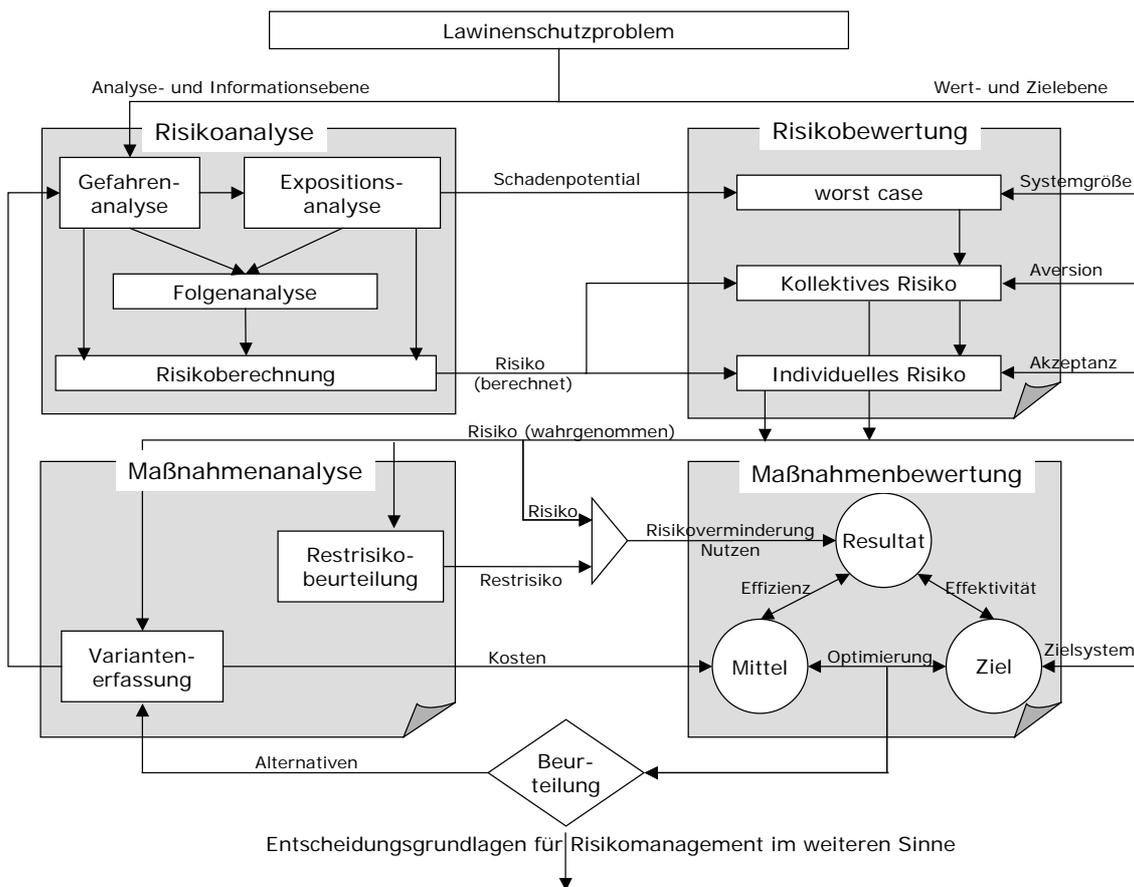


Abbildung 20: Überblick über Risikomanagement – Prozess im Lawinenschutz (Wilhelm, 1999)

Die Ermittlung des zu akzeptierenden Risikos ist nicht primär ein fachliches, sondern vor allem ein politisches Problem. Der Sachverständige hat im Rahmen der Risikoanalyse korrekte, auf eine objektiv nachvollziehbare Weise basierende Entscheidungsgrundlagen zu liefern (Kienholz, 1993). Die Ergebnisse der Risikoanalyse und Risikobewertung bilden die Grundlagen für die Maßnahmenanalyse, die wiederum die Entscheidungsgrundlagen für ein Risikomanagement im weiteren Sinne liefert (vgl. Abbildung 20).

Im Rahmen dieses Berichts sollen nun Methoden dargestellt werden, die als Vorschlag für die Erfassung des Risikos mit und ohne Schutzmaßnahmen im Rahmen der Sicherung eines Schigebiets gesehen werden können. Die Fällung eines politischen Ermessensentscheid über das tolerierbare Risiko

und das Aufstellen entsprechender Normen liegt jedoch im Zuständigkeitsbereich des Staates.

C.1. LAWINENKLASSIFIKATION

Die mit Lawinen zusammenhängenden Beobachtungen lassen sich aufteilen in Feststellungen, die sich auf die äußere Erscheinung der Lawinen beziehen, und solche, die mit den Bildungsbedingungen zu tun haben. Man unterscheidet dementsprechend eine Klassifikation der Erscheinungsform (*Morphologische Klassifikation*) und eine Klassifikation nach Bildungsbedingungen (*Genetische Klassifikation*).

C.1.1. MORPHOLOGISCHE LAWINENKLASSIFIKATION

Aufgrund von rein äußerlich beobachteten Merkmalen kann jede Lawine im Anbruchgebiet, in der Sturzbahn und im Ablagerungsgebiet klassifiziert werden. Die internationale Lawinenklassifikation beruht auf der Beschreibung der Lawinen aufgrund von morphologischen, rein äußerlich bestimmbar Merkmalen. Die Bedeutung der Klassifikation liegt darin, ein Lawinenereignis mit einfachen Mitteln so zu beschreiben, dass alle wesentlichen Parameter festgehalten werden.

Zone	Kriterium	Alternative Merkmale Bezeichnung	
Anrißgebiet	Form des Anrisses:	Von einem Punkt ausgehend: Lockerschneelawine	Von einer Linie anreißend: Schneebrettlawine
	Lage der Gleitfläche:	Innerhalb der Schneedecke: Oberlawine	Auf der Bodenoberfläche: Bodenlawine
	Feuchte des Lawinenschnees:	Trocken: Trockenschneelawine	Nass: Nassschneelawine
Sturzbahn	Form der Sturzbahn:	Flächig: Flächenlawine	Runsenförmig: Runsenlawine
	Form der Bewegung:	Stiebend als Schneewolke durch die Luft: Staublawine	Fließend, dem Boden folgend: FlieBlawine
Ablagerungsgebiet	Oberflächenrauigkeit der Ablagerung:	Grob: <i>Grobe Ablagerung</i>	Fein: <i>Feine Ablagerung</i>
	Feuchte der Ablagerung:	Trocken: <i>Trockene Ablagerung</i>	Nass: <i>Nasse Ablagerung</i>
	Fremdmaterial in der Ablagerung:	Fehlend: <i>Reine Ablagerung</i>	Vorhanden (Steine, Erde, Äste, Bäume): <i>Gemischte Ablagerung</i>

Tabelle 6: International gebräuchliche Lawinenklassifikation (aus: Gubler, 1999)

Zu dem in Tabelle 6 dargestellten Klassifikationsschema bedarf es einiger Bemerkungen. Die Merkmale einer Lawine sind beim Ablauf durch die verschiedenen Zonen weitgehend unabhängig



voneinander. Eine Staublawine kann sowohl aus einer Lockerschneelawine wie aus einer Schneebrettlawine entstehen. Die Bewegungsform in der Sturzbahn ist also unabhängig von der Form des Anrisses, allerdings gibt es auch Merkmale, die sich ausschließen, wie z. B. eine Staublawine, die aus nassem Lockerschnee besteht oder eine grobe Ablagerung aufweist.

Mischformen bei Staub- und Fließlawinen, wo je nach vorherrschender Komponente eine Bezeichnung Staublawine mit Fließanteil oder Fließlawine mit Staubanteil zu verwenden ist, sind in bestimmten Situationen ebenfalls möglich (Gubler, 1999).

Es fällt auf, dass die Grundlawinen in der Klassifikation nicht aufscheinen, weil sie durch eine bestimmte Kombination von Merkmalen definiert sind (*„eine nasse, mit Fremdmaterial durchsetzte Frühjahrlawine in meist runsenförmiger Sturzbahn“*).

Neben den in der Lawinenklassifikation angeführten Formen treten noch zwei Arten von Lawinen mit den selben Merkmalen auf, die jedoch eine ganz andere Größenordnung hinsichtlich ihrer Ausdehnung und Häufigkeit des Vorkommens aufweisen:

- „Hanglawinen“ oder „Skifahrerlawinen“ mit geringen Schneemassen, kurzen Sturzbahnen und vorwiegend fließender Bewegungsform, die jeden Winter auftreten.
- „Großlawinen“ oder „Katastrophenlawinen“ mit großen, beteiligten Schneemassen und langen Sturzbahnen. Diese stoßen meist bis auf die Talböden vor, gefährden dabei Siedlungen und Verkehrswege und treten eher selten auf (durchschnittlich alle 10-30 Jahre, bei extremen Großlawinen gar bis in die Größenordnung von 100 Jahren).

C.1.2. GENETISCHE LAWINENKLASSIFIKATION

Nachfolgend sind die bei der Lawinenbildung maßgebenden Faktoren isoliert in ihrer Bedeutung übersichtlich dargestellt.

Neuschneesumme in 3 Tagen (cm)	Lawinenbildung
bis 10	Seltene, sehr lokale Schneebewegungen (meist Lockerschneelawinen).
10—30	Gelegentliche örtliche Schneebrettbildungen. Häufige Lockerschneelawinen.
30—50	Häufige örtliche Schneebrettlawinen, meist an steileren Hängen (> 35°).
50—80	Weitverbreitete Schneebrettlawinen auch an schwach geneigten Hängen (> 25—30°). Allgemeine Gefahr oberhalb der Waldgrenze. Vereinzelt grössere Lawinen bis in die Talsohle, meist in bekannten Zügen.
80—120	Häufige, grosse Lawinen bis in die Talsohle, gelegentlich auch ausserhalb bekannter Züge.
> 120	Aussergewöhnliche Verhältnisse. Seltene und bisher un- bekannte Grosslawinen möglich.

Tabelle 7: Zusammenhang zwischen Neuschneehöhe und Lawinenbildung (De Quervain, 1972)

Tabelle 7 stellt den Zusammenhang zwischen Neuschneehöhe und Lawinenbildung dar. Die angegebenen Richtwerte für die 3 Tages – Neuschneesumme sind gültig bei Wind bis ca. 4m/s und bei Temperaturen von -2°C bis -10°C . Bei Temperaturen unter -10°C ist die Summierungsperiode eventuell auf 5 oder mehr Tage zu erstrecken. Bei Wind über 4m/s ist die Beurteilungsklasse für Lee-Expositionen je nach Geschwindigkeit und Dauer um 1–2 Stufen zu erhöhen.

Der Neuschneefall ist ein besonders wichtiger Faktor und bewirkt, abhängig von Zuwachsrate und Intensität eine progressive Zunahme der Lawinentendenz

<i>Bedingung</i>	<i>Wirkung auf Lawinenbildung</i>
<p><i>Rezentes Wetter</i> (3—5 Tage)</p> <p>— Neuschneefall</p> <p>Zuwachs und Intensität</p> <p>— Wind</p> <p>Geschwindigkeit, Dauer und Richtung</p> <p>— Lufttemperatur und Strahlungsbilanz (Wirkung über Schneetemperatur)</p>	<p>Progressive Zunahme der Lawinentendenz. Wichtigster Faktor! Vorw. Oberlawinen (siehe Spezialtabelle 621)</p> <p>Oertliche Schneebrettbildung</p> <p>verstärkt an Leehängen (Triebsschneeansammlungen) mit und ohne Schneefall. Wind ≥ 4 m/s.</p> <p>Mit steigender Schneetemperatur abnehmende Festigkeit und zunehmende Verformbarkeit. Wirkung komplex. Oft vorübergehend gesteigerte Lawinenaktivität (besonders bei Durchnässung). Tiefe Temperatur konserviert bestehende Situation. Sekundäre Temperaturwirkung: Schneenumwandlung.</p>
<p><i>Altschneeverhältnisse</i></p> <p>— Gesamtschneehöhe</p> <p>— Schichtung der Altschneedecke (Abbild der Winterentwicklung)</p>	<p>I.A. untergeordneter Faktor. Mit zunehmender Schneehöhe verminderter lawinenhemmender Einfluss der Bodenrauigkeit, evtl. erhöhte Lawinenkubatur bei Altschneeriss.</p> <p>Festigkeits-Entwicklung des Fundamentes und von Zwischenschichten (aufbauende Umwandlung, Oberflächenreif) massgebend für <i>Altschneeriss</i> (evtl. Lawinengefahr ohne Neuschneefall).</p>
<p><i>Auslösebedingungen</i></p> <p>— Natürliche Bildung</p> <p>— Auslösung durch Menschen</p>	<p>Spontane Lawine (ohne plötzliche Störung). Natürliche Auslösung (mit plötzlicher Störung).</p> <p>Unfallmässige Auslösung (unbeabsichtigt). Künstliche Auslösung (beabsichtigt).</p>

Tabelle 8: Zusammenstellung der genetischen Lawinenfaktoren (De Quervain, 1972)

Tabelle 8 zeigt eine Übersicht der Bildungsbedingungen und deren Wirkung auf die Lawinenbildung.

Eine Sonderstellung in der Klassifikation nimmt das *Gelände* (Tabelle 9) ein. Es bildet eine ortsfeste und zeitlich konstante Voraussetzung und bietet sowohl morphologische als auch genetische Aspekte.

C.2. LAWINEN – GEFÄHRLICHE PROZESSE

C.2.1. CHARAKTERISIERUNG DER ABBRUCHSMECHANISMEN

Lawinen können grundsätzlich ohne äußeres auslösendes Moment (spontan) oder durch ein auslösendes Moment (künstlich) ausgelöst werden. Man unterscheidet folgende Ursachen:

- Selbstausslösung infolge des Eigengewichtes der Schneedecke (Kombination von Niederschlagsmenge (Schneefall, Einwehungssituation, Neigungsverhältnisse, ..) und Niederschlagsintensität).
- Selbstausslösung infolge Stabilitätsverlust (Festigkeit, Schneedeckenaufbau (Strahlung und Exposition) und Meteorologie (zeitlich)).
- Künstliche Auslösung von Lawinen mittels technischer Hilfsmittel.
- Auslösung von Lawinen durch Skifahrer, Skitourengeher, etc. (Zunahme der Belastung).

Im Allgemeinen können hinsichtlich der Form des Anrisses Lockerschneelawinen und Schneebrettlawinen unterschieden werden.

C.2.1.1. Lockerschneelawinen

Bei einer Lockerschneelawine gerät, von einem oder nur wenigen Schneeteilchen ausgehend, eine mit der zurückgelegten Wegstrecke zunehmende Schneemasse in Bewegung. Voraussetzung dafür ist schwach gebundener Schnee, der ähnliche Eigenschaften hat wie trockener Sand, ein sogenanntes kohäsionsarmes Material. Im Gegensatz zur Schneebrettlawine können hier keine Kräfte über größere Strecken übertragen werden. Die Lawinenbildung geht auch immer vom sichtbaren Anfang der Bewegung aus. Mechanisch hat man es sich so vorzustellen, dass zu Beginn ein Schneeteilchen oder ein Stein auf untenliegende Schneeteilchen fällt. Diese werden losgerissen und lösen ihrerseits eine größere Anzahl Teilchen und diese dann wiederum eine noch größere Anzahl usw. Die Bewegung pflanzt sich fort und verstärkt sich solange, wie die zur Verfügung stehende Bewegungsenergie größer ist als die zu leistende Arbeit zur Überwindung der Reibung und Loslösung von weiteren Schneeteilchen (Salm, 1990).

Lockerschneelawinen verlangen wegen der zur Fortpflanzung der Bewegung notwendigen Energie etwas höhere Hangneigungen als Schneebrettlawinen. Ein häufiges Auftreten wird bei etwa 40° - 60° beobachtet.

Bezüglich der Schneekonsistenz unterscheidet man trockene und nasse Lockerschneelawinen:

C.2.1.1.1. Trockene Lockerschneelawine

Diese entsteht einerseits bei trockenem Neuschnee, wenn nach dem Schneefall die Gefügeverzahnung



der Neuschneekristalle durch die abbauende Metamorphose, welche bei Erwärmung (Sonnenbestrahlung) beschleunigt wird, verloren geht. Es wird ein Minimum der Festigkeit erreicht, d.h. nach Abbau der Kornverzahnungen, aber bevor neue Kornverbindungen gebildet werden.

Andererseits kann an schattigen Hängen durch die aufbauende Umwandlung eine lockere Oberflächenschicht und daraus eine trockene Lockerschneelawine entstehen.

C.2.1.1.2. Nasse Lockerschneelawine

Wenn Neuschnee unter starke Sonnenbestrahlung und Erwärmung gerät, führt die oberflächliche Durchnässung zur Bildung einer nassen Lockerschneelawine. In grobkörnigem Altschnee (Frühjahr – Sommer) führt die Durchnässung dazu, dass Kornbindungen verloren gehen; es bildet sich ebenfalls eine nasse Lockerschneelawine.

C.2.1.2. Schneebrettlawinen

Bei einer Schneebrettlawine bricht eine ganze „Schneetafel“ ab. Damit dies möglich ist, müssen festere Schneeschichten vorhanden sein, welche in der Lage sind, Kräfte über größere Strecken zu übertragen. Andererseits muss sich aber darunter eine ausgeprägte schwächere Schicht befinden, in welcher sich die Tafel ablösen kann. Der Bruchvorgang hat seinen Ursprung meist in einer kleinen Fläche, in der die wirkende Kraft so groß wie die betreffende Festigkeit geworden ist. Von dort aus, wo sich der sogenannte Initialriss gebildet hat, pflanzen sich die Risse sehr rasch nach allen Seiten hin fort, bis die ganze Tafel losgelöst ist (Salm, 1990).

Diejenige Begrenzungsfläche der Schneetafel, über die sich der Initialriss fortpflanzt, wird primärer Riss genannt, weil es die erste Rissfläche ist, die sich bildet. Danach greift die Bruchfortpflanzung auf die restlichen Begrenzungsflächen über: es entstehen sekundäre Risse. Deren Lage ist vor allem geländebedingt. Sie entstehen etwa bei abnehmender Hangneigung, wo die erhöhte Stabilität eine Ablösung der Schicht nicht mehr gestattet, oder an seitlichen Geländerippen.

Nach vollständiger Ablösung des Schneebrettes gleitet dieses unter Überwindung der Reibung ab. Es ist immer möglich, dass der beschriebene Ablauf unterbrochen wird und es nur zur Rissbildung, aber nicht zur Lawine kommt. So kann z.B. die sekundäre Rissbildung infolge zu hoher Festigkeit unterbunden werden, oder das Abgleiten nach der vollständigen Rissbildung kann wegen zu hohen Reibungskräften in der Gleitfläche nicht stattfinden.

Es ist noch zu erwähnen, dass es noch einen Entstehungsmechanismus gibt, der von den bisher dargelegten vollständig verschieden ist: den Abbruch aus der Gleitbewegung zwischen Bodenoberfläche und dem Schnee. Hier entsteht die Ablösung der Schneetafel nicht aus einem Initialriss und dessen



Fortpflanzung, sondern aus einer einsetzenden starken Beschleunigung des Gleitens gleichzeitig über eine ganze Schneetafel. Die erhöhte Belastung der Schneedecke durch Skifahrer kann einen solchen Vorgang nicht aktivieren.

Schneebrettlawinen treten am häufigsten bei Hangneigungen zwischen 30° und 50° auf. Möglich sind sie ab einer Hangneigung von etwa 25° . Bei Neigungen oberhalb von 50° sind sie wegen der häufigen Entladung durch Lockerschneelawinen während Schneefällen selten. Es kann daher nicht viel Schnee abgelagert werden oder dann nur in gestörter Form (keine durchgehenden schwachen Schichten, welche eine Bruchfortpflanzung ermöglichen). Andererseits kann bei Gelände an der unteren Grenze des Neigungsbereichs (also um 30°) sehr viel Schnee abgelagert werden, bis es zur Lawinenbildung kommt. Die Folgen sind dann große Anrisshöhen, also große aber seltene Lawinen, welche Katastrophen hervorrufen können (Salm, 1990).

Es wird wiederum zwischen trockenen und nassen Schneebrettlawinen unterschieden:

C.2.1.2.1. Trockene Schneebrettlawine (McClung, et al., 1993)

Das Auftreten von trockenen Schneebrettlawinen ist durch folgende Bedingungen bzw. Eigenschaften gekennzeichnet:

- Hangneigung zwischen 25° und 55° .
- Schneemächtigkeit von 10cm bis 200cm. Dabei ist anzumerken, dass bereits Schichten $>10\text{cm}$ bei einem Abgang einer Schneebrettlawine für Skifahrer gefährlich werden können.
- Die durchschnittliche Schneedichte liegt in einem Bereich von 100kg/m^3 bis 350kg/m^3 . Generell bestehen der Grossteil der Schneebretter aus kohäsivem windgepackten oder verfestigtem Schnee.
- Dichte der Schwachschicht. Messungen haben gezeigt, dass die Dichte in der Schwachschicht in etwa 20% höher ist, als die durchschnittliche Schneedichte.
- Die Schneehärte schwankt zwischen sehr weich (Handtest – Eindrücken einer Faust) und hart (Handtest – Bleistift).
- Schnee- und Schichttemperatur. Diese liegt in einem Bereich von -10°C bis 0°C , wobei in den meisten Fällen die Schwachschichten eine Temperatur von $-2,5^\circ$ bis $-5,0^\circ\text{C}$ aufweisen.
- Stratigraphie und Form der Schwachschicht.

C.2.1.2.2. Nasse Schneebrettlawine (McClung, et al., 1993)

Grundsätzlich können bei der Entstehung von nassen Schneebrettlawinen drei Mechanismen unterschieden werden:

- (1) Belastung durch neuen Niederschlag (Regen)
- (2) Änderungen in der Festigkeit einer eingegrabenen Schicht aufgrund des Wassers
- (3) Ansammlung von Feuchtigkeit (Durchnässung) in der Gleitfläche, die teilweise oder total wasserundurchlässig ist.

Bei den Fällen (2) und (3) gilt: das Wasser entsteht entweder durch Schmelzen oder durch Regen. Ist die Gleitfläche in Bodennähe, kann die gespeicherte oder geothermische Wärme die Wasserproduktion unterstützen. Diese Mechanismen sind von der Schneedeckenstruktur und der Zufuhr und Speicherung von Wasser abhängig.

Kurz nach dem Regen oder falls sich in der Schneedecke einer der drei oben angeführten Mechanismen ereignen, sind Sprengungen abhängig vom Einsatzzeitpunkt. Falls eine Durchnässung der Schneedecke erfolgt ist, wird eine künstliche Auslösung der Lawine erschwert bzw. unmöglich, da die Scherbruchfortpflanzung in nassem Schnee viel mehr Energie als in trockenem Schnee erfordert.

Falls das Wasser eine Schwachschicht erreicht, wird die Festigkeit dieser Schicht reduziert. Die Festigkeit von nassem Schnee verringert sich mit steigendem Wassergehalt. Falls das Wasser eine undurchlässige Schicht in der Schneedecke oder den Boden erreicht, kann das Brett ins Rutschen kommen und die Reibung reduziert werden. Falls die Gleitfläche sich innerhalb der Schneedecke befindet (etwa vergrabene Eisschicht), kann dies eine nasse Schneebrettauslösung durch die Formierung eines Zugbruchs aufgrund von Reibungsreduktion zur Folge haben. Wasser auf glattem Untergrund führt ebenfalls zur einer Verringerung der Reibung und zu einer Erhöhung der Gleitraten. Dafür sind folgende Mechanismen bestimmend:

- Schneeviskosität in Bodennähe verringert sich aufgrund des erhöhten Wassergehalts und die Deformation der Schneedecke über die Bodenrauigkeiten wird vereinfacht (Grenzschichtkriechen).
- Bodenunebenheiten werden getränkt und ausgeglichen.

Das Resultat ist meistens ein Zugriss, der am Boden beginnt und sich senkrecht zum Boden in einem Winkel von 90° fortpflanzt. Sobald sich der Zugriss geöffnet hat, kommt es oft schnell zu einem Schneebrettanbruch. Im Gegensatz zu trockenen Schneebrettlawinen, bei denen der Abgang kurz nach dem Scherbruch erfolgt, kann die Lawine aber auch erst Tage oder Monate nach dem Zugriss ausgelöst werden.



Die Entstehung eines Gleitrisses verlangt eine Verringerung der Reibungsverhältnisse hangabwärts und quer zum Hang. Der Riss wird sich in jener Region ereignen, in der die Reibungsänderungen am größten sind. Konvexe Formen und wechselnde Bodenrauigkeiten begünstigen das Entstehen von Gleitrissen. Auch hinter Stufen im Fels treten sie häufig auf.

C.2.2. BEWEGUNG UND WIRKUNG VON LAWINEN

Die Lawinengeschwindigkeit, Lawinenschneedichte, Schneeart und Fließhöhe sind für die Beurteilung der Lawinenwirkung von Bedeutung. Die Fließhöhe und die Fließgeschwindigkeit werden durch die Eingangsparameter: Abbruchhöhe, Hangneigung, Schneetyp, Rauigkeit, Topographie und die Fläche des Abbruchsgebietes geprägt. Die Lawinenkräfte auf Objekte werden zusätzlich durch die Querschnittsfläche des Objekts senkrecht zur Lawinenfließrichtung und die geometrische Form des Objekts mitbestimmt (Gubler, 1999).

C.2.2.1. Lawinengeschwindigkeit

Lawinen könne sehr hohe Geschwindigkeiten erreichen. Sie werden umso schneller, je größer ihre Masse, je steiler die Sturzbahn und je lockerer (geringe Dichte) der Schnee ist.

Staublawine	30-70 m/s (250 km/h)
Trockene Fließlawine	20-40 m/s (150 km/h)
Nasse Fließlawine	10-20 m/s (70 km/h)

Tabelle 10: Zusammenfassung der Lawinengeschwindigkeiten (Lawinenhandbuch, 2000)

Die maximalen Geschwindigkeiten werden bei Staublawinen etwa in der Mitte der Ganghöhe, bei Fließlawinen an der Oberfläche erreicht. Neben der Fließmächtigkeit und der Hangneigung sind auch die Reibungsverhältnisse für die Fließgeschwindigkeit einer Lawine von Bedeutung.

C.2.2.2. Bewegungsformen

Beim Abbruch einer Schneebrettlawine zum Beispiel, tritt zunächst eine gleitende Bewegung ein, das Schneebrett zerbricht in einzelne Schollen, die bei anhaltender Bewegung in eine knollige, pulvrige oder breiige Masse übergehen. Mit einer Geschwindigkeitszunahme vom Boden zur Oberfläche der Lawine hin geht die Gleitbewegung in die schnellere Fließbewegung über, es kommt zur Ausprägung einer Fließlawine.

Die Fließbewegung wird in steilen Sturzbahnen infolge Luftaufnahme bald turbulent, wobei die Geschwindigkeit zunimmt. Bei Vorliegen eines trockenen, feinkörnigen Schnees beginnt sich ab etwa 10m/s der Schneestaub oberflächlich abzulösen, durch weitere Luftaufnahme bei anhaltender



Bewegung gelangen immer mehr Schneeteilchen in die Luft und es entsteht eine mächtige Schneestaubwolke, die Staublawine (Lawinenhandbuch, 2000).

Mischlawinen liegen vor, wenn fließende und stiebende Bewegungsformen kombiniert auftreten, wobei man von Trockenschneelawinen mit großem Fließanteil oder solchen mit großem Staubanteil spricht.

Wenn in der Luft so viele fein verteilte Schneeteilchen vorhanden sind, dass sich ihre Lufthüllen vereinigen, dann fällt die innere Reibung zwischen den Schneepartikeln weg und es ist lediglich die äußere Reibung der „Wolke“ an der sie umgebenden Luft wirksam. Daraus, und aus dem Wegfall der Bodenreibung resultieren die hohen Geschwindigkeiten von Staublawinen. Durch das Abheben der Staublawine von der Bodenoberfläche üben das Relief und die Hangneigung keinen Einfluss mehr aus. Typische Schneedichten in Staublawinen betragen zwischen 2kg/m^3 und 15kg/m^3 , wobei der oberste Rand des aufgewirbelten Schnees bis zu 200m über dem Boden liegen kann.

C.2.2.3. Einfluss der Sturzbahnform

Es kann grundsätzlich zwischen Flächenlawinen (gleichförmig oder ungleichförmig), Runsenlawinen und kanalisierten Lawinen unterschieden werden. Bei Flächenlawinen, deren Breite vom Anbruchgebiet bis zum Ablagerungsgebiet annähernd gleich bleibt, kommt es nur selten zu einer Konzentration in der Sturzbahn. Dies bedingt geringere Fließgeschwindigkeiten und damit verbunden geringere Auslauflängen. Die meisten Hänge weisen jedoch kleine Mulden und Rücken auf, wodurch gleichförmige Flächenlawinen nur selten anzutreffen sind.

Runsenlawinen mit einer deutlichen Verengung in der Sturzbahn weisen größere Fließhöhen und höhere Geschwindigkeiten auf. Bei trockenem Schnee kommt es durch die hohen Geschwindigkeiten zu einer starken Aufwirbelung und damit bedingt zu einer größeren Reichweite, sowohl des Fließanteils wie auch des Staubanteils.

Kanalisierte Lawinen erfahren durch die extreme Querschnittsverengung in der Sturzbahn eine Richtungsänderung. Sie weisen sehr hohe Geschwindigkeiten und beträchtliche Auslauflängen auf.

C.2.2.4. Lawinenkräfte

Lawinen erreichen in Abhängigkeit von Geschwindigkeit, Schneedichte, Form der Lawinenbahn und der Art des Hindernisses sehr hohe Kraftwirkungen. Derzeit liegen aufgrund der Schwierigkeit der Messungen nur wenige Messergebnisse von Lawinenkräften vor. Diese erhobenen Lawinendrucke bewegen sich in einer Größenordnung von einigen KN/m^2 bis zu 1000KN/m^2 .

Mit dem zu erwartenden Lawinendruck eng verbunden ist die mittlere Frequenz f (pro Jahr) mit der dieser Druck erreicht oder überschritten wird, oder die mittlere Wiederkehrdauer W in Jahren ($W = 1/f$). Auf die Wiederkehrdauer wird jedoch später in einem Kapitel noch näher eingegangen.

Mit folgenden Formeln kann der Druck einer Lawine bei frontalem Stau (Gleichung 3), bzw. der Druck auf ein umströmtes Hindernis (Gleichung 4) ermittelt werden (De Quervain, 1975):

$$p = \rho * v^2 \quad \text{Gleichung 3}$$

$$p = c * \frac{\rho}{2} * v^2 \quad \text{Gleichung 4}$$

p Druck in N/m²

c Formfaktor (ca. 0,5 bis 2,0) je nach Form des umströmten Objektes

ρ Dichte in kg/m³

v Geschwindigkeit der Lawine in m/s

Die Kraftwirkung von Staublawinen auf ein umströmtes Hindernis wird hingegen wie eine Windlast berechnet (Gleichung 5):

$$p = c_w * \frac{\rho * v^2}{2} * F \quad \text{Gleichung 5}$$

c_w Widerstandskoeffizient, abhängig von der Form des Hindernisses und von der Reynolds-Zahl

F Schattenquerschnitt

De Quervain (1975) gibt dabei zu bedenken, dass bei hoher Geschwindigkeit auch Stoßwellenwirkungen in Betracht zu ziehen sind.

Staublawinen weisen eine Dichte von 2-15kg/m³ auf, jene der trockenen Fließlawinen liegt zwischen 50 und 300kg/m³ und die Dichte der nassen Fließlawinen beträgt 300-400kg/m³.

In Stoßrichtung der Lawinen werden zum Beispiel Lawinendrucke zwischen 50 und 1000KN/m² erreicht, der senkrecht dazu wirkende Druck beträgt ½ bis ¼ jenes in Stoßrichtung und die einer Staublawine vorausseilende Luftdruckwelle weist Drücke von etwa 5KN/m² auf (Lawinenhandbuch, 2000).

C.3. LAWINENSCHUTZMASSNAHMEN IN ÖSTERREICH

Die folgende Beschreibung der Lawinenschutzmaßnahmen ist angelehnt an die Gliederung des Tiroler Lawinenhandbuches (Lawinenhandbuch, 1996). Sie stellen eine Übersicht der in Österreich vorkommenden Maßnahmen dar. Für die Bestimmung des Restrisiko im Zuge dieser Studie werden

jedoch nur schigebietsrelevante Maßnahmen gewählt.

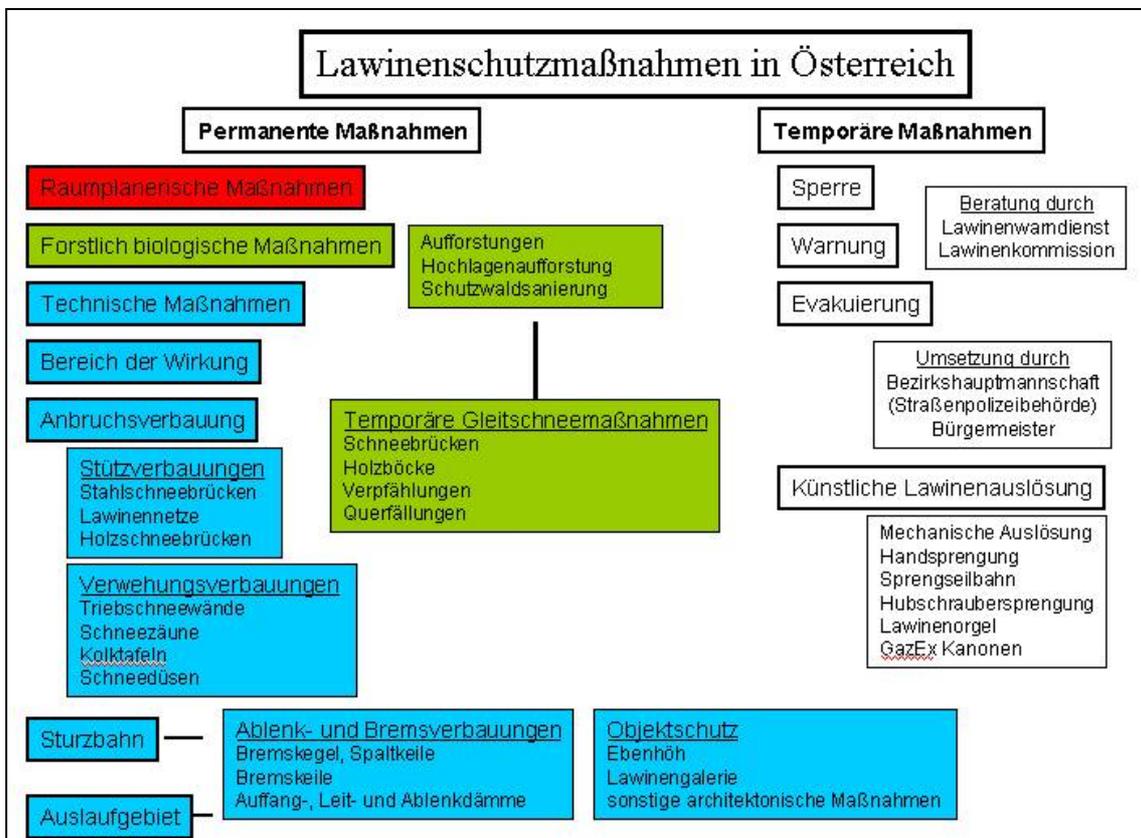


Abbildung 21: Lawinenschutzmaßnahmen in Österreich, (KREU, 2002)

C.3.1. PERMANENTER LAWINENSCHUTZ

Unter permanentem Lawinenschutz versteht man dauerhaft wirksame technische, forstliche und raumplanerische Maßnahmen, sowie die Aufklärung von betroffenen und interessierten Personenkreisen über Schnee und Lawinenvorgänge. Die Umsetzung der permanenten Lawinenschutzmaßnahmen werden vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung wahrgenommen (Lawinenhandbuch, 1996).

C.3.1.1. Technische Maßnahmen

Die technischen Lawinenverbauungsmaßnahmen werden nach dem Bereich ihrer Wirkung in Verbauungen des Anbruchgebietes, der Lawinensturzbahn und des Auslaufgebietes unterschieden (Lawinenhandbuch, 1996).

C.3.1.1.1. Anbruchgebiet

Für die Planung von Lawinenschutzmaßnahmen im Anbruchgebiet sind besonders die Höhe und Verteilung der Schneedecke unter dem Einfluss des Windes sowie der Wirkung des Reliefs und der Bestockung von Interesse.

Wie in den Richtlinien für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet (1990) festgelegt, wirkt die Stützverbauung dadurch, dass der kriechenden und der eventuell gleitenden Schneedecke eine nahezu senkrecht zum Hang stehende, im Boden verankerte und bis an die Schneeoberfläche reichende Stützfläche entgegengestellt wird. Dadurch entsteht eine Stauwirkung, d.h. die Kriech- und Gleitgeschwindigkeiten nehmen hangabwärts zum Hindernis stetig ab. Innerhalb der Stauzone, die praktisch über eine hangparallele Distanz von mindestens der dreifachen lotrechten Schneehöhe reicht (wesentlich abhängig von der Gleitbewegung), entstehen im Schnee zusätzliche hangparallele Druckspannungen. Diese werden von der Stützfläche aufgenommen, wodurch die im Staubereich liegenden vor der Abstützung vorhandenen schneebrettbildenden Scher- und eventuell Zugspannungen vermindert werden (Lawinenhandbuch, 1996).

Bei Anbrüchen verhindert die Stützverbauung das Mitreißen der Altschneedecke und beschränkt flächenmäßig das Gebiet, über welches sich Scherrisse fortpflanzen können. Durch die Bremswirkung der Werke wird die Geschwindigkeit – die für eine Schadenswirkung vor allem maßgebende Größe – in Schranken gehalten (Lawinenhandbuch, 1996).

C.3.1.1.1.1. Bautypen im Anbruchgebiet

Als Bautypen der Stützverbauungen kommen entweder **massive oder gegliederte Werke** zum Einsatz.

Massive Bauwerke sind **Erd- und Mauerterrassen** (Abbildung 22), die aber in der modernen Lawinenverbauung keine Verwendung mehr finden. Trotzdem existieren noch derartige Bauwerke.



Abbildung 22: gegliederte und massive Werke in der Feuersangverbauung, Salzburg (KREU, 2002).

Gegliederte Werke sind **Schneerechen oder Schneebrücken** aus Stahl oder Holz (Abbildung 23) bzw. Kombinationen beider Materialien (Abbildung 24). Hier unterscheidet der Forsttechnische Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung zwischen permanenten und temporären Bautypen. Permanente Bautypen werden aus Stahl, temporäre Bautypen, die zur Begründung von Lawinenschutzwäldern und Hochlagenaufforstungen in Anbruchgebieten dienen, sind aus Holz gefertigt.



Abbildung 23: links: Holzschneebrücke in St. Anton/Arlberg, Gampen, (KREU, 1999); rechts: Stahlschneebrücke in Galtür, (KREU, 2001)



Abbildung 24: kombinierte Stahl-Holz Stützverbauung, Aufforstung Proxenlawine, Schwarz, (KREU, 2001)

Ebenfalls zu den gegliederten Werken werden die **Schneenetze** (Abbildung 25) gezählt, die sich durch weniger Auffälligkeit im Landschaftsbild und geringere Empfindlichkeit gegenüber Steinschlag auszeichnen.



Abbildung 25: links: Schneenetze zur Sicherung einer Schipiste bzw. einer Aufstiegshilfe, Ischgl, (KREU, 2001); rechts: Schneenetze zur Sicherung einer Schipiste bzw. einer Aufstiegshilfe, Nassfeld, (KREU, 1998)

C.3.1.1.1.1. VERWEHUNGSBAUTEN

Zur Beeinflussung der windbedingten Schneeverfrachtung im Lawinenanbruchsgebiet werden **Verwehungsverbauungen** (Tribschneewände, Schneezäune, Kolktafeln, Schneedüsen) (Abbildung 26) meist in Kombination errichtet, welche eine kontrollierte Schneeablagerung in sicheren Lagen erzwingen oder die Wechtenbildung verhindern. Solche Verwehungsbauten sind aus Holz, Eisen oder anderen witterungsbeständigen Baustoffen errichtet und auf Windstaudruck von 3 kN/m^2 zu bemessen. Sie werden vorwiegend an windexponierten Stellen aufgestellt, um eine Verminderung der Windgeschwindigkeit mit Verwirbelung zu bewirken. Man bewirkt dadurch eine verstärkte Ablagerung von Schnee an der windabgekehrten Seite dieser Zäune und verhindert die Bildung gefährlicher Tribschneeablagerung im Anbruchsgebiet. Grundvoraussetzung zur Errichtung derartiger Bauten ist die Eignung des Geländes. Bevorzugte Stellen sind flache Rücken oberhalb eines Lawinenhanges, wo teilweise über weite Strecken der Schnee in die Steilhänge eingeblasen wird.

Die Wirkung der Bauwerke hängt von ihrer Höhe und dem Füllungsgrad (=Verhältnis von geschlossener zu gesamter Zaunfläche) ab: Hoher Füllungsgrad erzeugt kurze Ablagerungen, eine Abnahme des Füllungsgrades hat eine Streckung der Ablagerung zur Folge. Ihre Höhe ist in der Regel begrenzt durch jene des Schneezaauns. Die Reichweite und somit der erforderliche Abstand L des Zaunes vom Rand des Lawinenanbruchgebietes kann nach der empirischen Formel

$$L=5 \cdot H / f \text{ (m)}$$

H ...Zaunhöhe in m

f ...Füllungsgrad

ermittelt werden. Die größte Ablagerung im Lee von Schneezäunen wird bei einem Füllungsgrad von 0,5 bis 0,7 (im Mittel 0,6) und unter der Voraussetzung erreicht, dass der Zaun senkrecht zur

Hauptwindrichtung steht (Lawinenhandbuch 1996).

Die Wechtenbildung kann durch Aufstellung sogenannter Winddüsen und Kolktafeln an Geländekanten und Graten verhindert werden. Durch den Beschleunigungseffekt wird der Schnee weit in den Leehang verfrachtet und kommt nicht zur Ablagerung an der Geländekante, wobei es im Kolkbereich zur Verfestigung des Schnees kommt. Direkt an der Geländekante aufgestellt zeigt die Winddüse ihre beste Wirkung, wenn das Dach der Düse geschlossen ist und etwas steiler als der dahinter liegende Hang geneigt ist. Die leeseitige Öffnung sollte ca. 1m die luvseitige ungefähr doppelt so hoch sein. Die Kolktafel sollte direkt an der Geländekante in geschlossener Bauweise aufgestellt sein. Die Empfehlungen für den Bodenspalt liegen bei ca. 1m (Lawinenhandbuch, 1996)



Abbildung 26: links: Winddüse, (HÜB, 1996); mitte: Schneezäun, (HÜB, 1996); rechts: Schneezäun und Kolktafel in Kombination, (FTD VLBG).

C.3.1.1.2. Sturzbahn und Auslaufbereich

Können im Anbruchgebiet keine wirksamen Maßnahmen getroffen werden, müssen Maßnahmen in der Sturzbahn bzw. im Auslaufbereich vorgenommen werden.

In der Sturzbahn bzw. im Auslaufbereich müssen in Bezug auf die Bauwerke die Dynamik der Lawine und die Ausdehnung der Auslaufzonen getrennt nach Staub- und Fließanteil untersucht werden.

C.3.1.1.2.1. Ablenk- und Bremsverbau (Abbildung 27)

Während zum Ableiten oder Teilen einer Lawine **Ablenkdämme** und **Spaltkeile** errichtet werden, müssen sie dennoch wie die Bremsverbauungen auf dynamisch wirkende Kräfte dimensioniert werden. **Bremsverbauungen** (Bremshöcker, Bremskegel, Bremskeile) sind meist in flacheren Bereichen angesiedelt, da die Lawine in weiterer Folge zur Ablagerung gebracht werden soll und viel Platz benötigt.

C.3.1.1.2.2. Auffangdämme

Im Anschluss an Bremsverbauungen findet man häufig **Auffangdämme**, um die Lawine vorzeitig abzulagern. Bremsverbauungen beruhen auf der Erhöhung der Rauigkeit. Bei der Dimensionierung von Auffangdämmen müssen Parameter wie die zu erwartende Geschwindigkeit der anströmenden Lawine, die voraussichtliche Fließhöhe der Lawine bzw. die Vorverfüllung durch Altschnee (mehrere Lawinen pro

Jahr) berücksichtigt werden.



Abbildung 27: Bremsverbauung und Auffangdamm, ArzleralmLawine, Innsbruck, (WLV Innsbruck)

C.3.1.1.2.3. Objektschutz

Im Objektschutz bildet die Errichtung eines **Ebenhöh** (Abbildung 28) (durch Anpassung des Gebäudes an die Geländeform) weite Verbreitung, wobei die Dachkonstruktion auf Lawinenkräfte bzw. auf die Aufnahme der Schubkräfte zu bemessen und in der verstärkten Rückwand zu verankern ist. Vordächer sind aufgrund der Sogwirkung zu vermeiden oder klein zu halten. Vermeidung von Öffnungen (Fenster und Türen) an der bergzugewandten Seite sowie architektonische Maßnahmen im Bereich der Fenster mittels Fensterläden oder der Verwendung von Panzerglas stellen einen gewissen Schutz vor Lawinen dar.



Abbildung 28: links: Ebenhöb einer Almhütte, Moseralm - Sportgastein, (KREU, 2002); rechts: Lawinengalerie der Arlberg-Schnellstrasse im Winter 1998/99, (KREU, 1999).

Um Verkehrswege gegen Lawinen abzusichern werden in Österreich vorwiegend **Lawinengalerien** (Abbildung 28) aus Stahlbeton errichtet. Hier sind die auf das Bauwerk wirkenden Kräfte einerseits von der Lawine (Normalkraft, Schubkraft, statischer Schneedruck) als auch vom dahinter liegenden Hang (Erddruck) zu beachten (Lawinenhandbuch, 1996).

C.3.1.2. Forstliche Maßnahmen

Da der Wald als einer der wichtigsten Lawinenschutzmaßnahmen angesehen wird, seien diese hier kurz zusammengefasst. Hauptsächlich werden, durch den Forsttechnischen Dienst, zur Erhaltung der Lawinenschutzwirkung des Bergwaldes im Rahmen von Schutzwaldsanierungsprojekten und Flächenwirtschaftlichen Projekten, **forstlich-biologische Maßnahmen** durchgeführt. Dazu zählen Pflegeeingriffe, kleinflächige Vorrichtungen zur Einleitung der Naturverjüngung, ergänzende Freiflächenaufforstungen, die Förderung schutzwirksamer Baumarten und die Erhöhung der Bodenrauhigkeit durch Querfällungen. Zur Anhebung der aktuellen Waldgrenze werden **Hochlagenaufforstungen** durchgeführt

C.3.1.2.1. Technische Maßnahmen im Zuge der Aufforstung

Zusätzlich seien hier die **temporären Gleitschneemaßnahmen** (Abbildung 29) (Schneebrücken und Böcke in Holz, Verpfählungen, Querfällungen u. ä.) genannt, die die Schneedecke gegen Setzungs-, Kriech- und Gleitvorgänge stabilisieren und als Aufforstungshilfen zum Einsatz kommen.



Abbildung 29: links: Querschlägerung, (ANFI Archiv); mitte: Gleitbock zum Schutz einer Aufforstung, Dienten, (KREU 2001); rechts: Verpfählung im Lawinenanbruchgebiet Adamsberg, Galtür, (JAN, 2000).

C.3.1.3. Raumplanerische Maßnahmen

Bereits Anfang der 50er Jahre wurde von der Wildbach- und Lawinenverbauung der Lawinenkataster für Tirol ausgearbeitet. Dieser erste Versuch einer Darstellung der gefährdeten Bereiche stellt den Anfang der heute bekannten Gefahrenzonenpläne dar. Mit der starken Zunahme der Bevölkerung (Bau- und Siedlungstätigkeit) in den österreichischen Alpentälern wurde in den 60-iger Jahren die Notwendigkeit eines Instruments in der Raumplanung, um das Vordringen von Siedlungen in durch Wildbäche- und Lawinen gefährdete Gebiete zu unterbinden, klar.

Forstgesetz 1975

Durch das **Forstgesetz 1975** war erstmals eine rechtliche Grundlage geschaffen, die durch die

Gefahrenzonenplanverordnung 1976 präzisiert wurde. Mit der Erstellung von Gefahrenzonenplänen sind nach dem Forstgesetz die Dienststellen des FT D f. WLW beauftragt.

Das Planungsgebiet umfasst in der Regel das Gebiet einer politischen Gemeinde. Die Darstellung der Einzugsgebiete und der Gefahrenherde erfolgt in einer eigenen **Gefahrenkarte**, die **Gefahrenzonen** (Abbildung 30) werden auf der Grundlage des Grundstückskatasters dargestellt und im Wortlaut hinsichtlich ihrer Ursache und Ausdehnung beschrieben. Der Gefahrenzonenplan unterliegt vor seiner Genehmigung durch den Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft einem umfangreichen Überprüfungs- und Bürgerbeteiligungsverfahren (öffentliche Auflage). Er dient einerseits als Grundlage der Planung und Durchführung der Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung und für die Sachverständigentätigkeit der Organe der Gebietsbauleitungen und andererseits als Instrument der Raumplanung, des Bau- und Sicherheitswesens. Gefahrenzonenpläne sind Gutachten und haben daher selbst keine normative Wirkung, erlangen diese jedoch z. T. durch landesgesetzliche Bestimmungen oder die Einarbeitung der Gefahrenzonen in Flächenwidmungs- und Bebauungspläne (Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, 2000).

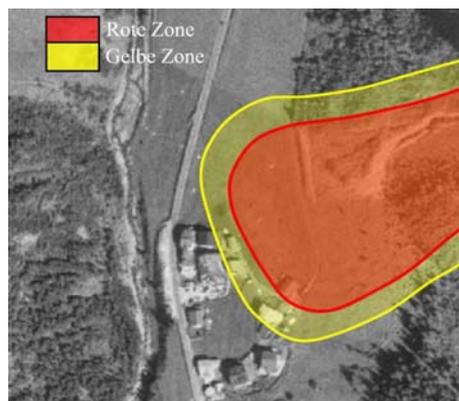


Abbildung 30: Fiktiver Gefahrenzonenplan einer Lawinengefährdung hinterlegt mit Luftbild, (JAN, 2000)

Mit den Gefahrenzonen werden die durch Lawinen (und Wildbäche) gefährdeten Bereiche dargestellt: Die **Rote Gefahrenzone** umfasst alle Bereiche, deren ständige Nutzung für Siedlungs- und Verkehrszwecke durch das hohe Maß der Gefährdung nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand möglich ist.

Die Abgrenzung von Lawinenereignissen wird in der roten Zone durch den Lawinendruck $p > 10 \text{KN/m}^2$ angegeben.

Die **Gelbe Gefahrenzone** betrifft den Bereich mit einem Lawinendruck von 1 bis 10KN/m^2 . Dies bedeutet, dass die ständige Nutzung unter Einhaltung bestimmter Schutzmaßnahmen möglich ist. Weiters werden im Gefahrenzonenplan „Blaue Vorbehaltsbereiche“, welche die Durchführung von Maßnahmen der Wildbach- und Lawinenverbauung oder eine besondere Art der Bewirtschaftung sicherstellen sollen, „Violette Hinweisbereiche“, welche die Abhängigkeit der Schutzfunktion von der Erhaltung des Bodens



oder des Geländes darstellen, und „Braune Hinweisbereiche“, welche Wirkungsbereiche anderer als von Wildbächen und Lawinen ausgehenden Naturgefahren (Steinschlag, Rutschungen, Erosion, u.ä.) zeigen, dargestellt. Den Planungen ist ein Bemessungsereignis zugrunde zu legen, welches eine Wiederkehrwahrscheinlichkeit von 150 Jahren (150-jährliches Ereignis) hat (Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, 2000).

C.3.2. TEMPORÄRER LAWINENSCHUTZ

Unter temporären Lawinenschutzmaßnahmen versteht man Maßnahmen, die kurzfristig, auf Zeit, Ort und Ausmaß der Lawinengefahr abgestimmt, durchgeführt werden.

Die temporären Maßnahmen gliedern sich in Warnung, Sperre, Evakuierung und künstliche Lawinenauslösung. Diese Maßnahmen liegen größtenteils im Aufgabenbereich der Behörden auf Landes-, Bezirks- und Gemeindeebene.

Spezielle Anwender der temporären Maßnahmen sind die Betriebsgesellschaften der Schigebiete.

So findet die künstliche Lawinenauslösung vor allem private Anwender, wie Skiliftgesellschaften, Bergbahnbetreiber oder Gemeinden, die ihre Gebiete für den Skitourismus vor Lawinen sichern müssen.

C.3.2.1. Warnung, Sperre und Evakuierung

Um Warnungen, Sperren und Evakuierungen (Abbildung 31) anzuordnen müssen die Entscheidungsträger über die Lawinengefahr unterrichtet sein.

Die Verantwortung der Bezirkshauptleute, des Bürgermeisters, der Betriebsleitungen der Schigebiete, der Verantwortlichen der verschiedensten Fremdenverkehrseinrichtungen sowie der Bauleitungen von Baustellen im Alpen Bereich würde bei der Beurteilung der Lawinengefahr den Einzelnen überfordern. Aus diesem Grund haben sich die Lawinenwarndienste auf Landesebene und die Lawinenkommissionen auf Gemeindeebene als vorrangige Informanten und Berater etabliert. Durch die Beurteilung der Lage durch die Lawinenkommission auf Gemeindeebene steht ein Beurteilungsinstrument für jeden einzelnen Lawenstrich zur Verfügung. Die Zusammenarbeit bzw. der rege Informationsaustausch zwischen Lawinenwarndienst des Landes und der Lawinenkommissionen ist Garant für eine flächendeckende und qualitativ hohe Lawinengefahrenbeurteilung.

Die Lawinenwarnung selbst wird auf Landes- und Bezirksebene durch die Landesregierungen aufgrund der ihnen unterstehenden Lawinenwarndienste durchgeführt. Auf Gemeindeebene steht dem Bürgermeister als örtliche Sicherheitspolizei die Lawinenkommission und ebenso der Lawinenwarndienst

zur Beratung zur Seite.

Aus der Beurteilung der Lawinengefahr heraus können dann verschiedenste Maßnahmen angeordnet werden.

Die Warnung selbst kommt vor allem für Tourengebiete und bäuerliche und forstliche Arbeitsräume zum Tragen. Hier muss jeder eigenverantwortlich entscheiden, wie er sich im Falle einer Warnung verhält (vgl. Lawinenlagebericht des Lawinenwarndienstes).



Abbildung 31: links: eine Möglichkeit der Warnung im Schigebiet, Haus i. Ennstal, (KREU, 2000); rechts: Pisten Sperre aufgrund erhöhter Lawinengefahr im Schigebiet, Ischgl, (KREU, 2001).

Im erschlossenen Skiraum dienen gelbe Warnleuchten, die ab Gefahrenstufe 4 einzuschalten sind und deren Anbringung behördlich vorgeschrieben wird (vgl. Abbildung 31).

Sperre

Darunter versteht man die Sperre von Verkehrswegen (Strasse, Gemeindewege, Spazierwege, Pisten, Loipen, Rodelwege), Schipisten und Lifтанlagen.

Eine Sperre ist so anzuzeigen, dass sie selbst bei Nichtbeachtung durch mehrere Fahrzeuge, Fußgänger oder Skiläufer für den nachfolgenden Benutzer erkennbar bleibt. Die Sperre von Strassen erfolgt meist mit dafür fix installierten Schranken, die zusätzlich mit Fahrverbotstafeln und einer Zusatztafel mit der Aufschrift „Wegen Lawinengefahr gesperrt, gilt auch für Fußgänger“ gekennzeichnet sein müssen. Auch Sperrungen durch Beamte der Exekutive sind möglich.

Die Sperre von Wegen wird mit gut sichtbaren Tafeln durchgeführt.

Sperren des organisierten Schiraumes (Pisten und Skirouten) werden mit der bekannten „Gesperrt“ Tafel in vier Sprachen markiert. Im freien Skiraum findet die auffällige Hand mit der Aufschrift Lawinengefahr (ebenfalls in vier Sprachen) Anwendung. (vgl. Abbildung 31)

Evakuierung

Evakuierungen werden notwendig, wenn die Bedrohung für einzelne Häuser, Weiler, Ortsteile oder

ganze Ortschaften durch Lawinen gegeben ist.

Probleme können durch schlechte Wetterverhältnisse, die Unerreichbarkeit von abgelegenen Berghöfen und die Nicht Befolgung der Aufforderung das Gebäude zu verlassen, entstehen. Dabei muss die Versorgung von Tieren, die Unterbringung der evakuierten Personen und die Verfügbarkeit von Fluggeräten (Hubschraubern) bedacht werden.



Abbildung 32: Evakuierungen in Ischgl mittels Hubschrauber im Februar 1999, (KREU, 1999)

Lawinenwarndienst

Am Beispiel des Tiroler Lawinenwarndienstes und des Tiroler Lawinenkommissionsgesetzes soll kurz die Arbeitsweise der beiden Einrichtungen dargestellt werden.

Auf oberster Ebene sind die in den Bundesländern Vorarlberg, Tirol, Salzburg, Kärnten, Oberösterreich und Steiermark eingerichteten Lawinenwarndienste zu nennen.

Ursprünglich nur zur Beratung und Betreuung der Skitourengeher vorgesehen wandelten sich die Lawinenwarndienste durch den aufstrebenden Fremdenverkehr und die Zunahme des Verkehrs in den Alpentälern zu den wichtigsten Beratungsstellen für die Verantwortlichen des örtlichen Lawinenschutzes.

Lawinenlagebericht

Hauptprodukt des Lawinenwarndienstes ist die tägliche Ausgabe des Lawinenlageberichtes, der sich aus folgenden drei Hauptteilen zusammensetzt und von jedem eingesehen werden kann.

1. Alpinwetterbericht:

Dieser enthält eine Vorhersage des Wettergeschehen der nächsten 24 Stunden, wobei besonderes Augenmerk auf die herrschende Großwetterlage und die daraus resultierenden Wettererscheinungen gelegt wird.

Außerdem beinhaltet er die Nullgradgrenzen, sowie die Temperaturen auf 2000 und 3000m. Durch Angabe der vorherrschenden Windrichtung und Windgeschwindigkeit können Rückschlüsse auf Schneeverfrachtungen und gefährliche Einwehungsgebiete bzw. Schneeverfrachtungen gemacht werden.

2. Schneedeckenaufbau:

Dieser Teil beinhaltet Angaben über den Neuschneezuwachs der letzten 24 Stunden auf Regionen bezogen und den Aufbau der Altschneedecke, wobei der Setzungsgrad ein wesentliche Rolle spielt. Zusätzliche Informationen können etwa Treibschneeablagerungen oder spezielle Auswirkungen von Regen auf die Schneedecke sein.

3. Beurteilung der Lawinengefahr

Die Beurteilung der Lawinengefahr wird im schriftlichen Tiroler Lawinenlagebericht bzw. dem im Internet abrufbaren Bericht auf die Großregionen (Arlberg – Außerfern, Nordalpen, Kitzbühler Alpen, Silvretta – Samnaun, Nördliche Ötztaler- und Stubai Alpen sowie Tuxer Alpen, Südliche Ötztaler und Stubai Alpen, Zillertaler Alpen, Osttiroler Tauern, Osttiroler Dolomiten) bezogen und mit der Europäischen Lawinengefahrenskala ausgewiesen. Bei Bedarf werden aber noch regional differenzierte Gefahrenstufen ausgegeben (LWD Tirol).

Zur Erstellung dieses Berichtes ist eine Vielzahl an Informationen notwendig.

Folgende Grafik in Abbildung 33 zeigt in der oberen Hälfte (rote Pfeile) den Input verschiedener Stellen, Stationen und Beobachter, die durch ihren Beitrag die Qualität des Lawinenlageberichtes mitentscheiden. Durch blaue Pfeile ist die Verteilung der Information an die Endnutzer dargestellt.

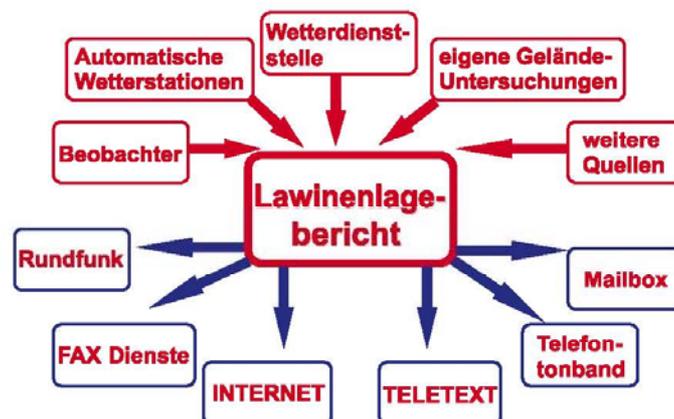


Abbildung 33: Input und Output des Lawinenlageberichtes, (LWD Tirol 2000)

Lawinenkommission laut Tiroler Lawinenkommissionsgesetz:

Die Lawinenkommission ist eine Einrichtung auf Gemeindeebene zum Schutze der Bevölkerung.

Der Tiroler Landtag hat in der 104. Sitzung vom 10.10.1991 das Lawinenkommissionsgesetz beschlossen. Die Einrichtung einer Lawinenkommission auf Gemeindeebene ist somit vorgeschrieben

und zog natürlich die Errichtung einer zentralen Ansprechstelle im Land (Landeswarnzentrale Tirol) mit sich.

Auszug aus dem Lawinenkommissionsgesetz:

(nach dem 104. Gesetz vom 10.10.1991 des Tiroler Landtages)

Der Landtag hat beschlossen, dass

§1 Einrichtung

(1) die Gemeinden, in deren Gebiet die Gefahr von Lawinenkatastrophen besteht, eine Lawinenkommission einzurichten haben.

(2) Lawinenkatastrophen sind im Sinne dieses Gesetzes Lawinenereignisse, die in großem Umfang das Leben oder die Gesundheit von Menschen oder Eigentum gefährden, insbesondere in Siedlungsgebieten, auf Straßen und Wegen des öffentlichen Verkehr, bei Lift- und Seilbahnanlagen oder bei Sportanlagen, wie Schipisten, Loipen, Rodelbahnen und dergleichen.

§2

Die Lawinenkommission besteht aus dem Vorsitzenden und mindestens zwei weiteren Mitgliedern.

Die Mitglieder der Lawinenkommission sind vom Bürgermeister mit schriftlichem Bescheid auf die Dauer von fünf Jahren zu bestellen.

Weiter heißt es unter diesem Paragraphen, „dass Kommissionsmitglieder körperlich als auch durch ihre Erfahrung für diese Aufgabe befähigt sein müssen.“

Die Aufgabe der Lawinenkommission ist auf Auftrag von der jeweiligen Straßenpolizeibehörde oder auf Verlangen privater Liftbetreiber und dergleichen die Lawinensituation in der Gemeinde zu beurteilen. Von Letzteren kann die Gemeinde für die Beurteilung der Lawinensituation Entgelt beanspruchen.

Laut Gesetz müssen die Kommissionsmitglieder Fortbildungskurse, die in der Regel vom Land Tirol angeboten werden, in Anspruch nehmen.

Mit Hilfe dieser Lawinenkommissionen ist es dem Bundesland Tirol, aber auch Salzburg, das ein fast identes Landesgesetz verwirklicht hat, möglich, tagtäglich mit der zusätzlichen Information des Lawinenwarndienstes einen sehr genauen Lagebericht abzugeben, der wesentlich zum Wohle der in den betroffenen Gebieten lebenden Menschen beiträgt.

C.3.2.2. Künstliche Lawinenauslösung

Durch die künstliche Lawinenauslösung wird einerseits die Abgangsbereitschaft der Schneedecke

getestet, andererseits können gefährdende Lawinen zum gewünschten Zeitpunkt portionsweise, vor Erreichen des kritischen Zeitpunktes, entschärft werden. In Österreich haben sich in den letzten Jahrzehnten folgende Arten der künstlichen Lawinenauslösung etabliert.

Mechanische Auslösung

Bei der mechanischen Auslösung werden entweder größere Schneemengen mittels Kipptische oder mittels Pistenfahrzeugen in den Lawinenhang eingebracht. Das Abtreten einer Lawine stellt sicher die gefährlichste Art der künstlichen Lawinenauslösung dar und wird in der Realität nur noch sehr selten angewendet.

Handsprennung – Sprengschlitten und Gratausleger

Die Handsprennung stellt dagegen noch eine gängige Methode besonders in kleineren Schigebieten dar. Vereinzelt sind der Sprengschlitten und Gratausleger noch zu finden. Nachteil dieser Methoden ist, dass der Sprengstoff nur bei guten Wetterbedingungen vom Beauftragten direkt zur Auslösestelle oder oberhalb der Auslösestelle gebracht werden muss.

Sprengseilbahnen (Abbildung 34)

Dies sind fixe Einrichtungen mit sicherem Zugang für das Personal und ermöglichen weitgehend wetterunabhängig das Auslösen von Lawinen. Bau und Betrieb von Sprengseilbahnen bedürfen behördlicher Genehmigungen, welche lawinentechnische Auflagen hinsichtlich der flächendeckenden Sprengwirkungen, erforderliche Sicherheitsvorkehrungen und arbeitsrechtliche Vorschriften beinhalten.



Abbildung 34: Sprengseilbahn - Trittkopf in Zürs, (KREU, 2001).

Sprengungen vom Hubschrauber aus (Abbildung 35)

Diese Art der Lawinenauslösung ist primär vom Wetter abhängig, hat aber ihre Vorteile in der Flexibilität bezüglich Auswahl des Auslösungspunktes. Nach Abgabe der Sprengladung ist kann sich der Hubschrauber in Sicherheit bringen.

Das Abprallen bzw. das Abrollen des Sprengstoffes von der Schneeoberfläche ist nicht ausgeschlossen.



Abbildung 35: Lawinensprengung vom Hubschrauber aus, (LWD Salzburg, 2000).

Lawinenorgel (Abbildung 36)

Funkferngesteuert können von einer Station aus Sprengladungen mittels variablen Treibladungen in mehrere Anbruchgebiete eingeworfen werden.



Abbildung 36: links: funkferngesteuerte Lawinenorgel in Lech im Einsatz, (KREU, 2001); mitte: Sprengung durch Lawinenorgel in Lech, (KREU, 2001); rechts: Wiederbefüllung durch fachpersonal, Lech, KREU, 2001

Flüssiggasbetriebene Lawinenauslöseanlagen (Abbildung 37)

Seit 1991 existieren in Österreich die o.g. Flüssiggas betriebenen Lawinenauslöseanlagen, entwickelt 1987 von einem Holländer namens Schippers in den Französischen Alpen traten die Gaskanonen (System GAZ.EX) weltweit ihren Siegeszug in der künstlichen Lawinenauslösung an.



Abbildung 37: links: Gazex in Ischgl – Versorgungscontainer links, Zündrohr rechts im Bild, (KREU, 2001); rechts: Gazex Versorgungscontainer, Ischgl, (KREU, 2001).

Auf der Valluga in St. Anton am Arlberg erfolgreich für den Einsatz in Österreich getestet, waren zu Beginn des Winters 94/95 bereits 50 derartige Anlagen (alle im Gebiet der Gebietsbauleitung Oberes Inntal) in Betrieb.

Durch die Zündung eines Gemisches aus 18% Propangas und 82% Sauerstoff wird eine lawinenauslösende Wirkung im Nahbereich der Kanone bewirkt. Eine Anlage besteht aus einem Versorgungscontainer, in dem sich die Gastanks, Messgeräte zur Erfassung der meteorologischen Verhältnisse und eine Funkanlage zur ferngesteuerten Auslösung befinden, und der Gaskanone selbst, die in drei verschiedenen Ausführungen von 1.5, 3.0 und 4.5 m³ Gemischvolumengrößen erhältlich ist.

D.1. BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

Lawinen stellen im Alpenraum eine natürliche Gefährdung dar. Wer sich in den unberührten Naturraum begibt, ist sich dieser Gefahr und auch der Eigenverantwortlichkeit seiner Handlungen in der Regel durchaus bewusst.

Anders hingegen der Mensch, der sich im besiedelten Gebiet aufhält: Er erwartet von den zuständigen Behörden und Personen die Gewährleistung seiner Sicherheit (Khakzadeh, 2002). Der erschlossene Schiraum ist besiedeltes Gebiet. Die Sicherheit vor Lawinen muss demnach gewährleistet sein.

Allgemein werden erschlossene und unerschlossene Schiräume unterschieden. Jene Schigebiete welche mittels technischer Aufstiegshilfe (Seilbahn, Schlepplift) erreicht werden, zählen zu den erschlossenen Schiräumen. Laut ÖNORM S4611 wird der erschlossene Schiraum in den organisierten und den freien Schiraum gegliedert und folgende Klassifizierung von Schiabfahrten angegeben:

- organisierter Schiraum
 - *Schipiste*: ist eine allgemein zugängliche, zur Abfahrt mit Ski vorgesehene und geeignete Strecke, die markiert, kontrolliert und zur Vermeidung von atypischen Gefahren, insbesondere Lawinengefahr, gesichert und grundsätzlich präpariert wird;
 - *Schiroute*: ist eine allgemein zugängliche, zur Abfahrt mit Schi vorgesehene und geeignete Strecke, die markiert und zur Vermeidung der Lawinengefahr gesperrt, aber weder präpariert noch kontrolliert wird;
- freier Schiraum
 - *Variante*: ist eine im freien Schiraum entstandene Schistrecke, die nicht präpariert, nicht kontrolliert, nicht markiert und nicht gesichert wird (Lawinenhandbuch, 1996). Von einer "wilden Piste" spricht man dann, wenn die frei entstandene Abfahrt einer Piste gleicht. weil sie stark befahren wird. Wenn jeder, vor allem im Tiefschnee über ganze Hänge hinweg, seine eigene Spur zieht, spricht man vom "Variantenfahren" (Ludescher, 2002).

Des weitern werden nach ÖNORM S4611 Schipisten in Schwierigkeitsgrade eingeteilt. Folgende Unterteilung ist gebräuchlich:

- "blaue Piste", leichte Piste. Die Neigung dieser Piste darf 25% Längs- und Quergefälle nicht übersteigen, mit Ausnahme kurzer Teilstücke in offenem Gelände.

- "rote Piste", mittelschwierige Piste. Die Neigung dieser Piste darf 40% Längs- und Quergefälle nicht übersteigen, mit Ausnahme kurzer Teilstücke in offenem Gelände.
- "schwarze Piste", schwierige Piste. Die Neigung der Piste übersteigt die Maximalwerte der mittelschwierigen Piste.

D.2. RECHTLICHE SITUATION

Im Gegensatz zum freien Schiraum muss der organisierte Schiraum vor Lawinengefahren geschützt werden. Zusätzlich umfasst der Lawinenschutz alle im organisierten Schiraum vorkommende Betriebsanlagen (technische Aufstiegshilfen), Parkplätze, Zubringeranlagen usw.

Dieser Schutz erfolgt einerseits über permanenten Lawinenschutz, siehe (BMVIT 75/ 1-2), und andererseits durch temporäre Maßnahmen wie Sperren, Warnungen, Evakuierungen und künstliche Lawinenauslösung.

D.2.1. RECHTLICHE SITUATION FÜR BETRIEBSANLAGEN (TECHNISCHE AUFSTIEGSHILFEN)

Ein erschlossenes Schigebiet ist mit technischen Aufstiegshilfen zu erreichen. Diese können Haupt- bzw. Kleinseilbahnen oder Schlepplifte sein. Die rechtlichen Grundlagen für Haupt- und Kleinseilbahnen sind im Eisenbahngesetz von 1957 geregelt. Der Betrieb von Schleppliften ist seit 1. Juli 1993 freies Gewerbe und demnach in der Gewerbeordnung von 1973 geregelt.

D.2.1.1. Haupt- und Kleinseilbahnen

Laut § 6(1) des Eisenbahngesetzes (EBG) sind Haupt- und Kleinseilbahnen für den öffentlichen Verkehr bestimmte durch Seile oder ähnliche Förderungsmittel bewegte Verkehrseinrichtungen. Es handelt sich um öffentliche Eisenbahnen.

Als Hauptseilbahnen gelten (§ 6(2) EBG):

1. Standseilbahnen, deren Fahrbetriebsmittel auf, unter oder neben festen Führungen fahren;
2. Seilschwebbahnen, deren geschlossene Fahrbetriebsmittel mit einem oder mehreren Seilen betrieblich lösbar oder nicht lösbar verbunden sind (Pendelbahnen, Umlaufbahnen und dergleichen);
3. Seilschwebbahnen mit offenen Fahrbetriebsmitteln, die mit einem oder mehreren Seilen betrieblich lösbar verbunden sind (Sesselbahnen).

Kleinseilbahnen sind gemäß § 6(3) EBG:

- 
1. Seilschwebbahnen mit offenen Fahrbetriebsmitteln, die mit dem Seil betrieblich nicht lösbar verbunden sind (Sessellifte);
 2. Sessellifte, die im Winter als Schlepplifte betrieben werden (Kombilifte);
 3. Beförderungseinrichtungen, bei denen die Fahrbetriebsmittel auf dem Boden nicht spurgebunden durch ein Seil fortbewegt werden, sowie Rückholanlagen von Sommerrodelbahnen (Schräglifte).

Nicht unter die Bestimmung dieses Bundesgesetzes fallen laut § 6(4) EBG:

1. Beförderungsanlagen ohne Fahrbetriebsmittel, bei denen die mit Skiern oder anderen Sportgeräten auf dem Boden gleitenden oder fahrenden Personen durch ein Seil fortbewegt werden (Schlepplifte);
2. spurgebundene, durch Seile bewegte Anlagen, die Beförderungszwecken innerhalb von Bauwerken dienen.

D.2.1.2. Schlepplifte

Der Betrieb von Schleppliften ist seit 1. Juli 1993 freies Gewerbe. Im Zuge des Genehmigungsverfahrens gemäß § 74 Abs.2 der Gewerbeordnung 1973 zur Errichtung neuer Schlepplifte muss nachgewiesen werden, dass eine Gefährdung des Lebens oder Gesundheit der Kunden (Benützer) auch durch Lawinen ausgeschlossen ist. Als Teil der behördlichen Entscheidungsgrundlage im Genehmigungsverfahren sind Gutachten von Lawinensachverständige gemäss § 52 AVG 1950 einzuholen.

D.2.2. RECHTLICHE SITUATION DES LAWINENSCHUTZES IN ORGANISIERTEN SCHIRÄUMEN

D.2.2.1. Lawinenerlass 22. Jänner 1975

Seit dem Lawinenerlass vom 22. Jänner 1975 werden nachfolgend erläuternde langfristige Maßnahmen zum Schutz vor Lawinen in Schigebieten vorgeschrieben.

Sie dienen der Intensivierung des Lawinenschutzes im Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb von Seilförderanlagen hinsichtlich Kleinseilbahnen und Schlepplifte.

Kleinseilbahnen:

Bei der Errichtung neuer Kleinseilbahnen müssen zukünftig sowohl im Konzessions-, Baugenehmigungs-, sowie Betriebsbewillungsverfahren Lawinensachverständige gemäß § 52 AVG 1950³

³ Allgemeines Verwaltungsverfahrensgesetz, §52 Sachverständige, §68 Sonstige Abänderung von Bescheiden



(Organe der Forsttechnischen Abteilung für Wildbach und Lawinenverbauung) zugezogen werden. Deren Gutachten sind Teil der behördlichen Entscheidungsgrundlage.

Werden im oben genannten Gutachten zum Konzessionsverfahren sämtliche Schiabfahrten als lawinengefährdet klassifiziert, so ist die Konzession wegen entgegenstehender öffentlichen Interessen (§ 17 Abs.3 des Eisenbahngesetzes 1957) zu verweigern oder einzuschränken.

Zur Erlangung einer Konzession für eine neue Kleinseilbahn, muss also mindestens eine, der Förderleistung der Kleinseilbahn entsprechende, ständig lawinensichere Schiabfahrt zur Verfügung stehen.

Hinsichtlich bestehender Kleinseilbahnen müssen Gutachten über oben genannte Gründe des öffentlichen Interesses bzw. über ergangene lawinentechnische Vorschriften eingeholt werden.

Sollte eine bestehende Kleinseilbahn keine einzige, ständig lawinensichere Schiabfahrt besitzen, und besteht keine Möglichkeit zur Behebung derer Mängel, so müsste die Konzession der Kleinseilbahn gemäß § 68 Abs.3 AVG 1950 abgeändert oder entzogen werden.

Bei neuen Kleinseilbahnen ist im Konzessionsverfahren, bei bestehenden Kleinseilbahnen anlässlich der nächsten Überprüfung vorzuschreiben, dass das Seilbahnunternehmen in den Stationen entsprechende Hinweise anbringt, die die Fahrgäste jeweils über die Lawinensicherheit der Schiabfahrten informieren.

Einem Seilbahnunternehmen eine ständig lawinensichere Schiabfahrt als Auflage vorzuschreiben, ist der Seilbahnbehörde mangels Zuständigkeit für Schiabfahrten nicht möglich.

Schleplifte:

Im Zuge des Genehmigungsverfahrens gemäß § 74 Abs.2 der Gewerbeordnung 1973⁴ zur Errichtung neuer Schleplifte muss nachgewiesen werden, dass eine Gefährdung des Lebens oder Gesundheit der Kunden (Benützer) auch durch Lawinen ausgeschlossen ist. Als Teil der behördlichen Entscheidungsgrundlage im Genehmigungsverfahren sind Gutachten von Lawinensachverständigen gemäß § 52 AVG 1950 einzuholen.

Vorraussetzung zur Genehmigung eines neuen Schlepliftes ist ein positives Gutachten über die Lawinensicherheit der Schlepliftanlagen samt Stationsbereichen und dem Vorhandensein mindestens einer ständig lawinensicheren Abfahrt.

⁴ Betrieb von Schlepliften seit 1.Juli 1993 freies Gewerbe



Ist diese Voraussetzung im Zeitpunkt der Entscheidung über die Genehmigung der Betriebsanlage noch nicht genehmigt und kann sie auch nicht sichergestellt werden, so ist die Betriebsanlagengenehmigung und damit in der Folge die Konzession zu verweigern.

Wird glaubhaft gemacht, dass diese Voraussetzung bis zur Inbetriebnahme des Schleppliftes vorliegen wird, so ist eine Betriebsbewilligung gemäß § 78 Abs.2 der Gewerbeordnung 1973 erforderlich.

Für bestehende Schlepplifte sind ebenfalls vorangehende Voraussetzungen zu überprüfen.

Auf Grund des § 69 Abs.4 der Gewerbeordnung 1973 ist das Schleppliftunternehmen erforderlichenfalls anzuhalten, entsprechende Hinweise anzubringen, die die Benutzer des Schleppliftes jeweils über die Lawinensicherheit der Schiabfahrten informieren.

D.2.2.2. Lawinenerlass 9. September 1975

Aufgrund Unklarheiten im Lawinenerlass vom Jänner 1975, wurden 8 Monate später folgende Feststellungen betreffend Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen und Schleppliften getroffen und durch den Lawinenerlass vom September 1975 rechtlich verankert.

Hauptaussage dieses Erlasses ist, das eine Erfordernis ständiger Lawinensicherheit bei bestehenden Seilförderungsanlagen und Schiabfahrten nicht nur durch permanente, sondern auch durch temporäre Maßnahmen erfüllt werden kann.

Folgende Maßnahmen werden in betracht gezogen:

- Verlegung der Anlage bzw. der Schiabfahrt aus dem Lawinengefahrenbereich,
- permanenter Lawinenschutz durch geeignete Verbauungsmaßnahmen,
- Maßnahmen des aktiven temporären Lawinenschutzes,
- Maßnahmen des passiven temporären Lawinenschutzes.

Die Vorschreibung, dass bei Lawinengefahr der Betrieb einer Anlage einzustellen ist, stellt an sich keine ausreichende Maßnahme dar. Eine Betriebssperre muss vielmehr mit flankierenden Maßnahmen im vorangeführten Sinne verbunden werden und das Vorhandensein einer örtlichen Lawinenwarnkommission zur Voraussetzung haben.

Weiters ist die ständige Lawinensicherheit auf die Betriebszeiten der Förderanlage zu beziehen. Durch Lawinen beschädigte Förderanlagen dürfen nur dann am gleichen Ort wieder errichtet werden, wenn die Voraussetzungen vom Lawinenerlass Jänner 1975 gelten.

D.2.2.3. Lawinenerlass 1996

Regelt die Maximierung des Lawinenschutzes im Zusammenhang mit dem Ersatz bzw. Umbau von Seilbahnen und Schleppliften, welche vor dem 22. Jänner 1975 errichtet wurden. Sofern die in Frage kommenden Seilbahnen und Schlepplifte nicht permanent lawinensicher oder lawinengesichert sind und/oder keine ihr zugeordnete permanent lawinensichere oder lawinengesicherte, der Förderleistung der Anlage entsprechende, Schiabfahrt aufweisen.

Ein Ersatz im Sinne des Erlasses liegt vor, wenn die standortbezogenen Funktionen einer Seilbahn oder eines Schleppliftes von einer neuen Anlage mit geändertem Anlagensystem übernommen wird. Bei Seilbahnen ist dies jedenfalls dann der Fall, wenn eine neue Konzession erforderlich wird.

Handelt es sich bei der Ersatzanlage um eine Seilbahn, müssen grundsätzlich die Bestimmungen des Lawinenerlasses von 1975 herangezogen werden. Eine zu ersetzende Seilbahnanlage, welche vor dem 22. Jänner 1975 errichtet wurde, gilt nicht als bestehende Anlage im Sinne des Lawinenerlasses von 1975 und muss daher den Erfordernissen der permanenten Anlagensicherung vor Lawinen im Sinne des vorgenannten Lawinenerlasses entsprechen. Gleiches gilt für die zugehörige, der Förderleistung entsprechenden, Schiabfahrt.

Wird als Ersatzanlage ein Schlepplift angestrebt, so ist die gemäß Lawinenerlass von 1975 angeführte Voraussetzung im gewerberechtlichen Betriebsanlagengenehmigungsverfahren zu prüfen.

Ein Umbau im Sinne des Erlasses liegt vor, wenn bei unverändertem Anlagensystem die Förderleistung erhöht wird.

Die permanente Lawinensicherheit der Anlage selbst oder der zugehörigen, der Förderleistung der Anlage entsprechenden Schiabfahrt ist bei solchen Umbauten im eisenbahnrechtlichen Baugenehmigungsverfahren (Seilbahn) bzw. im gewerberechtlichen Betriebsanlagengenehmigungsverfahren (Schlepplift) als wesentliche Voraussetzung für die beantragte Genehmigung zu prüfen.

Der Ersatz bzw. Umbau einer Seilbahn- oder Schleppliftanlage ist dann möglich, wenn mindestens eine, der Förderleistung der Anlage entsprechende, Schiabfahrt permanent lawinengesichert ist und die Anlagen den Erfordernissen der ständigen Lawinensicherheit entsprechen.

Können diese Forderungen unter Einbeziehung lawinenfachlicher Aspekte lawinenschutztechnisch nicht oder nicht nur Gänze hergestellt werden, ist der Antragstelle berechtigt, bei der Seilbahn- bzw. Schleppliftbehörde ein **Ausnahmeverfahren** zu beantragen.

Gegenstand des Ausnahmeverfahrens ist die Prüfung, ob ein Abgehen von der Grundsatzforderung

nach gänzlichem permanenten Lawinenschutz aus lawinenschutztechnischer Sicht unter Einbeziehung lawinenfachlicher Aspekte vertreten werden kann.

Eine solche Vertretbarkeit wäre nur dann gegeben, wenn das Zusammenwirken einzelner festzulegender Maßnahmen eine deutliche Verbesserung der allgemeinen Lawinensicherheit im Sinne des erschlossenen Schigebietes⁵ erreicht.

Dem Antrag um Durchführung eines Ausnahmeverfahrens hat der Antragsteller ein detailliertes Konzept anzuschließen, das der Grundsatzforderung nach Maximierung der Lawinensicherheit der ggst. Anlage und/oder der zugehörigen Schiabfahrt unter Ausschöpfung sämtlicher lawinentechnisch und lawinenfachlich möglicher permanenter Schutzmaßnahmen zu entsprechen hat.

Das Konzept hat insbesondere alle jene permanenten und temporären Schutzvorkehrungen zu beinhalten, die

- bisher gehandhabt wurden
- sich auf die ggst. Anlage samt zugehöriger Schiabfahrt beziehen,
- sich im erschlossenen Schigebiet ergeben,
- im Zusammenhang mit der Lawinensicherheit für die Erreichbarkeit und das Verlassen der ggst. Anlage im erschlossenen Schigebiet getroffen werden.

Die Seilbahn- bzw. Schleppliftbehörde hat das vom Antragsteller erstellte Konzept einer beim BMLF eingerichteten Kommission zur Begutachtung vorzulegen.

D.2.2.4. Warnung, Sperrung

Die rechtlichen Bestimmungen des organisierten Schiraumes sind durch die sachgerechte Anwendung der allgemeinen Normen des Straf-, Zivil-, und Verwaltungsrecht geregelt. Es gibt keine spezielle schirechtliche Norm. Ausnahmen bilden einzelne Gemeindepistenverordnungen.

Schipisten, Schleppliftspuren und Schirouten sind nach herkömmlicher Meinung Wege im Sinne des ABGB (Khakzadeh, 2002). Der Begriff des Halters eines organisierten Schiraumes bestimmt sich

⁵ inkludiert Betriebsanlagen, Schiabfahrten, Parkplätze, Zubringeranlagen usw.



demnach auch nach dem Begriff des Halters eines Weges, das ist also derjenige, der die Kosten für die Errichtung und Erhaltung der Schipiste bzw. Schiroute trägt sowie die Verfügungsmacht hat, entsprechende Maßnahmen zu setzen, in der Regel also der Seilbahn- und Schiliftbetreiber (Khakzadeh, 2002).

Der Pistenhalter hat grundsätzlich den von ihm organisierten Schiraum, das sind die ausdrücklich oder schlüssig gewidmeten Schipisten und Schirouten entsprechend zu sichern, nicht aber das freie Schigelände - also außerhalb dieses Raumes (Senn, 2002). Er haftet nach den Grundsätzen des ABGB für Schäden, die durch den mangelhaften Zustand des Weges entstehen.

Die Bedrohung durch Lawinen ist zweifellos als mangelhafter Zustand einer Piste zu sehen. Daraus folgt, dass der Halter einer Piste diese zu sperren hat, wenn die Gefahr eines Lawinenabganges besteht (Khakzadeh, 2002).

In Österreich muss unterschieden werden, ob es sich bei der Form der Sperre um ein Verbot oder eine Warnung handelt.

Die Missachtung einer Warnung kann an sich keine zivilrechtlichen Sanktionen nach sich ziehen. Bei Missachtung eines Verbotes könnten eigentumsrechtliche und im Schadensfall unter Umständen schadenersatzrechtliche Ansprüche geltend gemacht werden (Khakzadeh, 2002).

Beispiel ist das Befahren von gesperrten Pisten (z.B.: wegen Lawinengefahr). Strafen bzw. behördliche Sanktionen sind momentan nur dort möglich, wo eine gesetzliche Grundlage besteht, wie im Vorarlberger Sportgesetz oder in der Pisten und Loipenordnung der Gemeinde St. Anton (Senn, 2002).

D.2.2.5. Künstliche Lawinenauslösung

Unter "künstlichem Auslösen von Lawinen durch Sprengungen" wird das Zünden von Sprengladungen in Anrisszonen von Lawinen verstanden, das dem Zweck einer vorbeugenden Auslösung von Lawinen kontrollierten Umfanges, zu bestimmten Zeiten, in gewünschten Sturzbahnen und in vorhergesehenen Ausschüttungsbereichen dient und eine Vermeidung von gefahrbringenden Lawinen oder die Prüfung von Stabilitätsverhältnissen von Schneedecken zum Ziel hat (Sicherheitstechnische Richtlinien für das künstliche Auslösen von Lawinen durch Sprengung von Hubschraubern aus, 1995).

Für das künstliche Auslösen von Lawinen durch Arbeitnehmer von Seilbahnunternehmen sind neben den sicherheitstechnischen Richtlinien des Bundesministerium für Wissenschaft, Verkehr und Kunst jeweils folgende gesetzliche Vorschriften zu beachten (aus: Richtlinien für das künstliche Auslösen von Lawinen durch Arbeitnehmer von Seilbahnunternehmen, 1996).

- *Sprengarbeiterverordnung, BGBl Nr.: 77/1954*

- *Schieß- und Sprengmittelgesetz*, BGBl Nr.: 196/1935
- *Schieß- und Sprengmittelmonopolsverordnung*, BGBl Nr.: 204/1935
- *Pyrotechnikgesetz 1974*, BGBl Nr.: 282/1974
- *Verordnungen über die Lagerung pyrotechnischer Gegenstände in gewerblichen Betriebsanlagen*, BGBl Nr.: 514/1977
- *Bundesgesetz über die Beförderung gefährlicher Güter auf der Strasse*, BGBl Nr.: 209/1979

Auszüge aus den sicherheitstechnischen Richtlinien sind nachfolgend angeführt.

1. Die künstliche Auslösung von Lawinen hat im Einvernehmen mit dem Bürgermeister oder dem Obmann der Lawinenkommission zu erfolgen. Die Beauftragung von Arbeitnehmern von Seilbahnunternehmen mit der künstlichen Auslösung von Lawinen mittels einer der in den folgenden Abschnitten beschriebene Methode darf nur durch die Leitung des Seilbahnunternehmens erfolgen,

2. Der Gefahrenbereich umfasst bei einer künstlichen Lawinenauslösung den durch Streu- und Druckwirkung gefährdeten Bereich sowie den Ausschüttungsbereich. Unter Ausschüttungsbereich wird der größte durch eine Lawine vorhersehbar gefährdete Bereich verstanden,

3. Vor der Einleitung des Sprengvorganges müssen:

- a. an häufig begangenen (befahrenen) Routen mit Sprechfunk- und LVS Geräten ausgerüstete Absperrposten aufgestellt und
- b. die vorgeschriebenen Sprengsignale abgegeben werden,

Hinweise auf die Sprengsignale und deren Bedeutung sowie der Hinweis, dass bei Neuschnee und Schneeverfrachtungen Sprengungen durchgeführt werden, sind in den umliegenden Gast- und Beherbergungsbetrieben (Schutzhütten), in den Bahnanlagen sowie erforderlichenfalls auch im Gelände deutlich sichtbar- und lesbar anzubringen,

4. Von Erfordernissen gemäß Punkt 3 muss Abstand genommen werden, wenn auf Grund der Örtlichkeit, Tageszeit, Witterungsverhältnisse oder durch deutlich erkennbare Absperrungen- mit dem Hinweis auf die Durchführung von Sprengungen bei Neuschnee und Schneeverfrachtungen - das Betreten des Gefahrenbereiches durch Personen ausgeschlossen werden kann (Richtlinien für das künstliche Auslösen von Lawinen durch Arbeitnehmer von Seilbahnunternehmen, 1996).

Bau und Betrieb, Instandhaltung, Überprüfungen sowie Betriebsvorschriften sind jeweils in eigenen Richtlinien streng geregelt.

E.1. ALLGEMEINES ZUR WIRKUNGSWEISE VON LAWINENSCHUTZMASSNAHMEN

Schutzmaßnahmen werden grundsätzlich aufgrund ihrer Eingriffsart in aktive und passive Maßnahmen eingeteilt, wobei aktive Maßnahmen prinzipiell die Reduktion der Gefahr zum Ziel haben, indem in den Prozess eingegriffen wird. Mit passiven Maßnahmen hingegen wird über die Verringerung der Anwesenheit und des Wertes der potentiell gefährdeten Objekte ein Verminderung des Risikos erreicht.

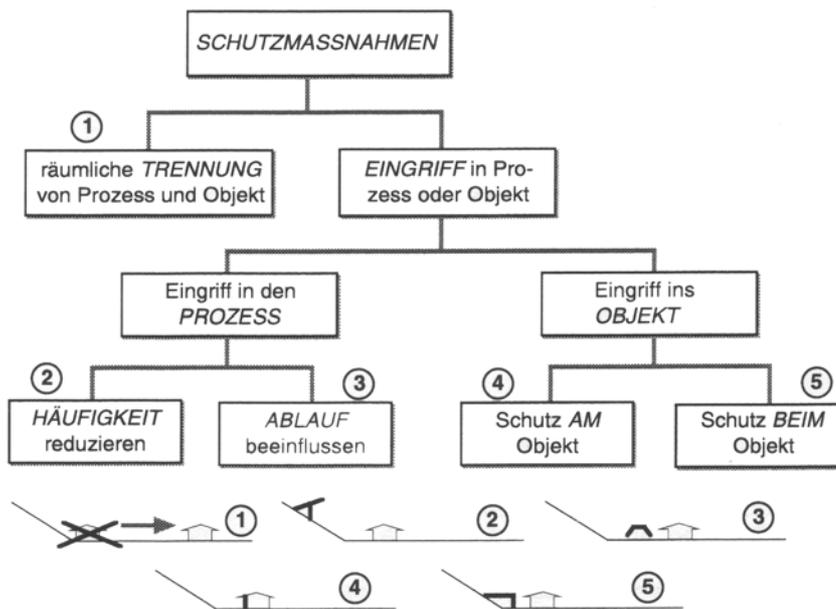


Abbildung 38: Gliederung von möglichen Maßnahmen zum Schutz vor Naturgefahren nach Art und Ort ihrer Wirkung (Hollenstein, 1997)

In Abbildung 38 sind die Möglichkeiten der Wirkungsweise dargestellt. Der linke Ast veranschaulicht dabei die passiven, der rechte Ast die aktiven Maßnahmen. Eine weitere Unterscheidung wird aufgrund ihres Wirkungszeitraumes in temporäre und permanente Maßnahmen getroffen. Mit permanenten, aktiven Maßnahmen wird versucht, den Prozess zu verhindern, zu bremsen oder abzulenken. Temporäre, aktive Maßnahmen zielen hingegen auf die Steuerung des Ablaufs und die Auswirkungen des gefährlichen Prozesses zum Zeitpunkt der aktuellen Gefahr ab. Durch permanente, passive Maßnahmen wird nicht in den Prozess selbst eingegriffen, sondern durch bauliche Maßnahmen an den potentiell gefährdeten Objekten die Verletzlichkeit verringert oder durch Raumplanungsmethoden die dauerhafte Trennung von Gefahr und Objekt erwirkt. Temporäre, passive Maßnahmen erwirken wiederum eine räumliche Trennung, werden jedoch erst im Zeitpunkt der Gefahr eingesetzt und wirken nur innerhalb eines begrenzten Zeitraums (Kienholz, 1993).

Durch Kombinationen von Maßnahmen können verschiedene Schutzkonzepte entworfen werden. Ein



Schutzkonzept beschreibt die zur Erreichung der Schutzziele gewählte Strategie (Hübl, 2001).

Im folgenden soll nun die Wirkung der einzelnen Maßnahmen aufgezeigt und ihre Stärken und Schwächen zur Umsetzung verschiedener Schutzstrategien dargestellt werden. Im Rahmen der Wirkungsanalyse sollte die Planung (Kriterien vor Erstellung: Prozesswissen, Dimensionierungsgrundlagen, Schutzziel, Versagenskette, Ausführung), Bewährung (Kriterien nach der Erstellung: Schlüsselgrößen für Wirkung, Beobachtungen, Zustand) und der Standort der Schutzmaßnahme betrachtet werden. Die Unsicherheit einer Maßnahme an einem bestimmten Standort wird durch das Prozesswissen über den Standort bestimmt. Je kleiner das Wissen, desto größer ist die Unsicherheit bei der Beurteilung der Maßnahmen (Margreth, 2002).

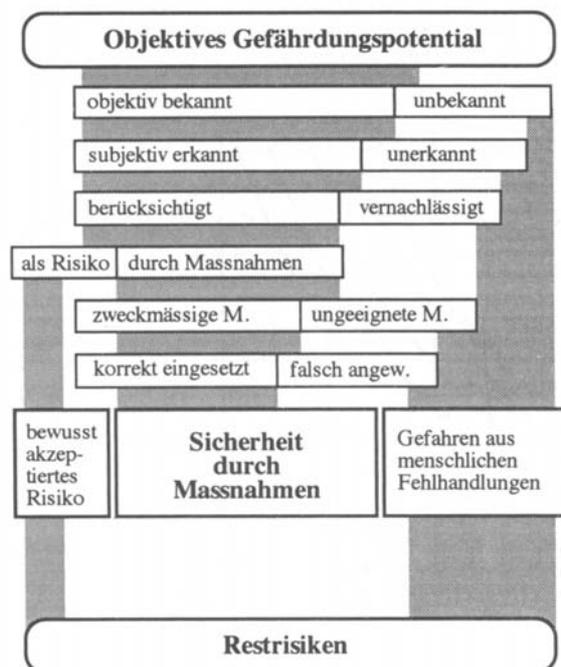


Abbildung 39: Entstehung des Restrisikos bei Maßnahmensetzung (Schneider, 1996)

Dabei ist zu berücksichtigen, dass sowohl bei der Gefahrenerkennung als auch beim Maßnahmeneinsatz Fehler der Beteiligten möglich sind. In Abbildung 39 wurde versucht, die Entstehung des Restrisikos aufzuzeigen. Dabei liefern bei der Gefahrenerkennung objektiv unbekannte Gefahren und subjektiv unerkannte oder bewusst vernachlässigte Gefahren einen Beitrag zum Restrisiko. Die erkannte Gefahr kann entweder durch sicherheitserzeugende Maßnahmen abgewehrt oder als Risiko bewusst akzeptiert werden. Fernerhin können beim Maßnahmeneinsatz für das Schutzziel ungeeignete Maßnahmen oder falsch angewendete Maßnahmen zu einer weiteren Erhöhung des Restrisikos führen (Schneider, 1996).

Die Ausführungen in diesem Kapitel sollen die Basis für den Entwurf von Methoden zur



Einbeziehung der Maßnahmen in die Risikoanalyse in einem nächsten Schritt bilden, um dann die Berechnung der trotz Maßnahmen verbleibenden Restgefährdung zu ermöglichen.

E.2. RISIKOVERMINDERUNG DURCH PERMANENTE SCHUTZMASSNAHMEN

Aufgrund ihres langen Wirkungszeitraumes führt der Einsatz von permanenten Maßnahmen zu einer Änderung des Systems, in dem der Gefahrenprozess abläuft. Aus Daten über vergangene Lawinenabgänge können nicht mehr direkt Rückschlüsse auf das Systemverhalten gezogen werden. Die Einschätzung eines verbauten Lawinenhanges, der vorher aufgrund einer hohen Eintrittswahrscheinlichkeit häufige Abgänge aufwies und so ein breiter Erfahrungsschatz für die Beurteilung der Gefahrensituation vorlag, kann für einen Experten ungemein erschwert werden.

Daher ist nach Ausführung der permanenten Maßnahme eine erneute Systemanalyse notwendig. Zusätzlich ist in der Phase nach der baulichen Umsetzung dafür zu sorgen, dass die Schutzfunktion erhalten bleibt, indem die langfristige Erhaltung bzw. Wartung der Maßnahme sichergestellt wird.

Prinzipiell kann ohne Erhaltung ein baulicher Defekt einer Maßnahme zu ihrem totalen Versagen führen und wieder die Herstellung des vorherigen oder eines schlimmeren Systemzustands zur Folge haben. Daten über das Auftreten von Schäden und die Setzung von Erhaltungsarbeiten müssen für die Abschätzung der Wahrscheinlichkeit eines totalen Versagens herangezogen werden.

E.2.1. STÜTZVERBAUUNG

E.2.1.1. Aufgabe

Stützverbauungen haben die Aufgabe, Lawinen zu verhindern oder zum mindesten entstehende Schneebewegungen auf ein unschädliches Maß zu beschränken (Margreth, 2002). Stützverbauungen sind geeignet um extreme, zerstörende Lawinen mit langem Auslauf und langer Wiederkehrdauer zu verhindern (Margreth, 1996).

E.2.1.2. Schutzziel

Aufgrund der hohen Kosten kommen Stützverbauungen vermehrt zum Schutz von Siedlungen zum Einsatz. Im Sinne des Lawinenerlasses werden Stützverbauungen auch zum Schutz von Pisten und Aufstiegshilfen eingesetzt.

In der Schweiz entscheidet vor allem die Kostenfrage den Einsatzort von Stützverbauungen. Dort werden Stützverbauungen vor allem eingesetzt, um Zonen oder Objekte zu schützen, die bei großer Lawinengefahr schwer zu evakuieren oder zu schließen sind. Die Verwendung zum Schutz von Straßen ist gerechtfertigt, falls die Anbruchszone einen beschränkten Höhenbereich hat. Umso näher die Straße sich am Hang befindet, umso höher ist die Sicherheitsanforderung an das verbaute Gebiet. Falls sich vor der Straße kein Auslaufbereich befindet, sollten die untersten Stützreihen eine dichte Ebene bilden oder zusätzlicher Ablagerungsraum geschaffen werden. In Schigebieten sind Stützverbauungen für den Schutz von Abfahrten im allgemeinen nicht empfohlen. Sie sind jedoch geeignet, Einstiegstellen oder Masten zu schützen. Die Anordnung und das Design von Verbauungen entsprechend den Schweizer Richtlinien wurden nicht zum Schutz von Personen in oder direkt unterhalb von Verbauungen entworfen (Margreth, 1996).

E.2.1.3. Wirkungsweise

Der kriechenden und gleitenden Schneedecke wird eine im Boden verankerte, bis an die Schneeoberfläche reichende Stützfläche entgeggestellt und damit im Staubereich die schneebrettbildenden Scher- und Zugspannungen vermieden. Dadurch wird sowohl die Auftretenshäufigkeit als auch der Ausmaß der dennoch auftretenden Lawinen reduziert. Im Bezug zur Risikobestimmung reduziert die Stützverbauung damit die Eintretens- und Ausbreitungswahrscheinlichkeit, wie auch die Intensität, indem die maßgebende Kubatur verringert



wird. Bei Anbrüchen innerhalb der Verbauung verhindern die Stützwerke das Mitreißen der Altschneedecke und beschränken flächenmäßig das Gebiet, über welches sich Scherrisse fortpflanzen (Margreth, 2002). Oberhalb der Verbauung oder in der Verbauung auftretende Lawinen werden durch die Stützverbauung gebremst und durch das Auffangvermögen der Verbauung wird Masse zurückgehalten. Falls die Lawinen eine zu hohe Geschwindigkeit erreicht haben, können die Verbauungen zerstört werden.

Treten in dem Gebiet vermehrt Tribschneeansammlungen auf, wird die Wirksamkeit der Stützverbauung vermindert.

Die Wirkung der Stützverbauung ist nicht für alle Schneetypen gleichermaßen gegeben. Wildschneelawinen, Frühlingslawinen und Lawinen mit kleinen Schneehöhen können sehr wohl in der Verbauung auftreten, jedoch haben diese aufgrund der Bremswirkung der Verbauung geringere Geschwindigkeiten und somit kleinere Durchflussmengen und kürzere Ausläuflängen (Margreth, 2002).

Diese Schutzfunktion kann von der Stützverbauung nur dann erfüllt werden, falls die Wirkung der Stützverbauung planungsgemäß ist. Ist dies nicht der Fall, kann es zum Versagen der Maßnahme kommen, das dadurch definiert ist, dass eine Lawine oder Schneebewegung das zu schützende Objekt erreicht und somit gefährdet.

Eine negative Wirkung ist, dass durch eine Stützverbauung die Disposition erhöht wird. In Gebieten, in denen es aufgrund der Steilheit zu einer ständigen, natürlichen Entladung kommt, wird nun durch die Verbauung „künstlich“ Schnee angesammelt. Würde das worst case - Szenario „ein Totalversagen der Maßnahme durch Defekt“ eintreten, würde damit die so entstehende Lawine von weit aus höherem Ausmaß sein, als vom Gelände natürlich vorgegeben.

E.2.1.4. Wirkungbestimmende Faktoren

E.2.1.4.1. Ausdehnung der Stützverbauung:

Der problematischste Punkt bei der Planung einer Stützverbauung ist die Festlegung der räumlichen Ausdehnung der Stützverbauung (Margreth, 1996). Nach der Verbauung von primären Anrisszonen können in den sekundären Anrissgebieten neben oder unterhalb der Verbauung noch Lawinen auftreten.

Auch die Auslösung von Lawinen oberhalb der kontrollierten Gebiete ist möglich, falls die Bruchkante nicht innerhalb des Staubereichs der obersten Verbauung ist.

E.2.1.4.2. Anordnung und Ausbildung der Stützverbauung

Bei der Anordnung der Stützverbauung ist speziell der obere und der untere Verbauungsrand zu beachten. Schwierig zu verbauende Stellen, wie felsige Steilabstürze oder enge Rinnen können Schwachstellen darstellen. Das Rückhaltevermögen ist bei durchgehenden Werkreihen besser als bei aufgelösten Verbauungen.

E.2.1.4.3. Werkhöhe und Schneehöhe

Ist ein Stützwerk überschneit, kann die Wirkung verloren gehen, da Oberlawinen auftreten können. Die Abbruchhöhe dieser Oberlawine ist jedoch reduziert, da durch die Stützverbauung das Mitreißen der Altschneedecke verhindert und somit durch die Differenz der Schneehöhe und der Werkhöhe bestimmt wird (vgl. Abbildung 40, Margreth, 2002).

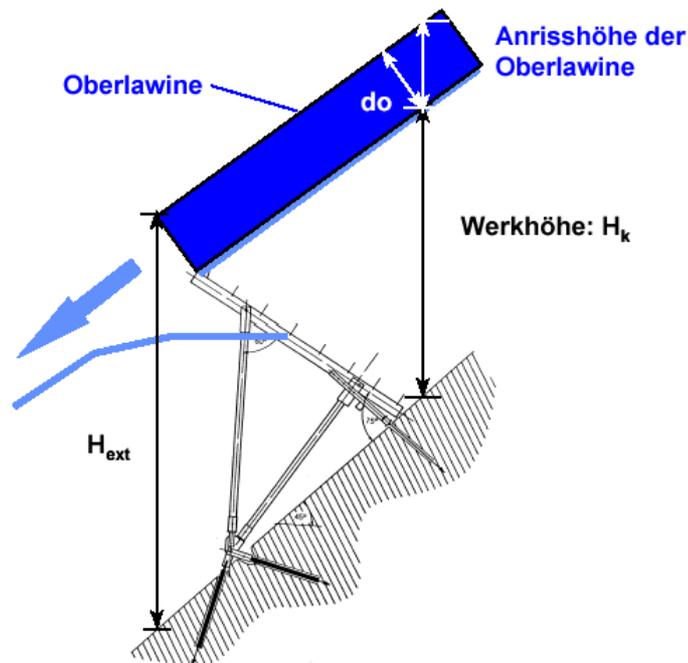


Abbildung 40: Prinzipskizze Oberlawine (Margreth, 2002)

E.2.1.4.4. Topographie unterhalb der Verbauung

Wichtig für die Wirkungsweise der Stützverbauung ist die Topografie unterhalb der Verbauung und die räumliche Position des zu schützenden Objekts. Ist der Abstand zwischen der Stützverbauung und dem Schutzobjekt groß genug, und befindet sich eine Bremsstrecke dazwischen, sodass die verbleibenden, im reduzierten Ausmaß abgehenden Lawinen das Objekt nicht mehr erreichen können, ist die Wirkung gegeben. Ist das Schadenspotential unterhalb der Verbauung, so ist die Risikominderung geringer und so das verbleibende Restrisiko höher.

Das Restrisiko ist somit stark von der Position des Schadenpotentials abhängig. Margreth (2002) stellte den unterschiedlichen Wirkungsgrad in Abbildung 41 dar.

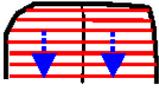
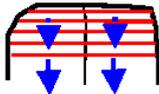
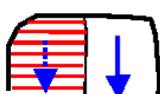
Anrissaebiet	A: Anrissaebiet vollständig verbaut	B: Anrissaebiet teilweise verbaut	C: Eine Gelandekammer nicht verbaut
Sturzbahn			
Fall 1: Schutzwald unter Stützverbauung und Auslaufstrecke	4 Sehr gute Wirkung	3 Gute Wirkung	2 Mittlere Wirkung
Fall 2: Offene Sturzbahn und Auslaufstrecke	3 Gute Wirkung	2 Mittlere Wirkung	1 Unsichere Wirkung
Fall 3: Offene, steile Sturzbahn ohne Auslaufstrecke	2 Mittlere Wirkung	1 Unsichere Wirkung	0 Sehr unsichere Wirkung

Abbildung 41: Effektivität der Stützverbauung bezogen auf die Topografie unterhalb der Verbauung (Margreth, 2002)

E.2.1.5. Risikoverminderung laut Literatur

Rychetnik (1985) stellt in seiner Publikation eine in der Schweiz im Jahr 1960 auf einem Lawinenhang durchgeführte Versuchreihe vor, die zum Ziel hatte, den Einfluss einer Verbauung auf die Lawinhaufigkeit zu ermitteln. Während 23 Jahren wurden Beobachtungen für unterschiedliche Baustufen durchgeführt und die Lawinenereignisse aufgezeichnet und kartiert. Die Ergebnisse der Studie können jedoch nicht direkt auf die jetzt ausgeführten Verbauungen umgelegt werden, da die für die Projektierung zugrundeliegenden Richtlinien überarbeitet worden sind. Als Ergebnis der Studie konnte abgeleitet werden, dass die Lawinenfrequenz erwartungsgemäß von oben nach unten bzw. von den Rippen zu den Mulden hin zunimmt. Stellen ohne Lawinen oder mit nur kleinen Frequenzen befinden sich auf einer Verebnung bzw. auf den Rippenstandorten.

Die auftretenden Lawinen wurden auch entsprechend ihres Auslösemechanismus betrachtet. Dabei konnte beobachtet werden, dass die Lawinenaktivitat von Schneebrettlawinen im durchgehend verbauten Teil nach dem Verbau um 48% und im aufgelösten Bereich nach der Verbauung um 58% reduziert. Dies würde einem Restrisiko von 62% bzw. 42% bezogen auf das ursprüngliche Risiko bedeuten. Die darunter liegende Fläche ist von einer um 39% bzw. 54% reduzierten Lawinhaufigkeit betroffen. Im aufgelöst verbauten Teil wird nur eine Reduktion der Frequenz von 21% bzw. 16% erreicht, für das Gebiet unterhalb der Verbauung wurde eine um 28% bzw. 41% reduzierte Häufigkeit verzeichnet.



77% aller im Untersuchungsgebiet Stillberg auftretenden Lawinen waren Lockerschneelawinen. Für diesen Lawinentyp konnte nur eine Reduktion der Lawinenhäufigkeit um 3% in durchgehend verbauter Fläche und um 10% in der Fläche darunter nach Beendigung des Stützverbaus erreicht werden. In der Übergangsperiode traten sogar häufiger Lockerschneelawinen auf.

Die Lockerschneelawinen entstanden vor allem nach Neuschneefällen in der trockenen Neuschneesicht oder im Frühling auf der feuchten Schneeoberfläche infolge Strahlung, Regen oder Neuschnee. Als Initialstellen werden häufig Felsköpfe oder Bäume beobachtet. Durch die Stützverbauung wurde die Anzahl solcher Initialstellen erhöht. Aus den Beobachtungen ging hervor, dass Lockerschneelawinen auch in der Stützverbauung entstehen. Die talseitige Ausbreitung der Lockerschneelawinen wird nur bei durchgehender Bauweise durch die Bremswirkung der Stützverbauung eingeschränkt.

Wilhelm (1999) gibt folgende Richtwerte für eine Grobabschätzung der Risikoverminderung R_V für Stützverbauungen zum Schutz von Verkehrswegen an, wenn vorausgesetzt werden kann, dass der Stützverbau gemäss Richtlinien (BUWAL/WSL 1990) ausgeführt wurde

- Straße liegt in der Auslaufstrecke der Lawine $R_V \approx 95\%$ von R_0
- Straße liegt in der Sturzbahn der Lawine $R_V \approx 90\%$ von R_0

E.2.1.6. Implementierung der wirkungsbestimmenden Faktoren in eine Fehler-, Möglichkeits- und Einflussanalyse

Anhand der FMEA werden alle möglichen, denkbaren Fehler des Systems „Stahlschneebrücke“ dargestellt. Aus den wirkungsbestimmenden Faktoren können nun betroffene Einheiten der Stützverbauung definiert, und deren Versagenswahrscheinlichkeit letztendlich durch semiquantitative Aussagen bestimmt werden.

Aus dieser Überlegung wurde nun, die in Abbildung 42 ersichtliche FMEA für Stützwerke entwickelt.

Betr. Einheit	Gefährliches Element	Gefährlicher Zustand	Störfall Ursache	Möglicher Störfall	Mögliche Auswirkung	Häufigkeit	Schwere	zu treffende Maßnahmen
potentielle Anbruchsfläche	Verteilung der Werke, teilweise Verbauung	Ausdehnung der Stützverbauung zu gering	allgemeine lawinenbildende Faktoren	Anbrüche aus unverbauten Hangbereichen Nebenbruchsgebiete	Lawinen, Schneerutsche erreichen organisierten Schiraum			vollständige Verbauung bzw. mittemporären Maßnahmen kombinieren
potentielle Anbruchsfläche	Anordnung der Werke in bezug auf die oberste Anrisslinie	höchstgelegene Anrisslinie liegt über dem wirksamen Staubereich der obersten Stützwerke, Wächtenbruch	allgemeine lawinenbildende Faktoren	Anbrüche aus der obersten Anrisslinie	Lawinen, Schneerutsche erreichen organisierten Schiraum Beschädigung der Werke			Stützwerke in den obersten beobachteten wirksamen Staubereich der Anrisslinie legen Bei Wächtengefahr Verwehungs-
potentielle Anbruchsfläche	Anordnung der Werke in bezug auf die talwärts erstreckte Verbauungsfläche	unterhalb der Verbauungsfläche > 30° bzw. Topographie unterhalb der Verbauung ungünstig	allgemeine lawinenbildende Faktoren	Anbrüche unterhalb der Verbauungsfläche	Lawinen, Schneerutsche erreichen organisierten Schiraum			Verbauungsfläche vergrößern, bzw. permanente Maßnahmen mit temporären Maßnahmen kombinieren
Stützbauwerk	Werkhöhe H_k	Werkhöhe $H_k <$ extreme Schneehöhe H_{ext}	Hinterfüllung des Werkes durch Altschnee	Anbrüche in der Werkhöhe überschneiden, Schneedecke	Oberlawinen erreichen organisierten Schiraum			H_k anpassen
Stützbauwerk	Balkenverteilung	Füllungsgrad der Stützroste zu gering	starke Schneefälle (Intensität & Ergiebigkeit), lang andauernde tiefe Temperaturen,	Schneebrett- oder Lockerschneeartiger Anbrüche	Neuschneelawinen, können durch die Verbauungen rutschen erreichen organisierten			Gitterauflagen
Stützbauwerk	Balkenverteilung	Füllungsgrad der Stützroste zu gering	Im Frühling (Strahlungstage) aufweichen der obersten Schneedecke	Schneebrett- oder Lockerschneeartiger Anbrüche	masse Oberlawinen können durch die Verbauungen rutschen erreichen organisierten Schiraum Beschädigung der Werke			Gitterauflagen

Abbildung 42: Fehler-, Möglichkeits- und Einflussanalyse einer Stützverbauung

Die oben dargestellte Abbildung ist zeilenweise zu lesen und nach Bedarf bzw. neuen Erkenntnissen zu erweitern. Mit Hilfe der Delphi-Umfrage 2002 werden nun die Ursachen zur Bewertung der Zuverlässigkeit von Stützbauwerken quantifiziert. Folgende Gründe für das Versagen einer Stützverbauung wurden befragt:

1. Fläche zu gering verbaut
2. Werkshöhe zu gering
3. Schäden an der Verbauung
4. Werksabstand in Falllinie zu groß
5. seitliche Werkzwischenräume zu groß
6. Rostabstand zu groß
7. Einwehung nicht berücksichtigt



8. Anbrüche oberhalb, unterhalb und seitlich

Die Beantwortung dieser Fragen erscheint primär qualitativ. Durch die Ergebnisse der Delphiumfrage 2002 werden sie jedoch in eine quantitative Form gebracht und vom Gutachter aufgrund Expertenbefragung oder langjähriger Erfahrung evaluiert.

In Tabelle 14 sind die vorläufigen Wahrscheinlichkeitswerte aus der Delphi - Umfrage 2002, für die Ursachen des Versagens einer Verbauung, getrennt nach den wirkungsbestimmenden Faktoren dargestellt.

Mögliche Ursache eines Lawinenabganges:	Wahrscheinlichkeiten aus DELPHI Umfrage 2002
Werkabstand in Falllinie zu groß	0,022
Seitliche Werkzwischenräume zu groß	0,016
Rostabstand zu groß	0,021
Schäden an der Verbauung	0,017
Einwehung nicht berücksichtigt	0,025
Fläche zu gering verbaut	0,029
Werkshöhe zu gering	0,024

Tabelle 11: Versagenswahrscheinlichkeiten einer Stützverbauung, aus DELPHI Umfrage 2002.

In weiterer Folge dienen die Werte in Tabelle 14 als Grundlage zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit einer Lawine. Siehe dazu Kapitel E.4.2.3

E.3. RISIKOVERMINDERUNG DURCH TEMPORÄRE SCHUTZMAßNAHMEN

Das Ursachen-Wirkungsgefüge temporärer Methoden ist im Gegensatz zu permanenten Lawinenschutzmaßnahmen ein ungleich komplexeres. Es erfordert eine ständige Auseinandersetzung der



verantwortlichen Personen mit vorhandenen lawinenbildenden Bedingungen, logistischen sowie technischen Herausforderungen und sicherheitsrelevanten Fragen. Der Entscheidungsprozess des Sachverständigen trägt somit einen entscheidenden Beitrag zum Erfolg und letztendlich zur Risikoverminderung durch eine temporäre Maßnahme bei.

E.3.1. LAWINENWARNDIENST UND LAWINENKOMMISSION

E.3.1.1. Lawinenwarndienst

Der Lawinenwarndienst ist eine Einrichtung der jeweiligen Landeswarnzentralen. Der erste Lawinenwarndienst Österreichs wurde 1953 in Vorarlberg gegründet. Bis auf die Bundesländer Wien, Niederösterreich und Burgenland besteht heute in jeder Landeswarnzentrale ein Lawinenwarndienst. Ziel des Lawinenwarndienstes ist die Optimierung des Lawinenschutzes und der Lawinenprophylaxe in den von der Naturgefahr Lawinen betroffenen Gebieten. Dies wird erreicht durch kurz- und langfristige Sicherungsmaßnahmen, ein überregionales Warnsystem und umfassende Öffentlichkeitsarbeit. Die Aufgabenbereiche des Lawinenwarndienstes werden folgend zusammengefasst:

- Unterhaltung eines räumlich repräsentativen Mess- und Beobachtungsnetzes im gesamten Bundesland
- Erfassung der lawinenrelevanten Wetter- und Schneeparameter
- Erkundungsflüge und Geländebegehungen zur Erfassung der aktuellen Schnee- und Lawinensituation
- Erstellung und Verbreitung eines überregionalen Lawinenlageberichtes
- Beratung der zuständigen Entscheidungsträger des Landes, der Gemeinden, Bezirkshauptmannschaften und örtlichen Lawinenkommissionen, sowie sonstigen Bedarfsträgern für temporäre Lawinenschutzmaßnahmen
- Einschulung von Beobachtern sowie Organisation und Betreuung der Aus- und Weiterbildung von Lawinenkommissionsmitgliedern
- Öffentlichkeitsarbeit durch Berichte, Interviews, Teilnahme an Podiumsdiskussionen für die

Medien und Vorträge bei den Rettungsorganisationen und Alpinen Vereinen

- Gutachten und Berichterstellung für Gerichte, Versicherungen, Planungsbüros, Tourismuseinrichtungen, etc. und Teilnahme an Verhandlungen und sonstigen Veranstaltungen dieser Organisationen.
- Auskünfte an Versicherungen, Planungsbüros, Studenten, etc.

Lawinenwarndienste veröffentlichen regelmäßig Lageberichte mit dem Ziel, Schitourenfahrer und Bergsteiger über die Lawinensituation zu informieren sowie den örtlichen Verantwortlichen (Lawinenkommissionen, Betriebsleitungen von Seilbahnen und Liften, Leitungen von Hochgebirgsbaustellen u. ä.) eine Beurteilungsgrundlage anzubieten (Lawinenhandbuch, 2000).

E.3.1.2. Lawinenkommission

Lawinenkommissionen sind Arbeitsgruppen, zuständig für die Lawinensicherung der Verantwortungsbereiche (Wintersporteinrichtungen, Straßensicherung, usw.) innerhalb einer Gemeinde, wobei meist der Bürgermeister den Vorsitz führt. Für das sog. Freie Gelände ist der Lawinenwarndienst zuständig.

Rechtliche Grundlage für die Lawinenkommissionen der Gemeinden bilden die Gemeindeordnungen bzw. die in einigen Ländern erlassenen Katastrophenhilfsdienstgesetze, welche den Bürgermeister ermächtigen, ein unterstützendes und beratendes Gremium für besondere Aufgaben zu ernennen. Das Land Tirol hat 1992 die Tätigkeit der Lawinenkommissionen im Lawinenkommissionsgesetz (LKG) neu geregelt (Lawinenhandbuch, 2000).

Es besagt, dass in Gemeinden, in deren Gebiet die Gefahr von Lawinenkatastrophen besteht, eine Lawinenkommission einzurichten ist. Lawinenkatastrophen im Sinne dieses Gesetzes sind Lawinenereignisse, die in großem Umfang das Leben oder die Gesundheit von Menschen oder Eigentum gefährden, insbesondere in Siedlungsgebieten, auf Straßen und Wegen mit öffentlichem Verkehr, bei Lift- und Seilbahnanlagen oder bei Sportanlagen, wie Schipisten, Loipen, Rodelbahnen und dergleichen. Eine Lawinenkommission besteht aus mind. 3 Personen, vom Bürgermeister auf 5 Jahre bestellt. Die Schulung der Mitglieder erfolgt durch die jeweiligen Länder, bzw. Lawinenwarndienste. Folgende Aufgabenbereiche obliegen der örtlichen Lawinenkommission:

1. Beurteilung der lokalen Lawinengefahr auf Grund von örtlichen Beobachtungen der lawinenrelevanten Wetter- und Schneedeckenentwicklung sowie des Lawinenlageberichtes.
2. Beratung der örtlichen Sicherungspflichtigen für temporäre Sicherungsmaßnahmen zur Risikominimierung bei akuter Lawinengefahr.

Zu 1.: Die Grundlagen zur Beurteilung der vorhandenen Lawinengefahr für die Lawinenkommissionen sind Wetterberichte, Lageberichte der Lawinenwarndienste sowie örtliche Beobachtungen und zeitliche Messungen der maßgeblichen Einflussgrößen .

Die messbaren Einflussgrößen können nach Gubler, 1989, folgendermaßen gruppiert werden:

- Aktuelles Wetter und Witterungsablauf seit Beginn des Aufbaues der Schneedecke,
- Topgraphie,
- Exposition sowie Bodenrauhigkeit und Bodenbedeckung,
- physikalische Eigenschaften des Schnees,
- Zeitpunkt und Größe bereits früher aus dem gleichen Anrissgebiet abgegangener Lawinen.

Da die meisten messbaren Größen nur mit einer begrenzten Genauigkeit angegeben werden können, ist man auf Wahrscheinlichkeiten oder Häufigkeitsverteilungen derselben angewiesen. Somit kann bestenfalls auch nur eine Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Lawinen während einer bestimmten Zeitperiode ausgesagt werden. Die Genauigkeit einer solchen Voraussage steigt, umso direkter unsere Messgrößen die aktuelle Stabilität der Schneedecke und deren Entwicklung beschreiben (Gumbler,1989).

Eine möglichst genaue Beurteilung der Lawinengefahr ist eine unabdingbare Voraussetzung, um temporäre Lawinenschutzmaßnahmen zur richtigen Zeit, am richtigen Ort und im richtigen Ausmaß anwenden zu können (Lawinenhandbuch, 2000).

Zu 2.: Gemäß §3 Abs.2 LKG hat die Lawinenkommission auf Verlangen der Betreiber von Lift- und Seilbahnanlagen sowie von Sportanlagen wie Schipisten, Loipen, Rodelbahnen und dergleichen, die Lawinensituation in Bezug auf diese Anlage zu beurteilen. Damit ist festgelegt, dass die Lawinenkommission nicht von vornherein für die Sicherung von etwa Schipisten zuständig ist. Die Sicherungspflicht bleibt vielmehr beim Betreiber. Dieser hat allerdings die Möglichkeit, sich zur leichteren

Urteilsfindung der Lawinenkommission zu bedienen.

Während das Gesetz dem Betreiber diese Möglichkeit einräumt, trifft die Lawinenkommission eine Verpflichtung tätig zu werden, wenn der Betreiber dies verlangt. Ob er aufgrund einer Empfehlung der Lawinenkommission dann eine Fläche sperrt, liegt ganz beim Betreiber, der somit seine Verantwortung nicht vollständig an die Lawinenkommission abtreten kann (Khakzadeh, 2001).

Qualifikation der Lawinenkommissionsmitglieder als Sachverständige (SV), aus: „Die Lawinenkommissionen in den Tiroler Gemeinden“ (Khakzadeh, 2001):

Ob die Mitglieder der LK als SV iSd ABGB zu qualifizieren sind, ist vor allem bei der Beurteilung von Haftungsfragen sehr bedeutsam. Der Begriff des SV im ABGB ist ein allgemeiner und geht deutlich über jenen der Verfassungsgesetze hinaus. Nach bürgerlichem Recht ist SV jeder, der eine Tätigkeit ausübt, die besondere Fähigkeiten erfordert. Die Ausübung der Tätigkeit eines LK – Mitglieds erfordert besondere Fähigkeiten, denn nach §2 Abs. 3 LKG dürfen nur Personen bestellt werden, „ die auf Grund ihrer Kenntnisse und Fähigkeiten in besonderem Maße geeignet sind, drohende Lawinengefahren zu erkennen und zu beurteilen sowie bei der Abwehr von Lawinengefahren und der Bekämpfung von Lawinenkatastrophen tätig zu sein.“ Schon die Tatsache, dass sich die jeweiligen Entscheidungsträger zur Beurteilung der Lawinengefahr anderer Personen bedienen, deutet darauf hin, dass die Kenntnisse eines gewöhnlichen Menschen für diese Aufgabe nicht ausreichen, sondern dass vielmehr besondere Sachkenntnis erforderlich ist. In Folge dessen werden Personen herangezogen, deren Fähigkeiten über die durchschnittlichen Fähigkeiten von vergleichbaren Personen hinausgehen; diese sind als sachkundig iSd Gesetzes anzusehen.

Nachfolgend werden die 2 wichtigsten temporären Maßnahmen für bestehende Schigebiete beschrieben und hinsichtlich ihrer Risikoreduktion besprochen. Zunächst der Vorgang der Sperre. Anschließend die Methode der künstlichen Lawinenauslösung.

E.3.2. SPERRE

E.3.2.1. Aufgabe



Sperrmaßnahmen sind überall dort erforderlich, wo Lawinengefahr für angebotene Verkehrsflächen auftritt (Straßen, Gemeindewege, Spazierwege, Schipisten, Loipen, Rodelwege). Eine Sperre ist so anzuzeigen, dass selbst bei ihrer Nichtbeachtung durch mehrere Fahrzeuge, Fußgänger oder Schiläufer für den nachfolgenden Benutzer erkennbar bleibt. (Lawinenhandbuch, 2000).

Werden Sperren kurzfristig angelegt (keine langen Sperrzeiten), dann ist es eine effektive und kostengünstige Lawinenschutzmaßnahme. Um kurze Sperrzeiten in Schigebieten gewährleisten zu können, werden Lawinhänge mit Hilfe von Lawinensprengmethoden getestet.

E.3.2.2. Schutzziel

Ziel ist es lawinengefährdete Bereiche als solche zu deklarieren und auf die vorhandene Gefahr aufmerksam zu machen.

E.3.2.3. Wirkungsweise

Durch Warnsignale, Warntafeln, Absperrungen oder Schranken wird deutlich auf die Gefährlichkeit eines Lawinenhanges hingewiesen. Diese Warnhinweise dienen der Öffentlichkeit als Informationsquelle. Bei Nichtbeachtung der Warnhinweise muss, vor allem in Schigebieten, mit Sanktion (Geldbussen) zu rechnen sein. Damit soll eine Gefährdung unbeteiligter Personen trotz Lawinenabspermaßnahmen reduziert werden.

E.3.2.4. Wirkungsbestimmende Faktoren

Eine erfolgreiche Sperre wird durch folgende Faktoren beeinflusst.

E.3.2.4.1. Lawinenkommission

Sperren sollten nur dann erfolgen wenn auch tatsächlich Lawinengefahr herrscht. Die Effektivität einer Sperre hängt somit von der Glaubwürdigkeit und Entscheidung der Lawinenkommission ab.

E.3.2.4.2. Dauer der Sperre

Die Sperrzeiten sollten kurz gehalten werden und so rasch wie möglich nach einer Stabilisierung des gefährdeten Hanges aufgehoben werden. Lange Sperrzeiten attraktiver Schihänge laden eher zu einer Missachtung der Lawinengefahr ein.

E.3.2.4.3. Information

Benützer des Schigebietes müssen laufend über die momentane Lawinensituation informiert werden. Dies geschieht durch Hinweistafeln in stark frequentierte und gefährdete Bereiche.

E.3.2.4.4. Sperrgebiet

Die Grenzen der Sperrzone sollen sich den topographischen Gegebenheiten des Geländes anpassen (Grat, Rücken, Waldgrenze,...). Schifahrer sollten nicht in der Mitte einer Piste gestoppt werden. Die Wahl des Sperrgebietes soll den Betrieb im gesicherten Schiraum nicht behindern.

E.3.2.5. Bestimmung der Sperrungswahrscheinlichkeit

Da die Sperre keinen Einfluss auf den Abgang einer Lawine hat, ist die Sperrungswahrscheinlichkeit auf Seite der Expositionsanalyse maßgebend. Die Frage ist, wie viele Sperrungen pro Schisaison werden in einem Schigebiet durchgeführt. Da die kleinste betrachtete Einheit ein Anbruchgebiet ist, müssen die Sperrwahrscheinlichkeiten für Pisten bzw. Routen, die den maßgeblichen Lawenstrich kreuzen, ermittelt werden. Dies geschieht entweder über Erfahrungswerte, oder mit Hilfe der DELPHI Umfrage 2002. Die Wahrscheinlichkeiten der DELPHI Umfrage 2002 sind durchschnittliche Werte und gelten für ganz Österreich. Die Implementierung der Sperrungswahrscheinlichkeit in die Expositionsanalyse wird im E.4.4.4 erläutert.

E.3.3.1. Aufgabe

Die künstliche Lawinenauslösung ist ein Teilbereich des temporären Lawinenschutzes. Die künstliche Auslösung nutzt den Zustand der Schneedecke mit geringer Stabilität, um durch äußere Einwirkungen den Lawinenabgang zum gewollten Zeitpunkt zu erzeugen. Voraussetzung ist also eine Abgangsbereitschaft der Schneedecke, d.h. Lawinengefahr (Lawinenhandbuch, 2001).

Durch eine künstliche Einwirkung (im meisten Fall durch eine Sprengung) wird ein Initialbruch in einem eng begrenzten Feld hervorgerufen. Aufgrund der Spannungs- und Festigkeitsverhältnissen muss es in Folge zu einer Bruchfortpflanzung im ganzen Hang kommen, um eine brauchbare Auslösung zu erreichen.

E.3.3.2. Schutzziel

Die künstliche Lawinenauslösung hat zum Ziel, bei Lawinengefahr mögliche Anrissgebiete, Sturzbahnen und Ablagerungsgebiete temporär zu sichern und längere Sperrzeiten zu vermeiden. Zusätzlich können, durch Auslösung mehrerer kleiner Lawinen, spontane Großlawinen vermieden werden (Stoffel,2001).

Folgende Bedingungen gelten als Maß für das Risiko bei einer künstlichen Lawinenauslösung.

- In der gesamten Lawinenbahn, darf keine Gefahr für Menschen und Anlagen bestehen (organisierter Schiraum).
- Für die ausführende Mannschaft dürfen beim Zugang keine oder höchstens geringe und verantwortbare alpine Gefahren sowie keine Gefährdung aus der zur Anwendung gelangenden Auslösemethode vorliegen.
- Eine wirksame Auslösemethode ist anzuwenden, damit der Test der Lawinensituation zuverlässig gewährleistet ist.
- Es empfiehlt sich eine leicht ausführbare und möglichst preiswerte Auslösemethode, um häufige

Tests und portionsweise Entladungen vornehmen zu können.

- Schädliche bzw. gefährliche Nebenwirkungen (im Gelände bleibende Metallsplitter oder Blindgänger, Erosion als Folge der Zerstörung der Bodenoberfläche) müssen vermeiden werden (Lawinenhandbuch, 1996).

E.3.3.3. Wirkungsweise

Folgende Wirkungsweisen beziehen sich auf Methoden der künstlichen Auslösung mit Sprengstoffen.

Während einer Detonation wird Sprengstoff unter Wärmeentwicklung schlagartig in Gas umgewandelt. Die sich ausbreitende Druckwelle bewirkt eine bedeutende Zusatzbelastung auf die Schneedecke. Die Zusatzbelastung stellt einen Test der Schneedeckenstabilität dar, was zu einer Lawinenauslösung, das heißt einer positiven Sprengung führen kann. Falls keine Lawine ausgelöst wird, spricht man von einer negativen Sprengung (Stoffel, 2001).

E.3.3.4. Wirkungsbestimmende Faktoren

Nachfolgend werden die maßgeblichen Wirkungsfaktoren für die künstliche Lawinenauslösung erläutert. Diese sind unabhängig von den gewählten Sprengmethoden.

E.3.3.4.1. Lawinenkommission

Für den Erfolg von künstlichen Lawinenauslösungen sind die Erkenntnisse bzw. Entscheidungen der Lawinenwarndienste bzw. der Lawinenkommissionen entscheidende Faktoren. Voraussetzung für eine positive Sprengung ist eine Abgangsbereitschaft der Schneedecke, d.h. Lawinengefahr. Diese lokal festzustellen ist Aufgabe der Lawinenkommission (siehe auch E.3.1.).

E.3.3.4.2. Potentielles Anbruchgebiet



Zunächst sollen wirkungsbestimmende Faktoren bei der Betrachtung des potentiellen Anbruchgebietes erläutert werden.

Für den Erfolg einer künstlichen Lawinenauslösung ist die Wahl des Sprengzeitpunktes und der Anrissgebiete, die erzeugte Sprengwirkung und der Ablauf der Sicherungsaktion entscheidend.

Von einer negativen Sprengung wird gesprochen, wenn keine Lawinenauslösung gelingt oder nur ein kleiner Oberflächenrutsch ausgelöst wird, welcher der gewünschten Entladung des Anrissgebietes nicht entspricht. Im Gegensatz dazu wird eine Sprengung als positiv bezeichnet, falls eine Lawine ausgelöst und eine wesentliche Entladung des Anrissgebietes erreicht wurde (Stoffel, 2001).

E.3.3.4.3. Wahl des Sprengzeitpunktes

Sprengensätze sollten unmittelbar nach Schneefällen oder Tribschneeablagerungen durchgeführt werden. Bei Großschneefällen sollten Sprengungen schon während des Schneefalles einsetzen. Folgende Parameter für den Sprengensatz gelten für Neuschneesituationen (Tabelle 12).

	Günstig für Sprengung	Ungünstig für Sprengung
Neuschneemenge	mittel (-groß)	Gering sehr groß, große Tribschneeablagerungen (Großlawinen)
Wind während Schneefall	stark (ab ca.40-50 km/h)	schwach oder kein Wind (bis ca. 20 km/h)
Lufttemperatur	0 bis -5°, (0 bis -10°) kurzfristig stark steigende Temperatur v.a. in den Bereichen von -5° bis 0°	deutlich unter -10° über 0° kurzfristig sinkende Temperatur

Altschneedecke	schwache Verbindung	starke Verbindung	Neu-
	Neu-/Altschnee	/Altschneedecke	
	schwache Zwischenschicht	stabiler Schneedeckenaufbau	
	schwaches Fundament (Achtung große Lawinen)	starkes Fundament	

Tabelle 12: Parameter für den Sprengeneinsatz

Werden Sprengeneinsätze zu spät gewählt, kann es, je nach Zustand der Schneedecke, zu Abweichungen des ursprünglichen Sprengzieles kommen.

Normalerweise wird aufgrund der aktuellen Lawinensituation die mögliche durchschnittliche Anrissmächtigkeit d_0 im Anbruchgebiet geschätzt.

Die geschätzte Anrissmächtigkeit d_0 bezeichnet die Höhe der abgehenden Schneeschicht hangsenkrecht gemessen. Die abgehende Schneeschicht kann aus dem Neuschnee oder aus dem Neuschnee plus oberen Altschneeschnichten bestehen (Stoffel, 2001).

Für die Beurteilung ist d_0 mit einem vorher ermittelten, hangspezifischen Wert d_1 zu vergleichen. Dieser hangspezifische Wert bezeichnet die Schneemächtigkeit, die eine Einsatzempfehlung für die künstliche Auslösung im betreffenden Gebiet darstellt.

Aufgrund starker Neuschneefälle hoher Intensität und Ergiebigkeit können die tatsächlichen Anrissmächtigkeiten die vorher ermittelten, hangspezifischen, Mächtigkeiten übersteigen. Stoffel, 2001, gibt an, dass bei sehr großen Neuschneemengen von über 80 cm bei einem vorhandenen Schadenpotential auf die künstliche Lawinenauslösung zu verzichten ist.

Wird bei oben beschriebenen Verhältnissen zu spät gesprengt, steigt das Risiko einer Großlawine, also einer Lawine welche den angenommenen Ausschüttungsbereich überstreicht und somit Bereiche des ungespernten Schiraumes erreicht.

Kommt es vor der Sprengung zu einer verstärkten Schneedeckensetzung durch Erwärmung, steigt das Risiko einer negativen Sprengung. Deshalb ist die Wahl des Sprengzeitpunktes vor allem im Frühjahr zu berücksichtigen und darf nicht zu spät angesetzt werden. Die kritische Lawinensituation für das künstliche Auslösen steigt mit der Dauer der Erwärmungsperiode. Es kann die Gefahr von Nassschneelawinen bei entsprechender Wassersättigung auftreten.



Die Sprengwirkung bei Nassschnee ist allgemein schlecht (Stoffel, 2001).

Das Risiko einer negativen Sprengung erhöht sich jedoch auch bei tiefen, resp. lockerem, kohäsionslosem Neuschnee da die Wirkung zu klein sein kann um eine Auslösung zu bewirken. Es erfolgt zwar ein Initialbruch, aber keine Bruchfortpflanzung innerhalb der Schneedecke. Günstig ist somit ein späterer Sprengzeitpunkt, d.h. bei Südhängen unmittelbar vor Sonneneinstrahlung, evtl. kurz danach.

Jede negative Sprengung birgt das Risiko sog. „post controlled avalanches“ oder auch „Spätzünderlawinen“ genannt.

Darunter versteht man Lawinen, die nicht unmittelbar nach einem Auslöseversuch, sondern wenige Minuten bis einige Stunde später abgehen.

E.3.3.4.4. Wahl der Anbruchsflächen

In welchen Anrissgebieten Sprengsätze durchgeführt werden, ist von der Beurteilung der Gefährdung des zu sichernden Bereiches, resp. vom Sicherungskonzept und den Einsatzempfehlungen abhängig. Das Problem liegt in der Berücksichtigung aller kritischen Anrissgebiete bei einer bestimmten Lawinensituation (Stoffel, 2001).

In folgender Reihenfolge sollen Anrissgebiete gewählt werden.

- Generell soll in Anrissgebieten ohne Schadenpotential begonnen werden.
- Südhänge sind falls möglich, vor einer größeren Sonneneinstrahlung zu sichern, da die Auslösung infolge Verfestigung des Neuschnees innerhalb kürzester Zeit erschwert sein kann (siehe auch oben). Südhänge vor Nordhänge sichern.
- Je steiler ein Anrissgebiet ist, umso früher kann und soll ein Auslöseversuch durchgeführt werden (Hangneigungseinfluss). Bei einem größerem Neuschneezuwachs ist bei flacheren Anrissgebieten mit Neigungen von 28-32° zu beachten, dass die Auslösewahrscheinlichkeit nach einer ersten Verfestigung klein ist (aus Stoffel, 2001).

Unabhängig vom Sprengzeitpunkt kann die Wahl des Anrissgebiets zu einem erhöhtem Risiko einer

künstlichen Auslösung führen. Dies ist dann der Fall, wenn es durch eine positive Sprengung zu einer Fernauslösung und in Folge zu Sekundärlawinen kommt. Diese Sekundärlawinen können, da aus anderen Anrissgebieten gebildet, Bereiche des nicht gesperrten organisierten Schiraum überstreichen.

E.3.3.4.5. Erzeugte Sprengwirkung

Unter Sprengwirkung versteht man die Größe der künstlich erzeugten Zusatzbelastung, die bei Stabilitätsbetrachtungen zum Eigengewicht der Schneedecke zu addieren ist (Salm, 1982). Die Sprengwirkung nimmt mit zunehmendem Abstand vom Sprengpunkt ab (Abbildung 43). Der Sprengpunkt bezieht sich auf den Ort im Gelände, an dem gesprengt wird. Die Wirkungszone (Abbildung 43) einer Sprengung ist diejenige Kreisfläche um den Sprengpunkt, innerhalb welcher die erzeugte Zusatzbelastung eine bestimmte Mindestgröße aufweist. Wirkungszone werden für die Beurteilung negativer Sprengungen sowie für die Erarbeitung von Sicherheitskonzepten gebraucht (Stoffel, 2001).

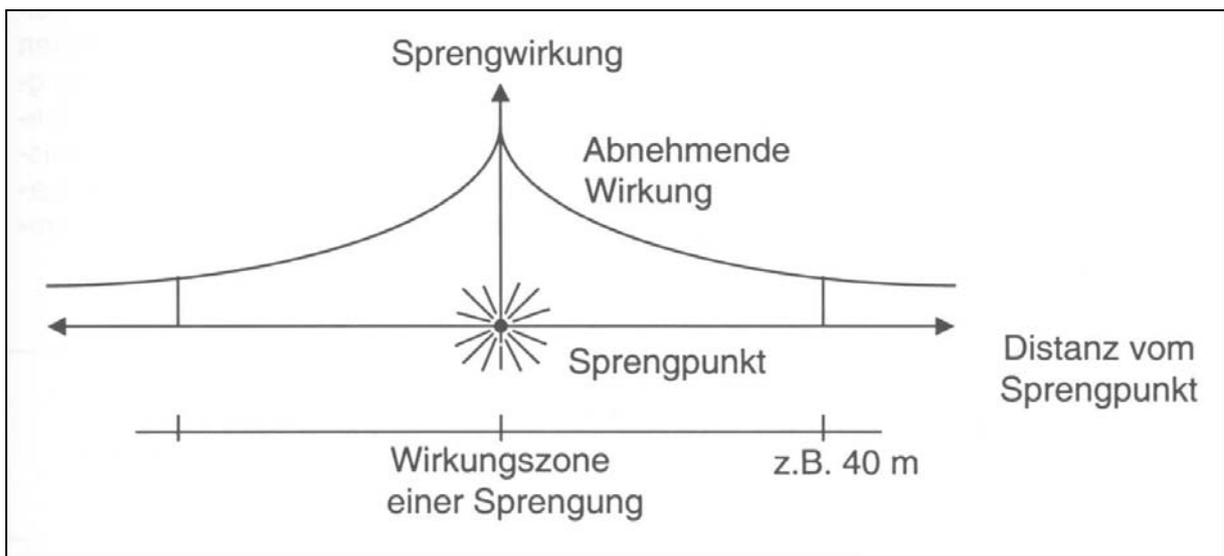


Abbildung 43: Sprengwirkung und Wirkungszone (Stoffel, 2001)

Die wichtigsten Einflussfaktoren auf die Sprengwirkung sind der Sprengpunkt, die Sprengpunkthöhe, die Ladungsgröße und der Sprengstofftyp (Stoffel, 2001).



Die Wahl des Sprengpunktes im Gelände ist entscheidend für die Wirkungszone einer Sprengung. Ungünstig gesetzte Sprengpunkte erzeugen einen sog. Druckschatten (siehe Abbildung 44).

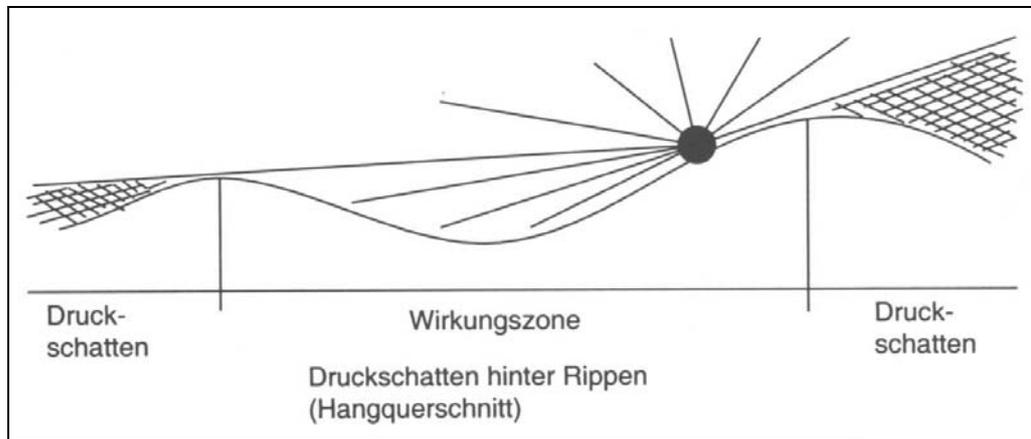


Abbildung 44: Druckschatten (Stoffel, 2001)

Im Druckschatten erfolgt keine Zusatzbelastung der Schneedecke durch die Sprengung. Somit ist die Wirkungszone reduziert. Durch Bruchfortpflanzung kann jedoch sehr wohl eine Störung der Schneedecke im Druckschatten eintreten. Daraus können spontan oder durch minimale Zusatzbelastungen „post controlled avalanches“ abgehen.

Die Anzahl der Sprengpunkte hängt von der jeweiligen Lawinensituation ab.

Eine Änderung der Sprengpunkthöhe ist meist durch die Methode der künstlichen Auslösung beschränkt. Zum Beispiel können Überschneesprengungen mittels Handsprengungen ohne Gratausleger nicht erfolgen. Man unterscheidet Oberflächensprengungen (auf der Schneedecke), Überschneesprengungen (über der Schneedecke) und Sprengungen in der Schneedecke.

Allgemein gilt, dass bei trockenem Neuschnee die größten Wirkungszone mit Überschneesprengungen erreicht werden. Im Vergleich zur Oberflächensprengung wird der Wirkungsradius mit Überschneesprengungen deutlich vergrößert, wobei die Wirkung im Sprengpunktbereich kleiner ist als bei Oberflächensprengungen. Sprengungen in der Schneedecke erzeugen kleine Wirkungszone (siehe Abbildung 45) (Stoffel, 2001).

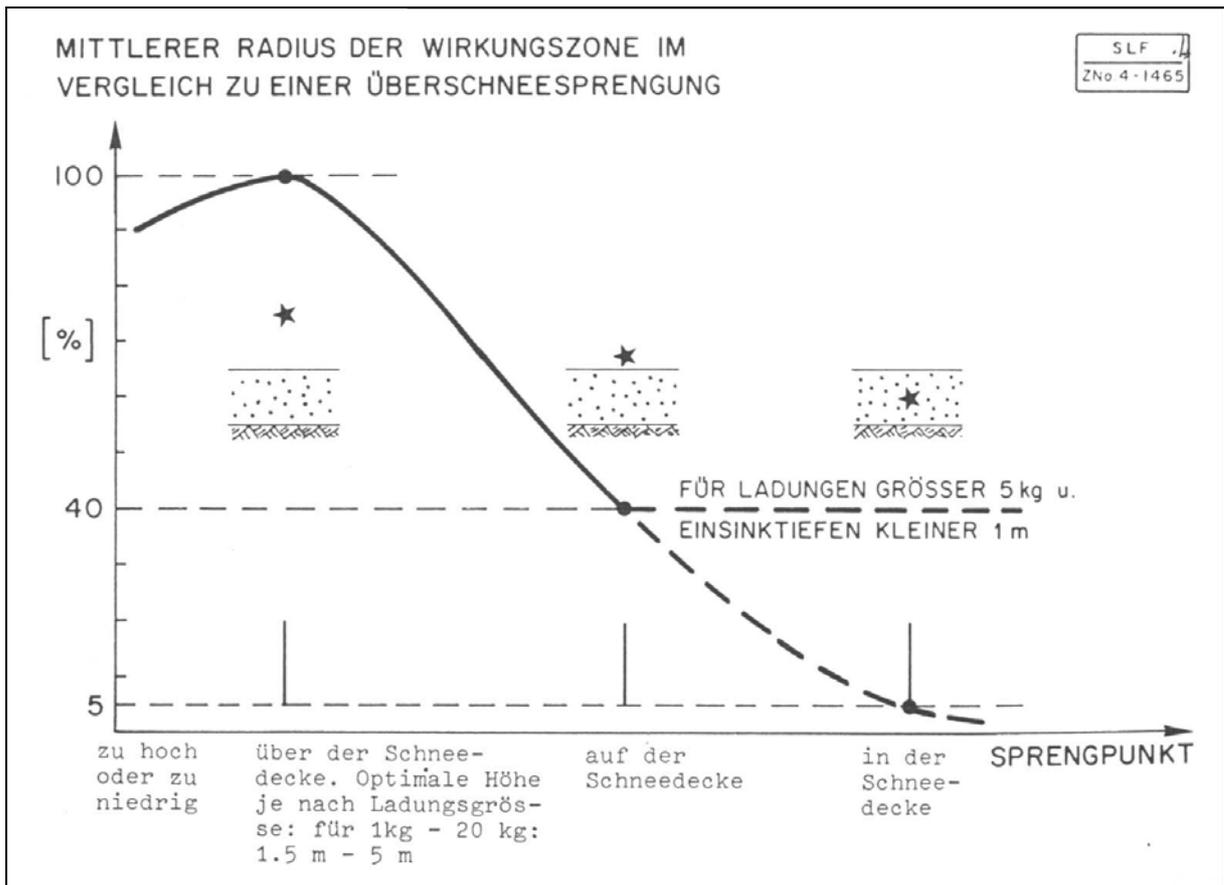


Abbildung 45: Radius der Wirkungszone verschiedener Sprengpunkthöhen im Bezug des 100% Wirkungsradius einer Überschneesprengung

Der 100% Wirkungsradius in Abbildung 45 bezieht sich auf eine Überschneesprengung mit einer 1kg (Plastex) Ladung.

Die Ladungsgröße hat einen großen Einfluss auf die Sprengwirkung. Grosse Ladungen führen zu einer größeren Sprengwirkung und ergeben größere Wirkungszone (Stoffel, 2001).

Kriterien		Wirkungsradius bei trockenem Neuschnee
Ladungsgröße	Ausgangsgröße	100%
	Eineinhalbfach	(1,5x) 120%
	Doppelt	(2x) 130-140%



	Verdreifachung (3x)	150-170%
Sprengpunkthöhe	Oberflächensprengung	100%
	Überschneesprengung, +2-3,5m (ca. +2-2,5m für 1,5-2,5 kg ca. +3-3,5m für 4-5 kg)	200-250%
	Überschneesprengung, +1m	150%
	Sprengung im Schnee, ca. -0,7m	25%

Tabelle 13: Einflüsse der Ladungsgrößen und der Sprengpunkthöhe auf den Wirkungsradius (Stoffel, 2001).

E.3.3.5. Methoden der künstlichen Lawinensprengung

Nachfolgend werden die in Österreich angewandten Sprengmethoden vorgestellt. Es sei hierbei hingewiesen, dass Geschosse wie Raketenrohre und Minenwerfer in Österreich verboten sind und deshalb nicht behandelt werden.

E.3.3.5.1. Handsprengung

Handsprengungen umfassen das Werfen von Einzelladungen von einem sicheren Standort aus, sowie sogenannte Aufleger. Bei Würfeln ist der ungesicherte und der gesicherte Wurf zu unterscheiden, bei dem die Ladung an einer Schnur befestigt ist. Dies hat den Vorteil, dass eingesunkene Ladungen an die Oberfläche zurückgezogen oder günstiger positioniert werden können. Das Abgleiten von Ladungen auf einer harten Schneeoberfläche kann ebenfalls vermieden werden (Stoffel, 1996).

Die Handsprengung beschränkt sich bei der Einhaltung der üblichen alpinen Sicherheitsmaßnahmen auf erreichbare bzw. begehare Gratstellen (Lawinenhandbuch, 2000).

E.3.3.5.2. Sprengschlitten

Auf zwei breiten Kufen ragt ein rutenartiger Ausleger heraus, an dem die Sprengladung oberhalb der



Schneedecke zur Detonation gebracht wird, ohne den Schlitten zu beschädigen. Der Einsatz ist von der Zugänglichkeit einer Stelle oberhalb des Lawinenhanges abhängig. Durch die Führung der Kufen kann ein Eingleiten auch schräg zum Hang erfolgen, so dass der Anwendungsbereich gegenüber der Handsprengung erweitert ist (Lawinenhandbuch, 2000).

E.3.3.5.3. Sprengrute und Gratausleger

Durch einen mobile, auf max. 10m ausziehbare Rute, bzw. einem fix am Grat montierten Ausleger wird über eine Endrolle an der Spitze, die Sprengladung über der Schneedecke eines Lawinenhanges positioniert und gezündet.

Der Anwendungsbereich ist ebenfalls durch die Zugänglichkeit und die Reichweite der Rute bzw. des Auslegers beschränkt. Bei Gratausleger ist durch den festen Standpunkt nur ein bestimmter Kreisabschnitt bestreichbar (Lawinenhandbuch, 2000).

E.3.3.5.4. Lawinensprengung aus Hubschraubern

Der Hubschrauber erlaubt sowohl im Abwurf als auch beim Absenken einer Ladung ihre optimale Platzierung im Lawinenhang. Beim Abwurf wird die gezündete Ladung an der gewählten Stelle abgeworfen, gekreuzt angebrachte Stäbe („Igel“) verhindern das Abgleiten.

Beim Absenken wird die an etwa 1,5m langen Stangen gebundene Ladung mit einer Leine abgelassen. Diese wird knapp über der Schneedecke gekappt, so dass die fallende Stange im Schnee stecken bleibt. Durch die Detonation über der Schneedecke sind die erfolge wesentlich besser. Den räumlich beinahe unbegrenzten Einsatzmöglichkeiten des Hubschraubers steht als Nachteil entgegen, dass ein Einsatz erst bei brauchbaren Flugwetter, also nach Beendigung des Schneefalles, möglich ist.

Eine künstliche Lawinenauslösung wird dabei oft die gesamte abgangsbereite Schneedecke als Lawine in Bewegung setzen so dass auch große Lawinen zu erwarten sind (Lawinenhandbuch, 2000).

Die genaue Vorgehensart der Hubschraubersprengung muss unter dem Piloten, dem Sprengbefugten und der Absperrmannschaft abgesprochen sein. Von Vorteil ist, wenn immer die gleichen Personen zusammen arbeiten. Der Pilot kennt dann die Hänge, was effizienter ist. Bei relativ schlechter Sicht wird ein hohes fliegerisches Können des Piloten verlangt (Stoffel, 1996).

E.3.3.5.5. Lawinensprengbahnen



Von einem lawinensicheren Standpunkt aus wird über ebenfalls sicher angebrachte Rollen (Stützen) eine Sprengladung an einem rundlaufenden Seil zum vorgewählten Sprengpunkt gebracht. Die Durchführbarkeit zu jeder Zeit, auch ohne Sicht, und die Detonation der Ladung über der Schneedecke bewirken hohe Erfolgszahlen (Lawinenhandbuch, 2000).

Zu Beachten ist, dass sich ihre Wirkung auf eine begrenzte Fläche entlang des Seiles beschränkt, welches eine sorgfältige Planung der Linienführung erfordert. Im weiteren kann die Funktionstüchtigkeit durch starke Winde, durch Reifbildung/vereisenden Regen eingeschränkt sein (Stoffel, 1996). Der Antrieb hängt im Wesentlichen von der Länge der Sprengbahn ab. Für kurze Bahnen mit einer Gesamtlänge unter 1000m ist der Handantrieb noch vertretbar; das erhöhte Gewicht bei Einsatz eines Absenkgerätes erfordert aber einen motorischen Antrieb (Verbrennungsmotor/elektronisch) (Lawinenhandbuch, 2000).

Zur Anwendung gelangen zwei verschiedene Systeme: Im ersten Fall werden bereits abgesenkte Ladungen transportiert (von Topographie abhängig), während im zweiten Fall Ladungen am gewünschten Sprengpunkt mittels Absenkgerät (z.B.: Luco-Gerät).

Vorteil dieser Sprengmethode ist eine gewisse Flexibilität entlang der Seillinie bei sorgfältiger Wahl der Seilführung sowie ein hoher Wirkungsgrad durch eine Explosion im optimalen Abstand von der Schneedecke. Als nachteilig könnte sich der Zeitaufwand ergeben. Dieser entsteht durch Sprengen mehrerer Punkte. Bei Windeinwirkung können Versager nicht festgestellt werden (Wöherer-Alge, 2000).

E.3.3.5.6. Gaskanonenanlagen

Das unter der Bezeichnung GAZ.EX patentierte Verfahren beruht auf der auslösenden Wirkung eines Gemisches von 18% Propan und 82% Sauerstoff, welches im Lawinenanbruchgebiet oberhalb der Schneedecke zur Explosion gebracht wird. Diese Explosion erfolgt in Zündrohren, welche im Anbruchgebiet fix montiert sind. Es gibt Zündrohre („Gaskanonen“) mit einem Gemischvolumen von 1,5, 3,0 und 4,5 m³. Die Versorgung des Zündrohres mit Sauerstoff und Propangas erfolgt von einem zentralen Container aus, über eingegrabene Polyäthylenleitungen oder auf dem Boden verlegte Stahlleitungen. Im Container der max. 4 Zündrohre auf eine Distanz bis 400m versorgen kann, sind die Druckausgleichsbehälter, sämtliche Steuerungsventile und Armaturen, sowie die Propangasflaschen untergebracht. Die Sauerstoffflaschen werden in einem speziell hierfür konzipierten Behälter neben dem Container aufgestellt. Ebenfalls im Container untergebracht ist die Funksteuerung der Anlage samt Stromversorger (Batterie mit Stromversorgung über Solarpaneel).

Die Auslösung erfolgt über Funk, indem der Befüllungsvorgang des gewünschten Rohres eingeleitet



wird. Die Zündung selbst erfolgt durch ein am Zündrohr installiertes Unterdruckzündsystem.

Die auslösende Wirkung beruht im wesentlichen auf der auf die Schneedecke wirkenden Explosionsdruckwelle; außerdem wird durch den Rückstoß des Zündrohrs eine Erschütterung des Untergrunds verursacht, die ebenfalls lawinenauslösend wirken kann (Heumader, 1996).

Die Vorteile des Systems sind vor allem im Zusammenhang mit der Handhabung bei der Auslösung zu sehen. So erfolgt, im Gegensatz zur Handsprengung, die Bedingung von einem gesicherten Standort aus, es muss nicht mit Sprengstoff hantiert werden (keine Versagerprobleme) und es ist kein Hubschrauber notwendig. Seitens der Auslösung selbst kommt es zu einer wesentlich effizienteren „Überschneedeckensprengung“ und letztlich können im Rahmen des Einbaues auch Einrichtungen wie Wetterstationen (Versorgung vorhanden) integriert werden (Schnetzer, 2000). Zusätzlich kommt es zu einer beträchtlichen Verringerung der Zeit, da mehrere Zündrohre fast gleichzeitig gestartet werden können und zu geringeren Betriebskosten.

Als Nachteile wurden angeführt, dass der Sprengpunkt bzw. Sprengbereich nicht variiert werden kann, Wartungen, Reparaturen und eventuelle Verlegungen aufwendig sind, und auch die Zuverlässigkeit der Zündmechanismen nicht immer gegeben ist (umgehen durch 2fach Ausstattung) (Schnetzer, 2000).

E.3.3.5.7. Absenken und Abwerfen aus Bahnen

Diese Methode kann eingesetzt werden, falls eine Bahn ein potentielles Anrissgebiet traversiert und die Distanz zwischen der Bahn und dem Sprengpunkt genügend groß ist. Mit dem Absenken von Ladungen an einem Seil werden dabei deutlich bessere Resultate erzielt (Stoffel, 1996).

E.3.3.5.8. Lawinenpfeife

Die Lawinenpfeife stellt einen mobilen Einzelteil einer Lawinenorgel dar. Dabei handelt sich um ein Einzelwurfrohr welches das Absprengen von Lawinen die bei einer Sprengung von Hand nicht erreicht werden können. Das Wurfrohr wird auf einen verankerten Sockel gestellt. Nach Festlegung des Zielpunktes kann eine Vorbereitete Ladung in das Wurfrohr eingebracht werden. Durch unterschiedliche Treibladungen kann die Sprengladung 50 – 150m weit geworfen werden (Lawinenhandbuch, 2000).

Vorteil dieser Sprengmethode ist ihre Mobilität und die mögliche Reichweite. Nachteile ergeben sich bei Windeinfluss. Es ergeben sich dann große Abweichungen des Sprengwurfes von der vorgesehenen



Flugbahn. Da die Explosion unter der Schneedecke ergibt sich ein schlechter Wirkungsgrad der Sprengung (Wöhler-Alge, 2000).

E.3.3.5.9. Lawinenorgel

Bei der Lawinensprenganlage (Lawinenorgel) können in einem Schutzkasten mit elektrisch betätigter Tür bis zu 10 Werferrohre mit vorbereiteten Sprengladungen gefüllt werden. Die Rohre sind in einer Neigung von 40° angebracht. Die vor der Saison eingesetzte Ladungen können von einem PC aus über eine entsprechende Steuerung ausgelöst werden. Nach Einschalten der Steuerung wird ein geladenes Werferrohr gewählt. Die Tür wird automatisch geöffnet und mit der elektrischen Zündmaschine die Treibladung gezündet und die Sprengladung ausgeworfen (Lawinenhandbuch, 2000).

Über verschieden große Treibladungen können unterschiedliche Wurfweiten erreicht werden. Die maximale Reichweite horizontal beträgt ca. 150m. Die Ladungsgröße 2,5 kg(Lawinit) (Stoffel, 1996).

Positiv ist, dass ohne Sicht geschossen werden kann (inkl. Kurze Ausführungszeit, Sicherheit, Bedienmannschaft). Durch unterschiedliche Treibladungen und unterschiedliche Neigungen der Wurfrohre sind von einem Standort aus mehrere Ziele möglich. Weiters stellt die Anlage kein Luftfahrthindernis dar, wie etwa eine Sprengseilbahn (Ihrenberger, 2000). Als Nachteil können das Einsenken der Ladungen (auch Abrutschen), sowie dass pro Lawinenorgel ein relativ kleines Gebiet abgedeckt ist, bezeichnet werden (Stoffel, 1996). Zusätzlich muss angemerkt werden, dass der Standort der Anlage auch im Winter zumindest zeitweise erreichbar sein muss, um neue Sprengladungen anbringen zu können. Ein weiterer Nachteil ist die abnehmende Zielgenauigkeit bei schiefenden Einfallswinkel und das Vertragen der Ladung bei starker Windeinwirkung (Ihrenberger, 2000).

Allgemein gesehen bedeuten Sprengungen im Schnee immer einen geringen Wirkungsradius der Expositionswelle. Dieser schlechtere Wirkungsgrad wird in der Praxis durch den Einsatz der doppelten Sprengmenge zu kompensieren versucht.

E.3.3.6. Implementierung der wirkungsbestimmenden Faktoren in eine Fehler-, Möglichkeits- und Einflussanalyse (FMEA)

Wie schon für permanente Schutzmaßnahmen, können nun die wirkungsbestimmenden Faktoren der künstlichen Lawinenauslösung mittels einer FMEA gegenübergestellt werden. Dabei werden zunächst die allgemeinen Einflüsse, unabhängig der gesetzten Sprengmethoden, dargestellt. (siehe Abbildung 46). In



einer zweiten FMEA (Abbildung 47) werden die, für diverse Sprengmethoden spezifischen, Parameter aufgezählt.

Lawinenkommission	falsche Beurteilung der aktuellen Wettersituation	akut lawinengefährdete Bereiche sind vorhanden	Daten der örtlichen und automatischen Wetterstationen werden falsch interpretiert, zu geringe Erfahrung	künstliche Auslösung zu spät bzw. trotz akuter Gefahr nicht gesetzt, Anbruch im gefährdeten Einzugsgebiet	Lawinen, Schneerutsche erreichen organisierten Schiraum			Revidierung des Ausbildungsstandes, Zusammensetzung der Kommission
Lawinenkommission	falsche Beurteilung der aktuellen Lawinengefahr	akut lawinengefährdete Bereiche sind vorhanden	örtliche Beobachtungen und Messungen (Schneeprofile) falsch interpretiert, zu geringe Erfahrung	künstliche Auslösung zu spät bzw. trotz akuter Gefahr nicht gesetzt, Anbruch im gefährdeten Einzugsgebiet	Lawinen, Schneerutsche erreichen organisierten Schiraum			Revidierung des Ausbildungsstandes, Zusammensetzung der Kommission
Lawinenkommission	falsche Beurteilung der aktuellen Lawinengefahr	keine akut lawinengefährdete Bereiche vorhanden	örtliche Beobachtungen und Messungen (Schneeprofile) falsch interpretiert, zu geringe Erfahrung	negative Sprengung, zu oft gesetzte temporäre Maßnahmen	Kostenintensiv (Sprengen) übertriebene Sicherheit mit fraglicher Glaubwürdigkeit und Gefahr der nicht Beachtung in Zukunft (Sperrung, Warnung)			Revidierung des Ausbildungsstandes, Zusammensetzung der Kommission
potentielle Anbruchfläche	Sprengzeitpunkt zu spät gewählt	geschätzte durchschnittliche Anrissmächtigkeit $d_0 >$ als die vorher ermittelte hangspezifische Anrissmächtigkeit d_1	starke Neuschneefälle, Tribschneeeablagerungen Schwache Verbindung Neu-/Altschnee, schwaches Fundament	positive Sprengung jedoch Anbruchsvolumen größer als erwartet	Lawinen mit großer Auslaufstrecke überstreicht Ausschüttungsbereich erreicht organisierten nicht gesperrten Schiraum			Sprengungen bereits während Niederschlagsperiode durchführen
potentielle Anbruchfläche	Sprengzeitpunkt zu früh gewählt	lockerer, kohäsionsloser Neuschnee, geringer Wirkungsgrad	tiefe Temperaturen deutlich unter -10°	negative Sprengung kein Anbruch	Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum nach Freigabe des gefährdeten Bereiches: "post controlled avalanches"			Sprengzeitpunkt später wählen bzw. Südhänge unmittelbar vor oder nach Sonneneinstrahlung
potentielle Anbruchfläche	Sprengzeitpunkt ?	Umwandlung einer anfänglich gut verfestigten Schneedecke	tiefe Lufttemperatur nach längerer Schönwetterperiode, Neuschnee auf geringmächtiger Altschneedecke	positive Sprengung jedoch Anbruchsvolumen größer als erwartet	Lawinen mit großer Auslaufstrecke überstreicht Ausschüttungsbereich erreicht organisierten nicht gesperrten Schiraum			Sprengungen auch bei geringen Neuschneezuwächsen, vor allem in Schigebieten
potentielle Anbruchfläche	Wahl der Anbruchfläche	Schadenspotential eines Anbruchgebietes, Auslösung von Sekundär-lawinen	Schneedeckenstabilität, Topographie, Ausbildung seismischer Wellen	positive Sprengung jedoch zusätzlich Fernauslösung, Sekundär-lawinen	sekundärer Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum			Zuerst Anrissgebiete ohne Schadenpotential sprengen Südhänge vor Nordhänge Steile Hänge können früher gesprengt werden
potentielle Anbruchfläche	Sprengzeitpunkt zu spät gewählt	Verfestigung der Schneedecke stark fortgeschritten, Frühjahr	geringe Neuschneemengen, verstärkte Schneedeckensetzung durch Erwärmung	negative Sprengung kein Anbruch	Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum nach Freigabe des gefährdeten Bereiches: "post controlled avalanches"			früheren Sprengzeitpunkt anstreben Südhänge vor Nordhänge
potentielle Anbruchfläche	erzeugte Sprengwirkung	ungünstiger Sprengpunkt erzeugt Druckschatten	Wirkungszone kleiner als angenommen	Sprengung negativ oder Sprengung positiv jedoch nur Teilanbruch	Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum nach Freigabe des gefährdeten Bereiches: "post controlled avalanches"			Bei Wahl des Sprengpunktes auf Topographie achten
potentielle Anbruchfläche	erzeugte Sprengwirkung	ungünstige Sprengpunkthöhe	Wirkungszone kleiner als angenommen	Sprengung negativ oder Sprengung positiv jedoch nur Teilanbruch	Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum nach Freigabe des gefährdeten Bereiches: "post controlled avalanches"			Sprengpunkthöhe ändern, wenn technisch nicht möglich Hinterfragen der Sprengmethode
potentielle Anbruchfläche	Sprengmethode	funktionslos bei akuter Lawinengefahr	Stromausfall, Witterung, Sichtverhältnisse, nicht Erreichbar	Keine Sprengung möglich, Sperre notwendig	Lawinen, Schneerutsche erreichen organisierten Schiraum Einstellung des Schibetriebes			Weiterentwicklung der Sprengperipherie (Energieversorg., Genauigkeit, Verlässlichkeit)
Ausschüttungsreich	Sicherheitsmaßnahmen ungenügend	nicht gesperrte Bereiche innerhalb der Gefährdung	Informationsdefizit, Kommunikationsmangel, keine zeitliche Koordination mit der Sprengmaßnahme	Wertobjekte im Gefährdungsbereich	organisierter Schiraum im Gefährdungsbereich offen			Sicherheitskonzept erstellen

Abbildung 46: Fehler- Möglichkeits- und Einflussanalyse, allgemeiner Teil der künstl Lawinenauslösung



betr. Einheit	Gefährliches Element	Gefährlicher Zustand	Störfall Ursache	Möglicher Störfall	Mögliche Auswirkung	Häufigkeit	Schwere	zu treffende kurzfristige Maßnahmen	zu treffende langfristige Maßnahmen
Funktionsfähigkeit	Zündmechanismus	Blindgänger, keine Zündung möglich	falscher Sprengstoff, defekter Zünder, defekte Zündschnur, defekte Elektronik, logistische Probleme	Keine Sprengung	Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum nach Freigabe des gefährdeten Bereiches: "post controlled avalanches"			Sperren	Zündmechanismus verbessern oder andere Sprengmethode wählen
potentielle Anbruchfläche	Sprengpunkt	Sprengpunkt nicht an der gewünschten Stelle	starker Windeinfluß	Sprengung negativ	Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum nach Freigabe des gefährdeten Bereiches: "post controlled avalanches"			Sperren und bessere Windbedingungen abwarten	andere Sprengmethode wählen
potentielle Anbruchfläche	Sprengpunkt	Sprengpunkt topographisch ausgesetzt	bei ungünstigen Wetterbedingungen oder durch topographische Gegebenheiten nicht erreichbar	Keine Sprengung	Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum nach Freigabe des gefährdeten Bereiches: "post controlled avalanches"			Sperren und bessere Wetterbedingungen abwarten	andere Sprengmethode wählen
potentielle Anbruchfläche	technisch mögliche Sprengpunkthöhe	Sprengung in der Schneedecke	geringer Wirkungsradius	negative Sprengung	Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum nach Freigabe des gefährdeten Bereiches: "post controlled avalanches"			Sperren	andere Sprengmethode wählen
Sprengstoff	Abdeckung des gesamten potentiellen Ereigniszeitraumes	keine Sprengmittel mehr verfügbar	zu wenig Sprengmittel vorhanden, bestellt, gelagert	Keine Sprengung	Lawinenabgang erreicht organisierten Schiraum nach Freigabe des gefährdeten Bereiches: "post controlled avalanches"			Sperren	nachhaltige Sprengmittelplanung

Abbildung 47: Fehler-, Möglichkeits- und Einflussanalyse für die jeweilige Sprengmethode.

Durch die stark ansteigende Nachfrage effektiver Sprengmethoden der letzten Jahrzehnte, kam es naturgemäß zu einer ständigen Weiterentwicklungen und zu innovativen Sprengkonzepten mit unterschiedlichen Stärken und Schwächen bezüglich Sprengerfolg bzw. Zuverlässigkeit. Da bei der künstlichen Lawinenauslösung die Maßnahme zum Schutz vor der Lawine letztendlich durch eine menschliche Entscheidung fällt, ist die Darstellung aller denkbaren Fehler eine ungleich komplexere als wie bei der Stützverbauung.

Werden nun Situation beschrieben bei denen aufgrund von Versorgungs- bzw. Erreichbarkeitsproblemen keine Sprengung möglich ist, so spricht man von logistischen Problemen. Kann die Anlage aufgrund technischer Gebrechen nicht in Betrieb genommen werden, so handelt es sich um technische Probleme.

In Hinblick der Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit einer Lawine werden alle allgemeinen und spezifischen Fehlermöglichkeiten der FMEA in logistische und technische Bereiche zusammengefasst und mittels der Delphi-Umfrage 2000 quantifiziert bzw. vom Gutachter aufgrund Expertenbefragung oder langjähriger Erfahrung evaluiert. In Tabelle 14 sind die mittleren Wahrscheinlichkeitswerte aus der DELPHI – Umfrage 2002, für die Ursachen des Versagens einer Sprengung, getrennt nach



Sprengmethoden sowie logistischen, und technischen Problemen dargestellt.

Sprengmethode	Versagenswahrscheinlichkeit aufgrund technischer Probleme	Versagenswahrscheinlichkeit aufgrund logistischer Probleme
Sprengseilbahn	0,039	0,04
Lawinenorgel	0,234	0,00
Lawinenpfeife	0,155	0,053
Handsprengung	0,032	0,093
GAZ.EX.	0,08	0,025
Hubschraubersprengung	0,034	0,186

Tabelle 14: Versagenswahrscheinlichkeiten unterschiedlicher Sprengmethoden, aus DELPHI – Umfrage 2002.

Zur Beurteilung der Sprengmethoden, an bestehenden Hängen, werden die wirkungsbestimmenden Faktoren der den logistischen bzw. technischen Probleme, laut folgender Tabelle 15 aufgegliedert.

Sprengmethode	technische Faktoren		logistische Faktoren			
	Blindgänger, keine Zündung	techn. Ausfall	Sprengpunkt erreicht aber Sprengpunkt nicht getroffen	Sprengpunkt nicht erreicht	Sprengzeitpunkt zu früh	Sprengzeitpunkt zu spät

Tabelle 15: technische und logistische Faktoren der künstlichen Lawinenauslösung

Die durchschnittlichen Wahrscheinlichkeiten der technischen und logistischen Faktoren sind aus der Delphi Umfrage bekannt. Die Aufteilungswahrscheinlichkeit nach maßgeblichen wirkungsbestimmenden Faktoren für die logistischen Bereiche werden aufgrund der Außenaufnahmen bestimmt.

In weiterer Folge dienen die Werte in Tabelle 14 bzw. Tabelle 15 als Grundlage zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit einer Lawine. Siehe dazu Kapitel E.4.2.3.

E.3.3.7. Daten über Auslöserfolg verschiedener Sprengmethoden.

Obwohl laut Richtlinien für das künstliche Auslösen von Lawinen durch Arbeitnehmer von

Seilbahnunternehmen über alle Tätigkeiten, also auch für den Auslöserfolg, schriftliche Aufzeichnungen zu führen sind, .liegen diese Daten meistens nicht oder in ungenügender Form auf.

Für das gesamte Schigebiet Arlberg Ost sind in Tabelle 16, die Häufigkeiten negativer und positiver Erfolge der unterschiedlichen Sprengmethoden aufgeführt.

Sprengmethode	Positiver Erfolg	Negativer Erfolg	Ereignis konnte nicht beobachtet werden
Handsprengung	62,5% (650)	32,7% (340)	4,8% (50)
Gaz.Ex	33,8% (143)	0,7% (3)	66,3% (287)
Sprengbahn	33,5% (54)	19,9% (32)	46,6% (75)
Helikopter	34,6% (150)	65,4% (283)	-

Tabelle 16: Sprengdaten, Arlberg Ost (Mayerl, 2000).

Werden Schigebiete im noch unerschlossenem Alpenraum geplant, so muss grundsätzlich von einer Gefährdung durch Lawinen ausgegangen werden. Diesem sog. „Nullszenario“ steht der Betriebsleitung eine Anzahl von Möglichkeiten zur Verfügung, um Lawinensicherheit gewährleisten zu können. Diese Fülle von Möglichkeiten wird durch unterschiedliche Projektszenarien dargestellt, welche zu unterschiedlichen Risiken führen. So kann die Verwendung von permanenten Maßnahmen ein anderes Risiko ergeben als die Verwendung von temporären Maßnahmen. Aber auch unterschiedliche Methoden temporärer Maßnahmen sind Einflussfaktoren für die Risikobestimmung. Ziel einer Methode zur Bestimmung des Risikos in Schigebieten ist es, nicht nur ein „Nullszenario“ zu berechnen, sondern auch alle möglichen Alternativmaßnahmen einzubinden. Die vorgestellte Methode ist stufenweise im Sinne einer Risikoanalyse aufgebaut und bezieht sich auf ein Anbruchgebiet, als kleinste betrachtete Einheit eines Schigebietes. Mit diesem „Werkzeug“ können nun verschiedene Fragestellungen, bezüglich der Lawinensicherheit, bewertet und anschließend miteinander verglichen werden.

Abbildung 48 zeigt, wie mit den Werten der Risikobestimmung ein Vergleich von unterschiedlichen Maßnahmen erfolgt.

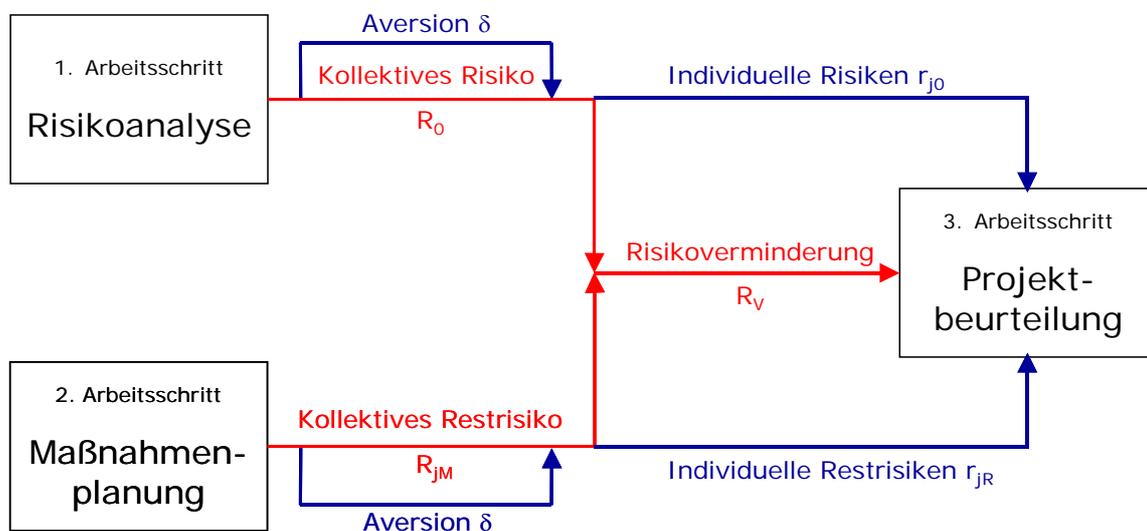


Abbildung 48: Methode zum Vergleich der Wirkungsweise von Maßnahmen

Zu Beginn eines Projekts muss ein IST - Zustand bewertet werden. Dazu wird im Rahmen einer Risikoanalyse der gefragte Ausgangszustand des Projektszenarios durch die Bestimmung des kollektiven Risikos R_0 erhoben. Dieser Arbeitsschritt kann unabhängig von einer möglichen Maßnahme erfolgen („Nullszenario“). Dies könnte als Ausgangszustand für eine Neuerschließung gelten. Sind bereits



Maßnahmen im zu untersuchenden Gebiet im Einsatz, würde die Bestimmung unter Berücksichtigung der eingesetzten, permanenten oder temporären Maßnahmen erfolgen, die als Teil des Systems zu sehen sind. Natürlich kann auch das, dem Lawinenerlass zugrunde liegende, Maßnahmenpaket, als Ausgangsrisiko bestimmt werden.

Im nächsten Arbeitsschritt werden für die Problemstellung technisch umsetzbare Maßnahmen identifiziert und zu einem Alternativenbündel zusammengefasst. Für eine gegebene Aufgabenstellung werden die Maßnahmen M_1 bis M_n identifiziert und in einem weiteren Arbeitsschritt genauer untersucht. Für jede der identifizierten Maßnahmen wird das trotz der Umsetzung der Maßnahme verbleibende Restrisiko R_{jM} , $j=1\dots n$, mit Hilfe nachfolgend beschriebener Methode, berechnet.

Die Gegenüberstellung des Ausgangsrisikos R_0 und des Restrisikos jeder der in Frage kommenden Maßnahmen ergibt die Risikoverminderung der einzelnen Maßnahme. Aufgrund des so erhobenen Wertes kann die Entscheidungsfindung für die Auswahl der im schutztechnischen Sinne am besten geeigneten Maßnahme getroffen werden.

Die Methode zur Risikobestimmung wird nachfolgend anhand einer IST – Zustandserhebung beschrieben.

E.4. ERHEBUNG DES IST - ZUSTANDES IN SKIGEBIETEN ZUR ERMITTLUNG DES AUSGANGSRISIKOS, BESCHREIBUNG DER METHODE ZUR RISIKOBESTIMMUNG.

E.4.1. EINLEITUNG

In diesem Kapitel wird der Vorschlag zu einer Risikoanalyse für bestehende Schigebiete hinsichtlich Lawinengefahren beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass unter Berücksichtigung der Komplexität, Vereinfachungen in der Systembeschreibung getroffen werden müssen.

Grundsätzlich wird davon ausgegangen, dass die Möglichkeit besteht, mit Hilfe Geographischer Informationssysteme (GIS) zu arbeiten. Die Bearbeitung, Verknüpfung sowie Darstellung der Informationen würde bei einer manuellen Bearbeitung rasch zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen. Überdies sind für Eingangsparameter genaue topographische Daten notwendig. Ein weiterer Vorteil von GIS - gestützten Risikoanalysen liegt in der relativ einfachen Anpassung an unterschiedlichen Bearbeitungstiefen und Betrachtungsarten. Dabei muss berücksichtigt werden, dass die Bearbeitungstiefe und damit auch der Aufwand für eine Risikoanalyse mit der Genauigkeit der zu prüfenden Einheit steigt.

Abbildung 49 zeigt die Vorgehensweise zur Bestimmung exponierter Bereiche. Der naturgefahrenorientierten Systemanalyse folgt die Gefahrenanalyse an sich, mit dessen Erkenntnissen die nutzungsorientierte Systemanalyse räumlich abgegrenzt wird (vgl Wilhelm, 1999).

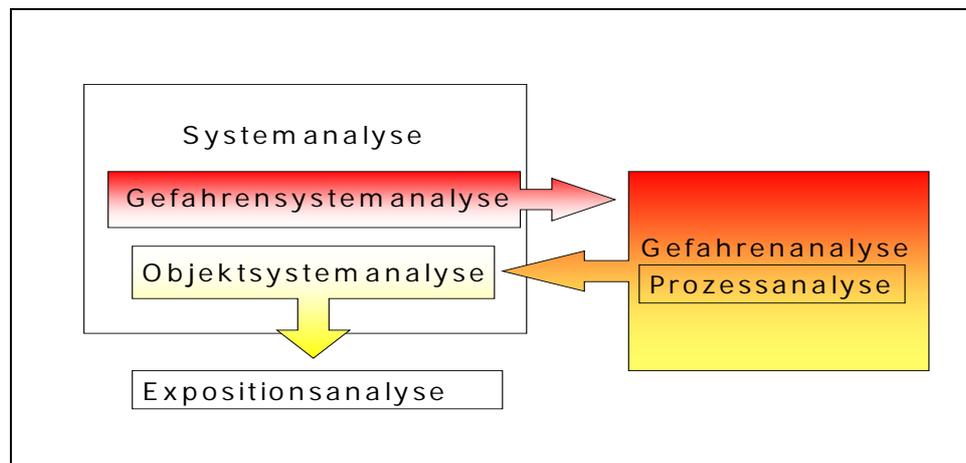


Abbildung 49: Feedbackschleife einer Systemanalyse

Für die in der Systemanalyse aufgezeigten Wertbereiche bzw. Wertobjekte werden in der Expositionsanalyse Präsenzwahrscheinlichkeiten ermittelt. Das Schadensausmaß sowie die Schadenshäufigkeit ergibt sich durch die Folgenanalyse. Schlussendlich kommt es zu einer Risikobestimmung.

E.4.2. SYSTEMANALYSE

Die gesuchte räumliche Abgrenzung für die Systemanalyse ergibt sich durch die Ausbreitung des Schigebietes. Auf der Grundlage eines digitalen Geländemodells wird eine Bodennutzungskarte erstellt. Sie



entsteht durch Überschneidung von topographischen sowie schigebietsspezifischen Attributen. Meistens ist die Auflösung der topographischen Eigenschaften eines Schigebietes durch digitale Höhenmodelle (DEM) vorgegeben. Hingegen ist die Auflösung der betrachteten Objekte in Schigebieten je nach der Bearbeitungstiefe frei wählbar. Ein Objekt wird als kleinste betrachtende Einheit definiert. Üblicherweise werden alle systemrelevanten Objekte in einem Schigebiet betrachtet. Da im Rahmen der Systemanalyse die für das Verhalten relevanten Objekte identifiziert und in Folge ihre Wechselwirkungen beschrieben werden müssen, wird folgende Aufnahmemethodik entwickelt. Die Objekte werden dabei in folgende Klassen eingeordnet:

- Gefahrenquellen
- der organisierte Schiraum (Schipiste, Schiroute),
- technische Aufstiegshilfen (Lifte),

für die Aufnahmeblätter vorgestellt werden.

Die Summe dieser Objekte ergibt das Modell eines Schigebietes in vereinfachter Form.

Wie in Abbildung 49 ersichtlich, wird die Systemanalyse des weiteren in naturgefahrenorientierte und nutzungsorientierte Systemanalyse unterteilt. Zunächst wird mittels Aufnahmeblätter das System beschrieben bzw. die Datengrundlage erarbeitet und anschließend die Gefahren bzw. Objekte abgegrenzt.

E.4.2.1. Naturgefahrenorientierte Systemanalyse

Die Frage der inhaltlichen Begrenzung ist durch den Gefährdungsprozess Lawine bzw. Schneebewegung eindeutig festgelegt. Die räumliche Verteilung einer Schneebewegung wird auch Prozessraum genannt. Andere Gefahren in Schigebieten werden in diesem Artikel nicht behandelt.

Historisch bekannte Ereignisse liefern Erkenntnisse über vorhandene Prozessräume. Folgende Aufnahmeblätter dienen zur Erhebung, Abgrenzung und Beschreibung gefährlicher, aber bekannter Schneebewegungen im Gelände.

Diese Daten stellen den wesentlichen Anteil zur Bestimmung des Verhaltens gefährlicher Schneebewegungen dar, wenn ein Schigebiet lange genug existiert und daher aus Beobachtungen fast alle Schneebewegungsprozesse bekannt sind. Da es nicht immer Kenntnisse, Aufzeichnungen oder Bilddokumentationen von Prozessräumen gibt, müssen Methoden entwickelt werden, um diese systematisch erfassen zu können. Dies gilt vor allem für neu erschlossene Schigebiete oder Teilanlagen (neue Pisten, Lifte). Zu Bedenken ist hierbei zunächst die Größe, mit der Gefahren für Schigebiete relevant werden können. Bisherige Lawinen-Aufnahmeblätter bildeten die Basis zur Gefahrenzonenplanung, weshalb Hanglawinen in höheren Lagen oder Schneerutschungen nicht



berücksichtigt wurden bzw. keine oder ungenügende Dokumentationen vorliegen.

Die Frage lautet: „Wie erkennt man potentielle Anbruchsgebiete im Gelände?“

Grundsätzlich ist dazu die Hangneigung der wichtigste Entscheidungsparameter für das Entstehen von Schneebewegungen (Munter, 1997). Neigungen zwischen 30° - 60° gelten als potentiell gefährlich und sollten demnach betrachtet werden. Ausnahmen bilden Flächen mit stufig aufgebauten Wäldern. Neben dem möglichen Anbruchsgebiet ist die Sturzbahn und der Ablagerungsbereich von Interesse. Exposition, Windrichtungen und klimatische Faktoren spielen ebenso eine Rolle wie „Stumme Zeugen“ oder Luftbildinterpretationen

Generell sieht man, dass die gleichen Parameter wie bei dem Aufnahmeblatt von historisch belegten Schneebewegungen gelten. Deshalb wurde für die Fallstudien in Lech und St. Anton/Rendl der Versuch gestartet, Gefahrenprozesse, welche nicht aufgrund von Chroniken bekannt sind, mit Hilfe des Aufnahmeblattes zu beschreiben und zu evaluieren.

Nachfolgend sind die Aufnahmeblätter für die Datenerhebung der Schneebewegungen in Schigebieten abgebildet.

2/

Law.Nr.:G

Teilanbruchsgebiet

Nr. des Teilanbruchsgebiets:..... Hier muss eine Nummer vergeben werden, die auf jedem Teilanbruchs-Aufnahmeblatt oben rechts eingetragen wird.

Beschreibung des (Teil-)Einzugsgebietes:
 Lage, Reliefformen: z.B. Runsen, Kämme,...

Seehöhe des (Teil-)Einzugsgebietes:.....m

Exposition:

<input type="checkbox"/> N	<input type="checkbox"/> S
<input type="checkbox"/> NO	<input type="checkbox"/> SW
<input type="checkbox"/> O	<input type="checkbox"/> W
<input type="checkbox"/> SO	<input type="checkbox"/> NW

Hangneigung

Durchschnittliche Hangneigung [°](aus Neigungskarte):.....
 Maximale Hangneigung [°]:(vor Ort zu schätzen):

Maßgebliche Windrichtung:	Bodenrauigkeiten zusammenhängender Flächen [%]:
<input type="checkbox"/> N <input type="checkbox"/> S <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/> SW <input type="checkbox"/> O <input type="checkbox"/> W <input type="checkbox"/> SO <input type="checkbox"/> NW	Klasse I:% Klasse II:% Klasse III:% Klasse IV:%

INFO
Maßgebliche Windrichtung:
 Windrichtung, die für die Lawinenbildung charakteristisch ist.

INFO
Bodenrauigkeitsklassen:

Klasse I: Mittlere Blöcke (>1m); stark gestuftes Gelände; Baumstümpfe vorhanden (>1m).

Klasse II: Kleine Blöcke (0,5m-1m); Baumstümpfe vorhanden (<1m); Erlen od. Latschen (mind. 1m hoch); kleine Bäume; stark gegliederte Höcker (0,5m-1m)

Klasse III: Steine (bis 0,5m); Kuhtritte (Gangeln); Kleinsträucher; Höcker (bis 0,5m).

Klasse IV: Glatte, langhalmige Grasnarbe; glatte, hangparallele Felsplatten; sumpfige Mulden

INFO
Hangneigung:

Durchschnittliche Hangneigung

Maximale Hangneigung

Abbildung 51: Aufnahmeblatt Schneebewegungen, Teilanbruchsgebiete

Zur näheren Beschreibung des Anbruchsgebietes einer Schneebewegung kann es erforderlich sein, dieses zu unterteilen. Mit dem Aufnahmeblatt-Teilanbruchsgebiet (Abbildung 51) werden die relevanten Anbruchsdaten aufgenommen. Für jedes Teilanbruchsgebiet muss die Seite 2 der Aufnahmeblätter neu ausgefüllt werden. Dazu ist es notwendig dieses zu kopieren.

3/

Law.Nr.:G

Teilanbruchsgebiet

Bekannte Anbruchsmechanismen:

<input type="checkbox"/> Schneebrett	<input type="checkbox"/> Lockerschnee-Hochwinter	<input type="checkbox"/> Lockerschnee-Spätwinter	<input type="checkbox"/> Bodenlawine	<input type="checkbox"/> unbekannt
--------------------------------------	--	--	--------------------------------------	------------------------------------

Bekannte Anbruchsursachen:

<input type="checkbox"/> Einwehungen <input type="checkbox"/> Wächtenbruch <input type="checkbox"/> Auslösung durch Schifahrer <input type="checkbox"/> Initialpunkte für Lockerschneelawinen (Fels, Verbauung, Bäume...)	<input type="checkbox"/> sonstige
--	---

Zugänglichkeit des Anbruchsgebietes:

- von Piste oder Lift erreichbar
- über Aufstieg erreichbar
- über Variante erreichbar
- nicht erreichbar

Bewaldung: <input type="checkbox"/> ja	<input type="checkbox"/> nein
---	-------------------------------

Waldgesellschaft: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Lärchen-Wald (a) <input type="checkbox"/> Subalpiner Fichte-Wald (b) <input type="checkbox"/> Fichte-Buche-Wald (c) <input type="checkbox"/> Buche-Wald (d) <input type="checkbox"/> typische Lawinenbaumarten (e) (z.B. Birke, Erle, Lärche, ...) <input type="checkbox"/> sonstige .....(f) <input type="checkbox"/> nicht bewaldet (g) 	Struktur: Stammzahl/ha: nur bei Baum- bzw. Altholz <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Rottenstruktur (1) <input type="checkbox"/> Altersstaffelung (2) <input type="checkbox"/> Altholz (3) <input type="checkbox"/> Baumholz (4) <input type="checkbox"/> Stangenholz (5) <input type="checkbox"/> Dickung (6) <input type="checkbox"/> Jungwuchs (7)
---	--

Waldfunktion: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Nutzfunktion <input type="checkbox"/> ..Schutzfunktion / Bannwald <input type="checkbox"/> Schutzfunktion / Schutzwald <input type="checkbox"/> Erholungsfunktion <input type="checkbox"/> Wohlfahrtfunktion 	Verjüngungsmaßnahmen: <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Naturverjüngung <input type="checkbox"/> ..Kunstverjüngung
--	---

Abbildung 52: Aufnahmeblatt Schneebewegungen, Teilanbruch mit Bewaldung

Aus Abbildung 52 wird sichtbar, dass die Zugänglichkeit des Anbruchgebietes eine wichtige Rolle für die Risikobestimmung ist, damit kann eine Fremd- und Selbstausräumung der Lawine berücksichtigt werden.



Law.Nr.:G

4/

Teilanbruchsgebiet Permanente Maßnahmen

ja nein

Vorhandene, permanente Anbruchsverbauung		
Verbauungstyp	Baujahr	Verbauungsfläche [ha]
<input type="checkbox"/> Holzstützwerke	_____	_____
<input type="checkbox"/> Stahlstützwerke	_____	_____
<input type="checkbox"/> Schneesetze	_____	_____
<input type="checkbox"/> Verwehungsverbauung	_____	_____
<input type="checkbox"/> Sonstige Maßnahmen: _____		

Stützverbauung	
<i>Anordnung und Ausbildung</i>	
<input type="checkbox"/>	durchgehend
<input type="checkbox"/>	aufgelöst, unterbrochen
<input type="checkbox"/>	aufgelöst, gestaffelt
<input type="checkbox"/>	aufgelöst, kombiniert
<input type="checkbox"/>	Abdeckungen durch Gitter
<i>Ausdehnung, technische Ausführung</i>	
Verbaute Fläche des gesamten Anbruchgebietes [%]: _____	
Lotrechte Werkhöhe H_k [m]: _____	
<i>Topographie unterhalb der Verbauung</i>	
<input type="checkbox"/>	Schutzwald unter Stützverbauung und Auslaufstrecke
<input type="checkbox"/>	Offene Sturzbahn und Auslaufstrecke
<input type="checkbox"/>	Offene Sturzbahn ohne Auslaufstrecke

Stützbauwerk **INFO**

Anordnung und Ausbildung	Ausdehnung der Verbauung	Topographie unterhalb der Verbauung
		<p style="font-size: small;"> <input type="checkbox"/> Schutzwald unter Stützverbauung und Auslaufstrecke <input type="checkbox"/> Offene Sturzbahn mit Auslaufstrecke <input type="checkbox"/> Offene Sturzbahn ohne Auslaufstrecke </p> <p style="font-size: x-small;"> → Wertobjekt liegt im Ablagerungsbereich → Wertobjekt liegt in der Sturzbahn </p>

Abbildung 53: Aufnahmeblatt Schneebewegungen, permanente Maßnahmen

Abbildung 53-Abbildung 56 zeigen die Aufnahmeblätter für etwaige Lawenschutzmaßnahmen, die mit dem Teilanbruchsgebiet in Zusammenhang stehen.

Law.Nr.:G

Teilanbruchgebiet Permanente Maßnahmen

Stützverbauung:

Angabe der Wahrscheinlichkeiten für das Versagen einer Stützverbauung aufgrund folgender wirkungsbestimmender Faktoren:

- Fläche zu gering verbaut:.....[%]
- Werkshöhe zu gering:.....[%]
- Schäden an der Verbauung:.....[%]
- Werksabstand in Falllinie zu groß:.....[%]
- seitliche Werkzwischenräume zu groß:.....[%]
- Rostabstand zu groß:.....[%]
- Einwehung nicht berücksichtigt:.....[%]
- Anbrüche oberhalb:.....[%]
- unterhalb:.....[%]
- und seitlich:.....[%]

Beobachtungszeitraum:.....Jahre

INFO

Durch beobachtete Lawinenabgänge aufgrund bekannter Störfälle lässt sich eine Häufigkeit angeben wenn der Beobachtungszeitraum (durchschnittl. Schisaison) bekannt ist.

Beispiel für die Stützverbauung:

In einem Beobachtungszeitraum von 150 Tagen (Schisaison 02/03) wurde 1 Lawinenabgang beobachtet verursacht durch eine Überschneidung der Werke. Dies entspricht einer Häufigkeit von 1/150 bzw. 0,7%.

Abbildung 54: Aufnahmeblatt Schneebewegungen, permanente Maßnahmen



Law.Nr.: G 6/___

Teilanbruchsgebiet
Temporäre Maßnahmen

ja nein

Eingesetzte, temporäre Maßnahmen, künstliche Lawinenauslösung

Sprengmethode	Eingesetzt seit	Anzahl Sprengpunkte	Anzahl positiver Sprengungen pro Winter	Anzahl negativer Sprengungen pro Winter
<input type="checkbox"/> Handsprengung	_____	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Hubschraubersprengung	_____	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Sprengseilbahn	_____	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Sprengmast	_____	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Lawinenpfeife	_____	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Lawinenorgel	_____	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> GAZ.EX	_____	_____	_____	_____
<input type="checkbox"/> Sonstige Maßnahmen: _____				

Abbildung 55: Aufnahmeblatt Schneebewegungen, temporäre Maßnahmen

Law.Nr.:G

7/___

Teilanbruchgebiet Temporäre Maßnahmen

Künstliche Lawinenauslösung Sprengmethode: _____

Angabe der Wahrscheinlichkeiten für das Versagen der Sprengmethode aufgrund folgender wirkungsbestimmender Faktoren:

- Keine Sprengung aufgrund keiner Zündung (Blindgänger):.....[%]
- Keine Sprengung wegen sonst. techn. Ausfall:.....[%]
- Keine Sprengung da Sprengpunkt nicht erreicht:.....[%]
- Keine Sprengung, Sprengpunkt erreicht aber nicht getroffen:.....[%]
- Keine Sprengung, Sprengzeitpunkt zu früh:.....[%]
- Keine Sprengung, Sprengzeitpunkt zu spät:.....[%]

Beobachtungszeitraum:.....Jahre

INFO

Durch beobachtete Lawinenabgänge aufgrund bekannter Störfälle lässt sich eine Häufigkeit angeben wenn der Beobachtungszeitraum (durchschnittl. Schisaison) bekannt ist.

*Beispiel für die künstliche Lawinenauslösung:
In einem Beobachtungszeitraum von 150 Tagen (Schisaison 02/03) konnte 3 Mal keine erforderliche Hubschraubersprengung durchgeführt werden, da der Sprengpunkt wegen Schlechtwetter nicht angefliegen werden konnte. Das bedeutet Sprengpunkt nicht erreicht, $3/150 = 0,02$ also 2%*

Abbildung 56: Aufnahmeblatt Schneebewegungen, temporäre Maßnahmen

Mit folgendem Aufnahmeblatt werden die Daten der Sturzbahn erhoben (Abbildung 57). Die Beobachtungen der Bewaldung für die Sturzbahn beziehen sich auf deren Seitenränder bzw. auf die Sturzbahn begrenzende Waldstruktur.



Law.Nr.:G

Sturzbahn:

Sturzbahnform: (Charakterisierung über maßgeblichen unteren Teil der Sturzbahn)	<input type="checkbox"/> kanalisierte Lawine	(Klammähnlich, eng eingeschnittenes V-Tal,...)
	<input type="checkbox"/> Runsenlawine	(deutliche Konzentrierung – ohne Einkerbung)
	<input type="checkbox"/> Flächenlawine – gleichförmig	
	<input type="checkbox"/> Flächenlawine – ungleichförmig	

<input type="checkbox"/> Staublawine mit geringem Fließanteil: Häufigkeit mit der eine Staublawine mit geringem Fließanteil beobachtet werden konnte:.....[%] Maximale Reichweite:.....m Sturzbahnbreite: von.....m bis.....m	<input type="checkbox"/> Fließlawine mit geringem Staubanteil: Häufigkeit mit der eine Fließlawine mit geringem Staubanteil beobachtet werden konnte:.....[%] Maximale Reichweite:.....m Sturzbahnbreite: von.....m bis.....m	<input type="checkbox"/> Nassschneelawine: Häufigkeit mit der eine Nassschneelawine beobachtet werden konnte:.....[%] Maximale Reichweite:.....m Sturzbahnbreite: von.....m bis.....m
---	---	---

INFO Bewegungsform:

Bewegungsform:

Staublawine mit geringem Fließanteil: Suspensionsströmung von Eis-/Schneekörnern in Luft überwiegen, der Fließanteil ist so gering, dass er keinen maßgeblichen Einfluss auf das Verhalten der Lawine hat. typ. Geschwindigkeiten 40-100 ms⁻¹, Fließhöhe ~100m, Wirkung der Bodentopographie unerheblich, meistens sog. Katastrophenlawinen.

Fließlawine mit geringem Staubanteil: Granulatströmung am Boden oder auf der Schneeoberfläche überwiegen, der Staubanteil ist so gering, dass er keinen maßgeblichen Einfluss auf das Verhalten der Lawine hat. typ. Geschwindigkeiten 20-40 ms⁻¹, Fließhöhe ~2-5m, Wirkung der Bodentopographie erheblich, häufigste Bewegungsform.

Nassschneelawine: Die Bewegungsform entspricht dem Verhalten der Fließlawine, zusätzliches Kriterium ist eine Durchfeuchtung der Schneedecke und dadurch eine größere Dichte.

Für jede Bewegungsform wird die beobachtete Häufigkeit [%] eingetragen und anschließend auf die Reichweitenklassen aufgeteilt. Die Summen der Häufigkeit jeder Bewegungsform muss 100% ergeben.

Maximale Reichweite:

Schätzung der maximalen Reichweite (Erfahrung, Expertenmitteilung, stumme Zeugen, Chroniken,...). Muss in der Bodennutzungskarte eingezeichnet werden!

Abbildung 57: Aufnahmeblatt Schneebebewegungen, Sturzbahn

Law.Nr.:G

9

Sturzbahn:

Bewaldung: ja nein

Waldgesellschaft:

- L-Zirben-Wald (a)
- Subalpiner Fi-Wald (b)
- Fi-Ta-Bu Wald (c)
- Bu-Wald (d)
- typische Lawinenbaumarten (e)
(z.B. Birke, Erle, L, ...)
- sonstige(f)
- nicht bewaldet (g)

Waldfunktion:

- Nutzfunktion
- ..Schutzfunktion / Bannwald
- Schutzfunktion / Schutzwald
- Erholungsfunktion
- Wohlfahrtsfunktion

Struktur:

Stammzahl/ha: nur bei Baum- bzw. Altholz

- Rottenstruktur (1)
- Altersstaffelung (2)
- Altholz (3)
- Baumholz (4)
- Stangenholz (5)
- Dickung (6)
- Jungwuchs (7)

Verjngungsmanahmen:

- Naturverjüngung
- ..Kunstverjngung

Energieumwandlung:

- vertikaler Absturz < 20m
- vertikaler Absturz > 20m
- horizontale Richtungsänderung
- Durchflussprofilsnderung
- Verflachungsstelle
- Hindernisse in der Sturzbahn

nur wenn vermuteter Einfluss auf Prozess gegeben ist

Ausbruchsmglichkeit:

- ja nein
- Staubanteil
- Fließanteil

Benutzung:

- Schipiste
- Schiroute
- Variante Frequenz:.....[Per./Tag]
- Aufstiegshilfe

Zugänglichkeit:

- von Piste oder Lift erreichbar
- ber Aufstieg erreichbar
- ber Variante erreichbar
- nicht erreichbar

INFO:

Variante, Frequenz:
gefragt ist die Anzahl der Personen, die diese Variante am Tag benützen

Stumme Zeugen:

Abbildung 58: Aufnahmeblatt Schneebewegungen, Sturzbahn

Abgesehen von den prozessorientierten Daten werden im Aufnahmeblatt der Sturzbahn bzw. des Ablagerungsgebietes auch Benutzung und Zugänglichkeit eruiert.



Law.Nr.:G

10

Ablagerungsgebiet:

<input type="checkbox"/>	Schipiste	Länge.....m	Frequenz:.....[Per./Tag]
<input type="checkbox"/>	Schiroute	Länge.....m	
<input type="checkbox"/>	Variante	Länge.....m	
<input type="checkbox"/>	Loipe	Länge.....m	
<input type="checkbox"/>	Rodelbahn	Länge.....m	
<input type="checkbox"/>	Verkehrsweg	Länge.....m	
<input type="checkbox"/>	Aufstiegshilfe	Länge.....m	
<input type="checkbox"/>	Betriebsgebäude Schigebiet	Anzahl.....	
<input type="checkbox"/>	landwirtschaftliche Gebäude	Anzahl.....	
<input type="checkbox"/>	Wohngebäude	Anzahl.....	
<input type="checkbox"/>	Industriegebäude	Anzahl.....	
<input type="checkbox"/>	unverbaut		
<input type="checkbox"/>	sonstiges		

Räumliche Beschreibung des Ablagerungsbereiches:

<input type="checkbox"/>	runsenförmig mit Aufweitung	<input type="checkbox"/>	Neigungsknick
<input type="checkbox"/>	runsenförmig ohne Aufweitung	<input type="checkbox"/>	wechselnde Neigungsverhältnisse
<input type="checkbox"/>	flächig ohne deutliche Reliefmerkmale	<input type="checkbox"/>	Richtungsänderung
<input type="checkbox"/>	sanfter Kegel (B \geq 200m)	<input type="checkbox"/>	Gegensteigung
<input type="checkbox"/>	ausgeprägter Kegel (B \leq 200m)	<input type="checkbox"/>	Hindernisse
		<input type="checkbox"/>	sonstiges

INFO:
 Variante, Frequenz:
 gefragt ist die Anzahl der Personen, die diese Variante
 am Tag benutzen

Beschreibung der Ablagerung:
 Ablagerungs- und Wirkungsbereich, Fließverhalten

Abbildung 59: Aufnahmeblatt Schneebewegungen, Ablagerungsgebiet

Law.Nr.:G

11

Ablagerungsgebiet:

Bewaldung: ja nein

Waldgesellschaft:

- L-Zirben-Wald (a)
- Subalpiner Fi-Wald (b)
- Fi-Ta-Bu Wald (c)
- Bu-Wald (d)
- typische Lawinenbaumarten (e)
(z.B. Birke, Erle, L, ...)
- sonstige(f)
- nicht bewaldet (g)

Waldfunktion:

- Nutzfunktion
- ..Schutzfunktion / Bannwald
- Schutzfunktion / Schutzwald
- Erholungsfunktion
- Wohlfahrtsfunktion

Struktur:

Stammzahl/ha: nur bei Baum- bzw. Altholz

- Rottenstruktur (1)
- Altersstaffelung (2)
- Altholz (3)
- Baumholz (4)
- Stangenholz (5)
- Dickung (6)
- Jungwuchs (7)

Verjngungsmanahmen:

- Naturverjüngung
- ..Kunstverjngung

Stumme Zeugen:

Abbildung 60: Aufnahmeblatt Schneebewegungen, Ablagerungsgebiet

Neben der Datenerhebung im Gelände gibt es die Möglichkeit, potentielle Lawinenanbruchsgebiete mit Hilfe geographischer Informationssysteme (GIS) in Kombination mit digitalen Höhenmodellen zu bestimmen. Nach Ausscheidung neigungsrelevanter Flächen, ermittelt der Computer mittels GIS Informationen die Reliefgestaltung dieser Flächen. Konkave und ebene Gebiete gelten grundsätzlich als potentielle Anbruchsgebiete. Konvexe Flächen stellen, wenn sie nicht allzu groß sind, zusätzliche



Einflussbereiche dar. Um einen Hang mit homogenem Längsprofil (nie unter 30° Neigung, mit Ausnahme des Auslaufes) nicht als ein großes Anbruchgebiet zu beschreiben, werden Höhengrenzen angelegt. Die Länge eines potentiellen Anbruchgebietes kann maximal einer Höhendifferenz von 200m entsprechen. Ansonsten muss das Anbruchgebiet aufgeteilt werden (Maggioni, 2002).

Auch diese Methode liefert Aussagen über potentielle Anbruchgebiete und damit Schneebewegungen. Ob sie für kleinflächige Betrachtungen wie Schneerutschungen anwendbar ist, sei dahingestellt und müsste ebenfalls durch Fallstudien belegt werden.

Anhand der ermittelten Daten werden die maßgeblichen Gefährdungsprozesse des Schigebietes und ihre Eintretenswahrscheinlichkeit sowie Ausmaß untersucht. Dies wird in der Gefahrenanalyse, Kapitel 0 näher erläutert.

E.4.2.2. Nutzungsorientierte Systemanalyse

Durch die Überschneidung der in Kapitel E.4.3 erstellten Prozesskarte mit der Bodennutzungskarte des gesamten Schigebietes ergeben sich die relevanten Objekte. Sie werden auch Wertobjekte bzw. Wertbereiche genannt.

Die weiterführende Risikoanalyse verlangt eine genaue Erhebung dieser Wertobjekte und Wertbereiche. Mit in nachfolgenden Abbildungen dargestellten Aufnahmeblättern werden nun gezielt jene Einheiten im untersuchten Schigebiet erhoben, welche sich nach Überschneiden der Prozesskarte als gefährdete Einheiten erwiesen haben. Die nächsten 5 Abbildungen zeigen die Aufnahmeblätter für technische Aufstiegshilfen (Lifte). Für jeden Lift muss zunächst die Betriebsart bestimmt werden, (siehe).

Aufnahmeblatt - technische Aufstiegshilfen

Aufnahmetrupp:
Datum:.....
Schigebiet:

Name des Schiliftes:

Fortlaufende Nummer: A.....

Betriebsart des Schiliftes:

Schlepplift

Beförderungsanlagen ohne Fahrbetriebsmittel, bei denen die mit Skiern oder anderen Sportgeräten auf dem Boden gleitenden oder fahrenden Personen durch ein Seil fortbewegt werden.

Sessellift

Seilschwebbahnen mit offenen Fahrbetriebsmitteln, die mit einem oder mehreren Seilen betrieblich lösbar oder unlösbar verbunden sind.

- Kuppelbare Sesselbahnen
 Fixe Sesselbahnen

Kabinenbahn

Seilschwebbahnen, deren geschlossene Fahrbetriebsmittel mit einem oder mehreren Seilen betrieblich lösbar oder nicht lösbar verbunden sind.

- Funitel
 Pendelbahnen
 Gondelbahnen
 Gruppenbahnen
 2S und 3S Bahnen

Standseilbahn

Fahrbetriebsmittel auf, unter oder neben festen Führungen fahrend.

INFO Kabinenbahn:

Funitel: Zweiseilumlaufbahn mit kuppelbaren Kabinen auf 2 parallelen Tragsellen befestigt

Pendelbahn: Bei diesem System verkehren ein oder zwei Fahrzeuge, bestehend aus Laufwerk, Gehängearm und Kabine im Pendelbetrieb zwischen den Stationen.

Gondelbahn: Kuppelbare Kabinenbahn mit normalen Kabinenfassungsvermögen (-15 Personen)

Gruppenbahnen: Mehrere Kabinen kurz hintereinander fix angehängt

2S und 3S Bahnen: Kuppelbare Umlaufbahnen mit hohen Kabinenfassungsvermögen. (-30 Personen)

Abbildung 61: Aufnahme - allgemeiner Teil, technische Aufstiegshilfen

Je nach Betriebsart der zu beschreibenden Aufstiegshilfe müssen unterschiedliche Aufnahmeblätter verwendet werden. Abbildung 62 bzw. Abbildung 63 zeigt das Aufnahmeblatt für Schlepplifte bzw. Sessellifte.



Laufende Nr.: A

4

Kabinenbahn

Kennzahlen:

Durchschnittliche Beförderungsrate: [Pers./h]
 Maximale Beförderungsrate: [Pers./h]

Liftlänge: [m]
 Betriebszeit: [h]
 Durchschnittliche Betriebsgeschwindigkeit: [m/h]
 Anzahl der Fahrbetriebsmittel (Kabinen):
 Fahrbetriebsmittel Fassungsvermögen: [Pers.]

INFO:

Anzahl der Fahrbetriebsmittel:
bezogen auf eine Seilbahn-
länge.

Fahrbetriebsmittel
Fassungsvermögen:
Personen pro Kabine

Bei Gruppenbahnen: Summe
der Personen pro
Kabinengruppe

Einbindung in das Schigebiet:

Von welchen Pisten erreichbar:

.....

.....

.....

Zu welchen Pisten Anschluss:

.....

.....

.....

Wartebereich:

Durchschnittliche Anzahl wartender Personen:
 (Schätzung)

Skizze Wartebereich:

Abbildung 64: Aufnahmeblatt, technische Aufstiegshilfen, Kabinenbahn

Abbildung 64 zeigt das Aufnahmeblatt für Kabinenbahnen. Wenn mehrere Kleinkabinen hintereinander als Gruppe am Trageil befestigt werden, spricht man von Gruppenbahnen. Aufgenommen wird das Fassungsvermögen der gesamten Gruppe.



Laufende Nr.: A

5

Standseilbahn

Kennzahlen:

Durchschnittliche Beförderungsrate: [Pers./h]
 Maximale Beförderungsrate: [Pers./h]

Bahnlänge: [m]
 Betriebszeit: [h]
 Durchschnittliche Betriebsgeschwindigkeit: [m/h]
 Anzahl der Fahrbetriebsmittel (Kabinen):
 Fahrbetriebsmittel Fassungsvermögen: [Pers.]

INFO:

Anzahl der Fahrbetriebsmittel:
bezogen auf eine Bahnlänge.

Fahrbetriebsmittel
Fassungsvermögen:
Personen pro Kabine

Einbindung in das Schigebiet:

Von welchen Pisten erreichbar:

.....

.....

.....

.....

Zu welchen Pisten Anschluss:

.....

.....

.....

.....

Wartebereich:

Durchschnittliche Anzahl wartender Personen:
 (Schätzung)

Skizze Wartebereich:

Abbildung 65: Aufnahmeblatt technische Aufstiegshilfen, Standseilbahn

Standseilbahnen sind mit dem Aufnahmeblatt, ersichtlich in Abbildung 65 aufzunehmen. Mittels Feldstudien ist zu Überprüfen, ob die Anzahl und Beschreibung der Betriebsarten für die Risikoanalyse ausreichend ist.

Zur Beschreibung des organisierten Schiraumes werden nachfolgende Aufnahmeblätter benützt. Wiederum muss der Aufnahmetrupp zunächst eine Grobeinteilung des beobachteten Bereiches

vornehmen. Aus Abbildung 66 ist ersichtlich, dass der organisierte Schiraum in gefährdeten und ungefährdeten Bereich zu unterteilen ist.

1

Aufnahmeblatt - organisierter Schiraum

Aufnahmetrupp:
Datum:
Schigebiet:

Name der Piste/Route (Schiraum):

Fortlaufende Nummer: P.....

Schiraum Aufnahme

Ungefährdeter Schiraum
Schiraum wird, auf ihrer Gesamtlänge, von keinem Gefahrenprozess bedroht.

Gefährdeter Schiraum
Schiraum wird, auf ihre Gesamtlänge durch einen oder mehrere Gefahrenprozesse bedroht.

NOTIZ:
Die Gesamtlänge eines betrachteten Schiraumes ist definiert ab der Ausstiegsstelle eines Liftes bis zur Einstiegsstelle eines Lift (dabei muss es sich nicht um die gleiche Aufstiegshilfe handeln).
Gefahrenprozesse sind alle Schneebewegungsrelevanten Prozesse, Lawinen bzw. Schneerutsche

Sperre:
Angabe der Wahrscheinlichkeiten einer Sperre des Pistenabschnittes während einer Schisaison:

- Wahrscheinlichkeit der Sperre:.....[%]
Für die Piste:.....

Beobachtungszeitraum:.....Jahre

INFO

Das Teilanbruchsgebiet kann darunter liegende Pisten gefährden. Durch die Anzahl der Sperrtage lässt sich eine Häufigkeit angeben wenn der Beobachtungszeitraum (durchschnittl. Schisaison) bekannt ist.

*Beispiel für die Sperre:
In einem Beobachtungszeitraum von 150 Tagen (Schisaison 02/03) wurde die gefährdete Piste A, 5 Mal gesperrt. Dies entspricht einer Häufigkeit von 5/150 bzw. 3,3%.*

Abbildung 66: Aufnahmeblatt - organisierter Schiraum allgemeiner Teil



Laufende Nummer Schiraum: P

Ungefährdeter Schiraum

Teilbereich ungefährdet 1: Nr.: P_{U1}..... (Nummer des Schiraumes)

Erreichbar durch: Lift, Nr.: A.....
 Nr.: A.....
 Nr.: A.....

Zufahrt, Schiraum Nr.: P.....
 Schiraum Nr.: P.....
 Schiraum Nr.: P.....

Anschluss an: Lift, Nr.: A.....
 Nr.: A.....
 Nr.: A.....

Abfahrt, Schiraum Nr.: P.....
 Schiraum Nr.: P.....
 Schiraum Nr.: P.....

Kennzahlen:
 Durchschnittliche Hangneigung: [°]
 Durchschnittliche Breite: [m]
 Minimale Breite: [m]
 Länge: [m]
 Durchschnittliche Schifahrergeschwindigkeit: [m/h]

Schipiste Schiroute

NOTIZ:
 Teilbereiche in ungefährdeten Schiräumen müssen auf jeden Fall ausgeschieden werden, wenn der zu beobachtete Schiraum von einem anderen Schiraum gekreuzt wird → Anfangs bzw. Endpunkt des Teilbereiches.

Ist dies nicht der Fall, kann die Gesamtlänge eines Schiraumes als ein Teilbereich beschrieben werden.

Werden andere Einheiten zur Bestimmung der Kenngrößen verwendet müssen diese angegeben werden, z.B.: % statt ° Hangneigung.

Abbildung 67: Aufnahmeblatt - organisierter Schiraum, ungefährdeter Bereich

Handelt es sich bei dem zu beschreibenden Schiraum um einen ungefährdeten Schibereich so kann er als eine homogene Teilfläche angenommen werden. Anfang und Ende einer solchen Teilfläche ergeben sich entweder durch die Berg- bzw. Talstation oder durch Kreuzungspunkte aufgrund anderer

Laufende Nummer Schiraum: P

Gefährdeter Schiraum

Teilbereich gefährdet 1: Nr.: P₀₁..... (Nummer des Schiraumes)	
Erreichbar durch:	<input type="checkbox"/> Lift, Nr.: A..... Nr.: A..... Nr.: A..... <input type="checkbox"/> Zufahrt, Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P.....
Anschluss an:	<input type="checkbox"/> Lift, Nr.: A..... Nr.: A..... Nr.: A..... <input type="checkbox"/> Abfahrt, Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P.....
Kennzahlen:	
Durchschnittliche Hangneigung: [°]
Durchschnittliche Breite:	..... [m]
Minimale Breite:	..... [m]
Länge:	..... [m]
Durchschnittliche Schifahrtgeschwindigkeit:	..... [m/h]
<input type="checkbox"/> Schipiste	<input type="checkbox"/> Schiroute

NOTIZ:

Teilbereiche in gefährdeten Schiräumen sind durch homogene topographische Parameter definiert. Teilbereiche müssen auf jeden Fall ausgedehnt werden, wenn:

- sich die durchschnittliche Hangneigung bzw. Breite deutlich ändert.
- der zu beobachtete Schiraum von einem anderen Schiraum gekreuzt wird → Anfangs bzw. Endpunkt des Teilbereiches.

Ist dies nicht der Fall, kann die Gesamtlänge eines Schiraumes als ein Teilbereich beschrieben werden.

Werden andere Einheiten zur Bestimmung der Kenngrößen verwendet müssen diese angegeben werden, z.B.: % statt ° Hangneigung.

Abbildung 69: Aufnahmeblatt - organisierter Schiraum, gefährdeter Teilbereich

Kopiervorlage gefährdeter Schiraum - Aufnahmeblatt:

Teilbereich ungefährdet ..: Nr.: Pu..... (Nummer des Schiraumes)	
Erreichbar durch:	<input type="checkbox"/> Lift, Nr.: A..... Nr.: A..... Nr.: A.....
	<input type="checkbox"/> Zufahrt, Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P.....
	<input type="checkbox"/> Abfahrt, Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P.....
Anschluss an:	<input type="checkbox"/> Lift, Nr.: A..... Nr.: A..... Nr.: A.....
	<input type="checkbox"/> Abfahrt, Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P..... Schiraum Nr.: P.....
Kennzahlen:	
Durchschnittliche Hangneigung: [°]
Durchschnittliche Breite:	..... [m]
Minimale Breite:	..... [m]
Länge:	..... [m]
Durchschnittliche Schifahrergeschwindigkeit:	..... [m/h]
<input type="checkbox"/> Schipiste	<input type="checkbox"/> Schiroute

Abbildung 70: Aufnahmeblatt - organisierter Schiraum, gef. Bereich, Kopiervorlage

Mittels der Datenerhebung im Zuge der gefahrenbezogenen Systemanalyse sind die wichtigsten Parameter bekannt, um die Eintrittswahrscheinlichkeit, räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit und das Ausmaß von relevanten Lawinen bestimmen zu können. Beide Wahrscheinlichkeitsparameter ergeben sich durch die Prozessanalyse. Das Ausmaß wird in der Wirkungsanalyse bestimmt. Das Ergebnis der Prozessanalyse ist die Prozesskarte. Sie wird mit der Bodennutzungskarte (Kapitel E.4.2.1) verschnitten, um so mit der objektbezogenen Systemanalyse fortsetzen zu können.

E.4.2.3. Eintretenswahrscheinlichkeit h_e :

Bei der Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit wird die Frage gestellt: „Wie wahrscheinlich ist es, dass eine Lawine aus einem Anbruchgebiet überhaupt in Bewegung kommt?“. Grundsätzlich muss zwischen drei Anbruchstypen unterschieden werden. Lawinen können entweder als Schneebrett-, Lockerschnee- oder Boden(Grund-)lawinen abbrechen. Die Bodenlawine kommt eher selten vor, so dass sie im Zuge dieser Studie nicht berücksichtigt wird. Die Eintretenswahrscheinlichkeit für ein Anbruchgebiet h_e setzt sich also demnach aus zwei Wahrscheinlichkeiten für jeden Anbruchstyp zusammen.

$$h_e = h_{e\text{Schneebrett}} + h_{e\text{Locker schnee}}$$

Für jeden dieser Anbruchstypen sind unterschiedliche Faktoren und deren Kombination für das Eintreten von Bedeutung. Um eine Eintretenswahrscheinlichkeit für jeden dieser Anbruchstypen berechnen zu können, wurde ein Fehlerbäume (FTA's) aufgestellt, der wiederum die Wahrscheinlichkeiten für das Auftreten der bestimmenden Faktoren enthält. Am Kopf dieses Fehlerbaumes steht die Eintretenswahrscheinlichkeit für eine Lawine, an der Basis werden Wahrscheinlichkeitswerte eingesetzt, die durch „UND“ oder „ODER“ -Verknüpfungen zum Topereignis führen. Diese Basiswerte müssen vom Gutachter aus verschiedenen Daten ermittelt werden, wobei ihm hierbei auch Spielraum gegeben wird, um besondere lokale Verhältnisse berücksichtigen zu können. Eine genaue Anleitung zur Ermittlung dieser Werte enthält das Handbuch.

E.4.2.3.1. Eintretenswahrscheinlichkeit Schneebrett $P_{\text{Schneebrett}}$:



An erster Stelle sei hier das Schneebrett behandelt, da es den für Schigebiete relevantesten Anbruchstypen darstellt. Der Ast im FTA für das Schneebrett besitzt darüber hinaus die meisten Verzweigungen, die Äste für die Lockerschnee- und Bodenlawine können somit nachgereiht leicht verstanden werden.

Für den Anbruch eines Schneebretts müssen folgende vier Bedingungen erfüllt sein:

- Eine gewisse Schneehöhe muss vorhanden bzw. überschritten werden.
- Mindestens eine Instabilitätsschicht muss vorhanden sein.
- Die Schneedecke muss eine gewisse Festigkeit aufweisen, um überhaupt Spannungen übertragen zu können. Es muss also eine Disposition der Schneedecke gegeben sein.
- Ist eine Stützverbauung vorhanden, muss diese Versagen.

Im Fehlerbaum sind diese vier Bedingungen durch eine „UND“- Verbindung verknüpft, da sie alle erfüllt sein müssen, um einen Lawinenabgang zu ermöglichen. Die Werte werden daher multipliziert. Die Gleichung für die Wahrscheinlichkeit eines Abbruchs eines Schneebretts lautet somit:

$$h_{e_{\text{Schneebrett}}} = P_{\text{not.Schnee}} * P_{\text{Instabilität}} * P_{\text{Verbauung}} * P_{\text{Festigkeit}} \quad \text{Gleichung X}$$

Diese vier Äste setzen sich wiederum aus einzelnen Wahrscheinlichkeiten zusammen, die anschließend für jede Bedingung (Ast des FTA) einzeln beschrieben werden.

Betrachtet man nun einzig den linken Teil des Astes für das Schneebrett, also die Wahrscheinlichkeit $P_{\text{not.Schneehöhe}}$, dass eine gewisse notwendige Schneehöhe erreicht bzw. überschritten wird, kann man erkennen, dass auch diese Wahrscheinlichkeit Produkt aus drei weiteren Eintretenswahrscheinlichkeiten, nämlich der Wahrscheinlichkeit $P_{\text{Rauhigkeit}}$, dass die Bodenrauhigkeit durch die Schneedecke ausgeglichen wird, die Wahrscheinlichkeit $P_{\text{Sprengung}}$, dass die Schneedecke nicht durch eine Sprengung verringert wird und die Wahrscheinlichkeit $P_{\text{pot.Schneehöhe}}$, dass eine gewisse potentielle Schneehöhe erreicht bzw. überschritten wird.

E.4.2.3.1.1. Eintretenswahrscheinlichkeit $P_{\text{Rauhigkeit}}$:

Beim Abgang eines Schneebretts muss eine Schneedecke vorhanden sein, die die



rauhigkeitsbestimmenden Elemente (Steine, Sträucher, Bäume, Reliefunterschiede, etc.) zumindest überragt. Ist dies nicht der Fall, kann kein Schneebrett abgehen. Auf glatten Wiesenhängen (Rauhigkeit sehr gering) kann also ein Schneebrett bereits bei einer geringmächtigen Schneedecke abgehen, in Anbruchgebieten mit großen Rauigkeiten, müssen diese erst durch die Schneedecke ausgeglichen werden. Mit dem Anstieg der Schneedecke sinkt also die Rauhigkeit bis die rauhigkeitsbestimmenden Elemente völlig eingeschneit sind (Rauhigkeit = 0). Steigt die Schneedecke weiter an, kann dieser Anteil als Schneebrett anbrechen.

Um nun die Wahrscheinlichkeit berechnen zu können, dass an einem durchschnittlichen Wintertag die Bodenrauhigkeit durch die Schneedecke ausgeglichen wird, kann folgendermaßen berechnet werden. Aus den Aufnahmeblättern ist für jedes Anbruchgebiet die Bodenrauhigkeit bekannt. Für die Zeit in dem das Schigebiet durchschnittlich geöffnet ist, müssen nun jene Tage $N_{GS>Rauhigkeit}$ gezählt werden, an denen die Schneedecke größer als die Bodenrauhigkeit ist. Dividiert man diese Zahl durch die Gesamtzahl der Tage N_{gesamt} an denen das Schigebiet geöffnet ist, erhält man die Wahrscheinlichkeit $P_{Rauhigkeit}$:

$$P_{Rauhigkeit} = \frac{N_{GS>Rauhigkeit}}{N_{gesamt}}$$

Um diese Berechnungen anstellen zu können, müssen Daten einer Beobachterstation ausgewertet werden. Benötigt werden hier Aufzeichnungen über die Höhe der Gesamtschneedecke für jeden einzelnen Tag über eine gewisse Zeitspanne hinweg. Als kürzeste Datenreihe sollten hier etwa 10 Jahre verwendet werden. Der Auswahl der Station kommt hier große Bedeutung zu, da sie die Verhältnisse in den Anbruchgebieten möglichst gut widerspiegeln sollte. Die Station sollte möglichst nahe des zu untersuchenden Schigebietes liegen und vor allem in der gleichen Höhenstufe positioniert sein. Da dies leider selten der Fall ist, müssen die Schneedeckendaten der Messstation auf die Seehöhe jedes einzelnen Anbruchgebietes berichtigt werden. Dies kann auf sehr unterschiedliche Weise erfolgen. Den besten jedoch auch aufwendigsten Weg stellt eine Regressionsanalyse von mehreren Stationen, die sich in der näheren Umgebung des Schigebiets befinden und sich auf mehrere Höhenstufen verteilen, dar. Als Ergebnis erhält man eine lineare Gleichung, mit der man die Schneehöhe an der Station jedes einzelnen Tages auf die Seehöhe des Anbruchgebietes referenzieren kann.

Einen wesentlich einfacheren Weg stellt die Umrechnung mittels Jahresniederschlagssummen dar. In den Alpen steigt die Jahresniederschlagssumme mit der Seehöhe an, das gleiche gilt auch für die Höhe der Gesamtschneedecke. Aus der Literatur sind Werte bekannt, um wie viel die Niederschlagssumme pro 100 Höhenmeter ansteigt. Jedoch variiert dieser Anstieg je nach Klimagebiet. Eine Einteilung der Alpen in Klimagebiete und dem dazugehörigen Anstieg des Jahresniederschlages mit der Höhe findet sich in BAUMGARTNER et al. (1983). Dieser teilt das Alpengebiet in Klimazonen (K) ein, wobei jede Klimazone wiederum in Klimagebiete (KK) unterteilt wird. Die für Österreich relevanten Zonen und

Gebiete sind im Folgenden beschrieben.

Klimazonen (K):

K2 Niederschlagsreiche Nordalpen des atlantischen Klimagebiets.

Südgrenze: Kammlinie von Rätikon, Silvretta, Ötztaler, Stubai und Zillertaler Alpen, Hohe Tauern

Ostgrenze: Gebirgszüge östlich des Salzachtals (Tennengebirge) und des Kleinarlertales.

K3 Niederschlagsärmere Nordalpen mit abnehmendem atlantischen und zunehmendem kontinentalen Einfluß.

Westgrenze: wie Ostgrenze von K2.

Südgrenze: Kammlinie von Niederen Tauern, Steirischen Kalkalpen (Hochschwab), Niederösterreichische Kalkalpen (Wasserscheide Donau/Mur), Wienerwald.

K4 Niederschlagsarme innere Alpen im Grenzgebiet mehrerer Klimabereiche, vorwiegend unter atlantischem Einfluß, jedoch nach Süden hin unter zunehmendem mediterranem, im Osten unter kontinentalem und mediterranem Einfluss.

Nordgrenze: Südgrenze von K2 und K3.

Südgrenze: Ortler, Wasserscheide Etsch/Noce, das Etschtal bei Salurn querend, Wasserscheiden Etsch/Eisack/Avisio, Rienz/Piave, Kammlinien der Karnischen Alpen, Karawanken bis Hochstuhl.

Klimagebiete (KK):

K KK

2 2.1 Niederschlagsreicheres nördliches Randgebiet

2.2 Gebiet zwischen Nord und Zentralalpen

3 3.1 Niederschlags nordöstliches Randgebiet

3.2 Niederschlagsärmeres inneres Teilgebiet

4 4.1-4.4 Von West nach Ost fortschreitend gegliederte innere Zone

Wie sich die verschiedenen Klimagebiete auf den Alpenbogen aufteilen zeigt Abbildung 71, wobei für dieses Projekt nur der Ostteil der Grafik von Interesse ist.

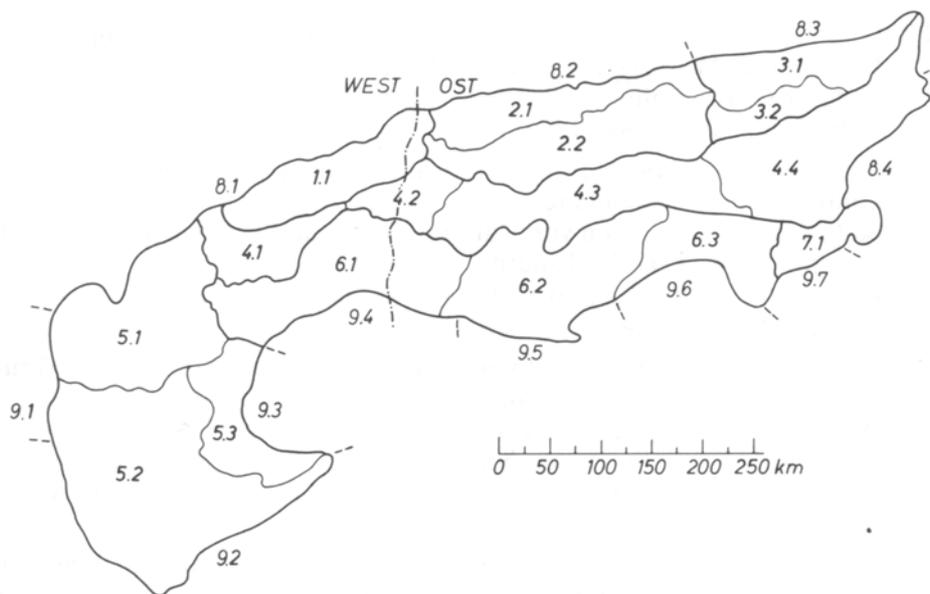


Abbildung 71: Klimazonen (K) 1-9 und Klimagebiete (KK) 1.1-9.7 (Baumgartner et al., 1983).

Hat man nach obiger Beschreibung und anhand Abbildung 71 bestimmt, in welcher Klimazone man sich, kann aus Abbildung 72 abgelesen werden, um wie viel der Niederschlag mit der Seehöhe zunimmt.

	Westalpen				Ostalpen			
	KK	P_h	KK	P_h	KK	P_h	KK	P_h
Nord	1.1	69	2.1	64	3.1	68		
			2.2	50	3.2	68		
	4.1	87	4.2	54	4.3	69	4.4	37
	5.1	57	6.1	49	6.2	58	6.3	60
			N:5.3 S:27					
	5.2	37	5.3	32			1-6	56
			N:46 S:28					
								Süd

Abbildung 72: Zunahme des Niederschlags mit zunehmender Seehöhe (P_h , mm/100m) nach KK-Gebieten, jeweils links: KK-Gebiet, rechts: P_h (Baumgartner et al., 1983).

Mit diesen Werten kann nun das Verhältnis des Jahresniederschlags der Station und eines jeden Anbruchsgebietes berechnet, und mit der Gesamtschneedecke in Beziehung gesetzt werden. Dies erfolgt nach folgender Formel:

$$GS_{Anbruch} = \frac{\left(\frac{SH_{Anbruch} - SH_{Station}}{100} \right) * \Delta NS}{NS_{Station}} * GS_{Station}$$

Gleichung X

$GS_{Anbruch}$...Gesamtschneehöhe im Anbruchsgebiet [cm]

$GS_{Station}$...Gesamtschneehöhe an der Bezugsstation [cm]

$SH_{Anbruch}$...mittlere Seehöhe des Anbruchsgebietes [m]

$SH_{Station}$...Seehöhe der Bezugsstation [m]

$NS_{Station}$...durchschnittlicher Jahresniederschlag der Bezugsstation [mm]

ΔNS ...Zunahme des Jahresniederschlags pro 100m Seehöhe [mm]

Daraus erhält man für jedes Anbruchsgebiet und für jeden Tag die Höhe der Schneedecke. In den Fallbeispielen wurden die Werte der höchsten Gesamtschneehöhe für den jeweiligen Untersuchungszeitraum mit Werten, die mit der Formel nach HÖLLER (1987) für diese Seehöhe berechnet wurden, verglichen. Dabei zeigte sich, dass diese maximalen Gesamtschneehöhen relativ gut korrelieren und somit die Genauigkeit der oben beschriebenen Methode als ausreichend erachtet werden kann. Es sollte jedoch immer überprüft werden, ob nicht genauere Methoden angewandt werden können. Die hier beschriebene Methode stellt nur einen Schätzwert der tatsächlichen Verhältnisse dar.

Sind die Daten tabellarisch nach Anbruchsgebieten und Tagen geordnet, können nun mit einer Filterabfrage jene Tage ermittelt, an denen die Schneedecke größer als die Bodenrauigkeit war. Aus Gleichung x errechnet sich dann für jeden Anbruch die Wahrscheinlichkeit $P_{Rauhigkeit}$.

E.4.2.3.1.2. Eintretenswahrscheinlichkeit $P_{Sprengung}$:

Einen weiteren Faktor stellt die Sprengung der Schneedecke dar. Um die notwendige Schneehöhe für den Abgang eines Schneebretts zu erreichen, darf diese nicht gesprengt werden. Je höher die Wahrscheinlichkeit $P_{Sprengung}$ ist, dass es zu keiner Sprengung, also Reduzierung der Schneedecke kommt, desto höher wird auch die Wahrscheinlichkeit $P_{notw.Schneedecke}$, dass die notwendige Schneehöhe für einen Anbruch erreicht wird. Umso effizienter eine Sprengmethode ist, desto geringer wird $P_{Sprengung}$ und damit auch $P_{notw.Schneedecke}$, was sich wiederum auf die Wahrscheinlichkeit für den Anbruch eines Schneebretts erhöhend auswirkt.

Aus welchen Gründen es zu keiner Sprengung der Schneedecke kommen kann, wird im **Kapitel** erläutert. Die einzelnen Wahrscheinlichkeiten der wirkungsbest. Faktoren werden entweder über Erfahrungswerte, Berichte, Chroniken, Bilder, usw. geschätzt, oder anhand der DELPHI Umfrage 2002 bewertet. Werden in einem Schigebiet keine Sprengungen durchgeführt, wird der Wert für $P_{Sprengung}$ gleich 1 gesetzt, was bedeutet, dass die Schneedecke nie durch eine Sprengung reduziert wird. Weiters kann es sein, dass aufgrund technischer Probleme keine Sprengung durchgeführt werden kann.

E.4.2.3.1.3. Eintretenswahrscheinlichkeit $P_{pot.Schneedecke}$

Als Grundvoraussetzung für den Anbruch eines Schneebretts muss eine bestimmte Schneedeckenhöhe erreicht werden, die ausreicht um als Schneebrett abzugehen. In Schigebieten muss dabei sowohl mit Selbstaumlösungen als auch mit Fremdaumlösungen gerechnet werden. Da durch einen Schifahrer eine Zusatzbelastung auf die Schneedecke aufgebracht wird (Fremdaumlösung), verringert sich die Mächtigkeit der Schneedecke, die notwendig ist, um einen Lawinenabgang zu ermöglichen. Es muss also grundsätzlich zwischen der Wahrscheinlichkeit, dass ein Schneebrett von selbst anbricht und der Wahrscheinlichkeit $P_{Schnee>d_1}$ dass es von einem Schifahrer ausgelöst wird, unterschieden werden. Weiters ändert sich auch die Mächtigkeit der Schneedecke, die für einen Lawinenabgang nötig ist mit der Seehöhe. Je steiler das Gelände ist, umso weniger mächtig muss die Schneedecke sein. Dies gilt sowohl für die Selbst- als auch für die Fremdaumlösung.

Bei Schneebrettlawinen wird davon ausgegangen, dass die, während einer Schneefallperiode anfallende Neuschneemenge nicht vollständig bricht, sondern eine effektive Abbruchshöhe abhängig von der Schneedeckenstabilität ausschlaggebend ist. Die Schneedeckenstabilität ist bestimmt durch das Mohr-Coloumb-Kriterium (SALM et. al., 1990).

Basierend auf den Tages-Neuschneesummen und der Geländeinformation kann daher für jedes Abbruchgebiet eine räumliche Abbruchhöhenverteilung gemäß des *Mohr-Coloumb* – Kriteriums berechnet werden (SALM et. al., 1990):

$$h(T, z) = [P_{24}(T, z)] \frac{0.291}{\sin(\theta) - 0.202 \cos(\theta)}$$

mit:

T : Wiederkehrintervall [Jahr]

θ : Neigungswinkel [°]

P_{24} : 72h Neuschneesumme [m]

≈ Seehöhe [m]

Mit Hilfe des Ansatzes nach *Mohr-Coloumb* erfolgt eine neigungsabhängige Reduktion der Schneehöhen, ab einer Geländeneigung von 28°. Mittels dieser Methode wird der Tatsache entsprochen, dass in steilen Abbruchgebieten die Schneehöhe geringer ist als in flacheren Gebieten.

Folgende Neuschneemengen ergeben für Skifahrer im freien Skigelände eine kritische Situation,

10-20cm bei ungünstigen Bedingungen

20-30cm bei mittleren Bedingungen

30-40cm bei günstigen Bedingungen, (MUNTER, 1992).

Ausgehend obiger Erfahrungswerte wurde eine kritische Schneehöhe von 20cm für eine Fremdauslösung bei einer Hangneigung von 28° angenommen. Die kritische Schneehöhe bei 28 ° Hangneigung, für die Selbstausslösung beträgt 40cm. Damit ergibt sich die in

Abbildung 73 dargestellte Verteilung der Schneehöhen nach der maßgeblichen Hangneigung. Mittels der Hangneigung eines betrachteten Anbruchgebietes kann nun die kritische Schneehöhe für die Auslösung eines Schneebrettes abgelesen werden. Dieser Wert wird als „trigger - Faktor“ bezeichnet. Je nach Art der Auslösung (Fremd- oder Selbstausslösung) werden 2 trigger Faktoren unterscheiden, d_0 und d_1 .

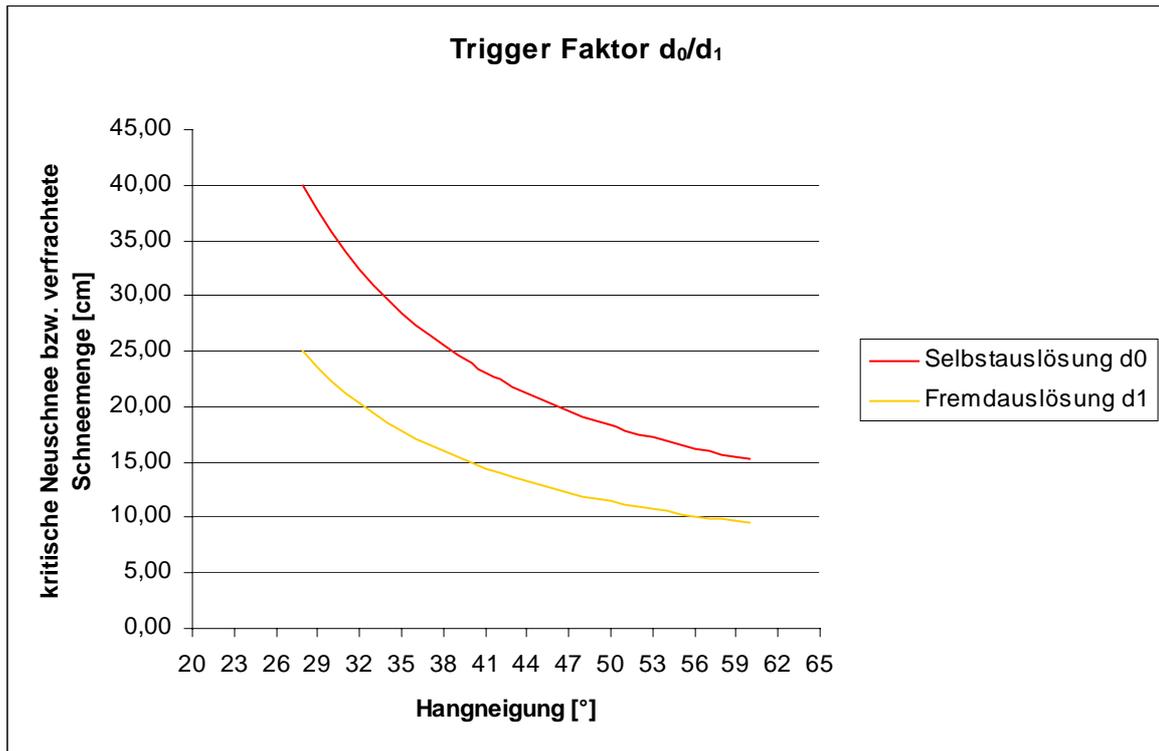


Abbildung 73: Kritische Schneehöhen für Selbst- bzw. Fremdausslösung

Die Ermittlung der Wahrscheinlichkeit, dass die Schneehöhen für Selbst- und Fremdausslösung einen kritischen Wert erreichen erfolgt wieder ähnlich wie die Ermittlung von $p_{Rauhigkeit}$. Wieder werden für die Wintersaison Tage gezählt, an denen die Neuschneehöhe mit der Verfrachtung die kritische Höhe für Selbstausslösung $N_{Schnee>d_0}$ und Fremdausslösung $N_{Schnee>d_1}$ erreichen oder überschreiten. Die Anzahl dieser Tage dividiert durch die Gesamtzahl der Tage an denen das Schigebiet geöffnet ist, ergibt wiederum die Wahrscheinlichkeit für das Erreichen oder Überschreiten der kritischen Schneehöhe für Selbst- und Fremdausslösung.

$$P_{Schnee>d_0} = \frac{N_{Schnee>d_0}}{N_{gesamt}}$$

$$P_{Schnee>d_1} = \frac{N_{Schnee>d_1}}{N_{gesamt}}$$



Bei der Fremdauslösung muss jedoch noch berücksichtigt werden, ob das Anbruchsgebiet für einen Schifahrer oder Tourengänger überhaupt erreichbar ist oder nicht. Dies wird bereits während der Außenaufnahmen notiert und kann somit aus den Aufnahmeblättern abgelesen werden. Die Präsenzwahrscheinlichkeit für einen Schifahrer $p_{Schifahrer}$ kann allerdings nur die Werte 0 und 1 annehmen. Entweder ist das Anbruchsgebiet nicht erreichbar, die Präsenzwahrscheinlichkeit ist 0, oder das Gebiet kann befahren werden, die Wahrscheinlichkeit ist gleich 1.

Die Schneehöhe in einem Anbruchsgebiet setzt sich aus dem gefallenen Neuschnee und dem Schnee, der in das Anbruchsgebiet verfrachtet wird, zusammen. Um $N_{Schnee>d_0}$ und $N_{Schnee>d_1}$ zu erhalten werden zuerst Neuschnee und verfrachteter Schnee getrennt betrachtet. Ähnlich wie bei der Bestimmung von $N_{GS>Rauhigkeit}$ sind wiederum umfangreiche Auswertungen einer Messstation nötig. Für die Auswahl dieser Station gilt gleiches wie oben. Optimal ist eine Station, an der sowohl Neuschneehöhen für jeden Tag, als auch durchschnittliche Windstärken für jeden Tag gemessen werden. Ist dies nicht der Fall, können zum Beispiel Windstärken einer automatischen Wetterstation, die sich im Schigebiet befindet herangezogen werden und die Neuschneehöhen einer Beobachterstation verwendet werden. Die Stationen sollten auf jeden Fall die Charakteristiken des Klimas im Schigebiet so gut wie möglich widerspiegeln. Hilfreich für die Auswahl der Stationen können hier vor allem Hydrographischer Dienst, ZAMG oder Lawinenwarndienste sein, da diese zumeist die Stationen betreuen und Auskunft über die Aussagekraft der gemessenen Daten geben können.

Nun wird wieder für jedes Anbruchsgebiet und für jeden Tag die Neuschneesumme auf die Seehöhe korrigiert. Die Höhe des Verfrachteten Schnees berechnet sich nach der Formel von MEISTER, 1989:

$$\Delta SH = \frac{\left(\frac{M_2}{M_{th}}\right)^3 \cdot \left(\frac{p_r + 2}{200}\right) \cdot \Delta t}{(8 \cdot M_2 + 60)} \cdot 10$$

M_2 ... mittlere Windgeschw. der Periode Δt [m/s]

M_{th} ... Grenzwert der Windgeschw. bei der Transport einsetzt, 2 Beaufort [m/s]

p_r ... Niederschlagsintensität [mm° W.e./h]

Δt ... Beobachtungszeitraum [h]

Die Summe aus verfrachteter Schnee und täglicher Neuschneehöhe ergibt die tägliche maßgebliche Schneehöhe für weitere Berechnungen. Anhand dieser Schneehöhen kann nun für jedes Anbruchsgebiet getrennt eine Filterabfrage durchgeführt werden, um herauszufinden an wie vielen Tagen die kritische

Schneehöhe für Selbstausslösung $N_{Schnee>d_0}$ und Fremdausslösung $N_{Schnee>d_1}$ erreicht oder überschritten wird.

Nach den oben beschriebenen Berechnungen kann nun die Wahrscheinlichkeit $P_{pot.Schneedecke}$ berechnet werden. Diese setzt sich aus folgenden Komponenten zusammen:

$$P_{pot.Schneedecke} = P_{Schnee>d_0} + (P_{Schnee>d_1} * P_{Schifahrer})$$

Mit diesem Wert ist man nun in der Lage die erste Wahrscheinlichkeit für eine der vier Grundbedingungen für das Auftreten eines Schneebretts zu berechnen und zwar jene, ob die notwendige Schneehöhe erreicht wird oder nicht. Die Formel lautet:

$$P_{notw.Schneedecke} = P_{pot.Schneedecke} * P_{Sprennung} * P_{Rauhigkeit}$$

E.4.2.3.1.4. Auftretenswahrscheinlichkeit einer Instabilitätsschicht

$$\underline{P_{Instabilität}}$$

Beim Abbruch eines Schneebretts gleitet eine flächige Schneetafel auf einer Schneesicht ab, die nicht imstande ist das Eigengewicht (und eine Zusatzbelastung) der Schneetafel über Reibungskräfte (Scherfestigkeit) auf darunter liegende Schichten zu übertragen. Die Ausbildung einer solchen Schwach- oder Instabilitätsschicht ist somit Grundvoraussetzung für den Abgang einer Schneebrettlawine. Als Gleitflächen können folgende Schichten in der Schneedecke dienen:

- Eingeschneiter Oberflächenreif
- Schmelzharsch
- Windharsch
- Schwimmschnee
- Schwachschichten mit kantig, aufbauend umgewandelten Kristallen in der Altschneedecke

- Schichtgrenze Altschnee-Neuschnee

Um zu einer Eintretenswahrscheinlichkeit für den Abgang eines Schneebretts zu gelangen, dessen Bedingung ja die Ausbildung einer Schwachschicht ist, muss also nun die Auftretenswahrscheinlichkeit für das Vorhandensein einer solchen Schicht ermittelt werden. Die Bildung solcher Schwachschichten hängt von einer Vielzahl von Faktoren ab. Die wichtigsten sind:

- Temperatur (Lufttemperatur, Oberflächentemperatur der Schneedecke, Temperatur in der Schneedecke, Bodentemperatur)
- Energiebilanz der Schneedecke (Strahlungsaustausch, Wärmeaustausch, Dampfaustausch, Massenaustausch)
- Luftfeuchtigkeit
- Windstärke und Windrichtung
- Niederschlag (Regen und Schnee)

Aus diesen Faktoren müsste nun für jeden einzelnen Tag berechnet werden, ob eine Schwachschicht vorhanden ist oder nicht. Die Anzahl der Tage mit Schwachschicht durch die Anzahl der Tage an denen eine Schneedecke vorhanden war, würde die gesuchte Auftretenswahrscheinlichkeit ergeben. Dabei zeigen sich jedoch mehrere Probleme, die bereits bei der Messung der Eingangsparameter beginnen. Bei den gängigen Beobachterstationen wird nur Lufttemperatur, Windrichtung- und -stärke, Niederschlag und Schneehöhe gemessen. Es werden also nur wenige von jenen Parametern gemessen, die nötig wären um die Schwachschichtbildung zu beschreiben. Seit einigen Jahren gibt es in Österreich ein relativ dichtes Netz an automatischen Messstationen, die zumeist zusätzlich noch Luftfeuchte, Schneetemperatur und Globalstrahlung messen. Hier zeigt sich jedoch das Problem, dass diese Werte teils mit starken Messfehlern behaftet sind und während des Winters oft lange Messlücken aufweisen, da die Stationen im Winter für Wartungsarbeiten nur schwer zu erreichen sind.

Für jeden gemessenen Parameter müssten nun Bereiche und Grenzwerte festgelegt werden, die überschritten bzw. unterschritten werden müssen, um eine Schwachschicht zu bilden. Daraus ergibt sich wieder eine Häufigkeit bzw. Wahrscheinlichkeit an wie vielen Tagen solche Bedingungen herrschen. Nun spielt allerdings die Kombination dieser Werte eine wichtige Rolle bei der Bildung von Schwachschichten. Es reicht also nicht aus Tage zu zählen, an denen zum Beispiel ein gewisser Temperaturwert über- bzw.



unterschritten wird. Es muss noch eine gewisse Luftfeuchte überschritten werden, um zum Beispiel die Bildung von Oberflächenreif zu ermöglichen. Daraus wird ersichtlich wie komplex das Problem überhaupt ist und wie viel Aufwand nötig wäre um nur annähernd plausible Werte zu errechnen.

Eine Möglichkeit die sich erst in den letzten Jahren ergeben hat, ist der Einsatz von Schneedeckenmodellen wie es zum Beispiel vom SLF entwickelt wurde (SNOWPACK). Mit diesem Modell kann neben Temperatur, Dichte, Kornform unter anderem auch die Bildung von Schwachschichten modelliert werden. Der entscheidende Nachteil dieser Modelle liegt allerdings daran, dass sie immer an Messdaten einer Wetterstation gebunden sind, d.h. dass die Modellierung immer nur für diesen einen Standpunkt gilt. Es müssten also die gemessenen Werte der Wetterstation auf die Seehöhe und Exposition des Anbruchgebietes referenziert werden und diese dann als Eingangsgrößen in das Modell herangezogen werden. Außerdem gilt die Modellierung immer nur für ebene Flächen, es werden also keine Kuppen oder Mulden berücksichtigt. Weiters bestehen in vielen Teilen Österreichs noch Lücken im Messnetz, womit die Beschaffung von Messdaten ein weiteres Problem für die Verwendung von Schneedeckenmodellen darstellt.

Aus den oben beschriebenen Problemen und um der geforderten Allgemeingültigkeit dieses Projekts Rechnung zu tragen, wurde versucht einen ganz anderen Weg zu gehen.

In jedem Bundesland, ausgenommen Wien und Niederösterreich, wird in den Wintermonaten ein täglicher Lawinenlagebericht erstellt (in Oberösterreich wird nur alle drei Tage ein Bericht erstellt), indem der Schneedeckenaufbau und die aktuellen Gefahrenstellen für eine Lawinenauslösung angegeben werden. Seit April 1993 wird in ganz Europa eine einheitliche 5-teilige Gefahrenskala verwendet, der auch einheitliche Definitionen der einzelnen Gefahrenstufen zugrunde liegen. Die Lawinenlageberichte der Länder sind mit Ausnahme des Berichts vom Lawinenwarndienst Vorarlberg einheitlich und im wesentlichen folgendermaßen aufgebaut (im Anhang befindet sich ein „Beispiel“-Lagebericht eines jeden Bundeslandes):

Kopfzeile: Logo, Lawinenwarndienst, Ausgabedatum, etc.

Kurztext: Stichwortartig wird das Wesentliche zur erwartenden Lawinensituation beschrieben.

Gefahrenstufe: Die aktuell Lawinengefahrenstufe wird durch eine Zahl aus der 5-teiligen europäischen Gefahrenskala angegeben.



Wetter: Die aktuelle Wetterlage wird kurz beschrieben. Weiters werden zu erwartende Niederschläge und die aktuellen Temperaturen gegliedert nach verschiedenen Höhenlagen wiedergegeben.

Schneedeckenaufbau: Der Aufbau der Schneedecke wird genauer beschrieben, Schwachschichten in der Schneedecke werden angegeben und mögliche Gleitflächen für Lawinen werden genannt.

Gefahrenbeurteilung: Die Lawinengefahr wird beurteilt, weiters werden Seehöhe, Exposition und Lage der Gefahrenstellen angegeben.

Tendenz: Die zu erwartende Entwicklung der Lawinengefahr wird hier beschrieben.

Im Zuge dieses Projekts wurden für die Bundesländer Tirol und Vorarlberg die Lawinenlageberichte der letzten fünf Wintersaisons (1998/99 bis 2002/2003) hinsichtlich Schwachschichtbildung ausgewertet. Insgesamt wurden 1463 Berichte analysiert, 822 für Tirol und 641 für Vorarlberg. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Zuerst musste festgelegt werden, welche Instabilitätsschichten in einer Schneedecke auftreten können. Diese sind:

- Schmelzharsch
- Windharsch
- Oberflächenreif
- Schwimmschnee (Tiefenreif) und Schichten mit kantig aufgebauten Kristallen
- Schichtgrenze Altschnee-Neuschnee

Die Bildung dieser Schwachschichten hängt sehr stark von Seehöhe und Exposition ab, daher wurden Seehöhenklassen von 500 bis >3500 m gebildet. Die Klassenbreite beträgt jeweils 500m. Weiters wurde



die Exposition in acht Sektoren unterteilt.

In den Lageberichten der verschiedenen Länder wurde nun für jeden Tag unter dem Punkt „Schneedeckenaufbau“ nachgelesen, ob und welche Instabilitätsschicht vorhanden war. Unter „Gefahrenbeurteilung“ wurde dann eruiert bis zu welcher bzw. ab welcher Höhenlage und für welche Exposition(en) die Schwachschicht vorhanden war. Oftmals wurden auch Begriffe verwendet wie „schattseitig“ oder „auf sonnenbeschienenen Hängen“. Bei der Analyse der Lageberichte wurden dann mehrere Expositionen gezählt. Bei „schattseitig“ zum Beispiel wurden die Expositionen NW, N und NE gewertet.

Die Summe aller Tage an denen eine solche Schicht vorhanden war dividiert durch die Tage an denen ein Lagebericht erstellt wurde, ergibt dann die durchschnittliche Wahrscheinlichkeit der letzten fünf Jahre für eine bestimmte Exposition und Seehöhe, dass eine Instabilitätsschicht auftritt. Dies wurde für jede mögliche Instabilitätsschicht getrennt durchgeführt. Das Ergebnis dieser Auswertung sind die Tabelle 17 bis Tabelle 26. Aus diesen Datenblätter kann nun getrennt für das Bundesland für jede Seehöhenklasse und Exposition der Wert für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Instabilitätsschicht abgelesen werden.

Schwimmschnee und kantig aufgebaute Kristalle in der Altschneedecke:								
Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,112	0,112	0,054	0,054	0,054	0,054	0,054	0,111
1000-1500	0,115	0,115	0,056	0,056	0,056	0,056	0,056	0,114
1500-2000	0,175	0,175	0,071	0,071	0,071	0,071	0,071	0,174
2000-2500	0,267	0,267	0,103	0,103	0,103	0,103	0,103	0,265
2500-3000	0,305	0,305	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,302
3000-3500	0,305	0,305	0,119	0,119	0,119	0,119	0,119	0,303

Tabelle 17: Wahrscheinlichkeiten für Schwimmschnee und kantig aufgebaute Kristalle in der Altschneedecke, gültig für Vorarlberg

Schwimmschnee und kantig aufgebaute Kristalle in der Altschneedecke:								
Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,113	0,102	0,044	0,038	0,033	0,035	0,038	0,102
1000-1500	0,114	0,103	0,045	0,039	0,034	0,036	0,039	0,103
1500-2000	0,151	0,140	0,078	0,066	0,056	0,058	0,063	0,140
2000-2500	0,393	0,384	0,241	0,206	0,151	0,157	0,173	0,369
2500-3000	0,539	0,535	0,325	0,263	0,198	0,204	0,226	0,512
3000-3500	0,551	0,536	0,326	0,265	0,201	0,207	0,227	0,518
3500<	0,551	0,535	0,326	0,265	0,201	0,208	0,229	0,518

Tabelle 18: Wahrscheinlichkeiten für Schwimmschnee und kantig aufgebaute Kristalle in der Altschneedecke, gültig für Tirol

Schmelzharsch:

Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,125	0,125	0,136	0,137	0,281	0,277	0,136	0,125
1000-1500	0,132	0,132	0,139	0,140	0,282	0,278	0,139	0,132
1500-2000	0,137	0,137	0,144	0,145	0,305	0,301	0,144	0,137
2000-2500	0,142	0,142	0,152	0,153	0,315	0,311	0,152	0,142
2500-3000	0,137	0,137	0,144	0,145	0,294	0,290	0,144	0,137
3000-3500	0,137	0,137	0,144	0,145	0,294	0,290	0,144	0,137

Tabella 19: Wahrscheinlichkeiten für Schmelzharsch, gültig für Vorarlberg

Schmelzharsch:

Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,124	0,123	0,127	0,127	0,327	0,253	0,127	0,123
1000-1500	0,123	0,122	0,125	0,125	0,326	0,253	0,125	0,122
1500-2000	0,122	0,120	0,124	0,124	0,330	0,254	0,124	0,120
2000-2500	0,123	0,123	0,129	0,129	0,353	0,274	0,131	0,123
2500-3000	0,069	0,069	0,075	0,078	0,308	0,224	0,080	0,069
3000-3500	0,060	0,060	0,069	0,069	0,271	0,196	0,069	0,060
3500<	0,061	0,061	0,069	0,069	0,269	0,196	0,071	0,061

Tabella 20: Wahrscheinlichkeiten für Schmelzharsch, gültig für Tirol

Windharsch:

Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,037	0,037	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,037
1000-1500	0,037	0,037	0,033	0,033	0,033	0,033	0,033	0,037
1500-2000	0,038	0,038	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,038
2000-2500	0,038	0,038	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,038
2500-3000	0,038	0,038	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,038
3000-3500	0,038	0,038	0,034	0,034	0,034	0,034	0,034	0,038

Tabella 21: Wahrscheinlichkeiten für Windharsch, gültig für Vorarlberg

Windharsch:								
Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,024	0,024	0,021	0,021	0,017	0,018	0,021	0,026
1000-1500	0,024	0,024	0,021	0,021	0,017	0,018	0,021	0,026
1500-2000	0,026	0,026	0,022	0,022	0,017	0,019	0,022	0,027
2000-2500	0,050	0,049	0,047	0,045	0,036	0,040	0,049	0,051
2500-3000	0,080	0,078	0,074	0,073	0,063	0,067	0,077	0,082
3000-3500	0,080	0,078	0,075	0,074	0,064	0,068	0,078	0,082
3500<	0,080	0,078	0,075	0,074	0,073	0,068	0,078	0,082

Tabelle 22: Wahrscheinlichkeiten für Windharsch, gültig für Tirol

Keine Verbindung Altschnee/Neuschnee:								
Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,029	0,031	0,030	0,030	0,026	0,026	0,026	0,029
1000-1500	0,037	0,039	0,038	0,038	0,034	0,034	0,034	0,037
1500-2000	0,263	0,273	0,258	0,234	0,186	0,167	0,203	0,259
2000-2500	0,787	0,808	0,694	0,519	0,293	0,263	0,416	0,795
2500-3000	0,820	0,839	0,706	0,524	0,305	0,276	0,427	0,817
3000-3500	0,818	0,837	0,703	0,522	0,303	0,275	0,426	0,816

Tabelle 23: Wahrscheinlichkeiten, keine Verbindung Altschnee/Neuschnee, gültig für Vorarlberg

Keine Verbindung Altschnee/Neuschnee:								
Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,079	0,075	0,073	0,071	0,069	0,068	0,068	0,074
1000-1500	0,082	0,078	0,075	0,073	0,072	0,071	0,071	0,077
1500-2000	0,108	0,107	0,097	0,095	0,091	0,089	0,090	0,102
2000-2500	0,276	0,279	0,245	0,221	0,184	0,175	0,182	0,257
2500-3000	0,493	0,491	0,378	0,337	0,274	0,263	0,279	0,473
3000-3500	0,501	0,489	0,388	0,347	0,285	0,274	0,288	0,473
3500<	0,489	0,487	0,387	0,347	0,290	0,274	0,287	0,473

Tabelle 24: Wahrscheinlichkeiten, keine Verbindung Altschnee/Neuschnee, gültig für Tirol

Oberflächenreif								
Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,055	0,055	0,025	0,025	0,018	0,018	0,025	0,055
1000-1500	0,055	0,055	0,025	0,025	0,018	0,018	0,025	0,055
1500-2000	0,075	0,075	0,021	0,021	0,014	0,014	0,021	0,075
2000-2500	0,076	0,076	0,022	0,022	0,016	0,016	0,022	0,076
2500-3000	0,080	0,080	0,027	0,027	0,021	0,021	0,027	0,081
3000-3500	0,080	0,080	0,027	0,027	0,021	0,021	0,027	0,080

Tabelle 25: Wahrscheinlichkeiten für Oberflächenreif, gültig für Vorarlberg

Oberflächenreif								
Seehöhe [m]:	Exposition							
	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
500-1000	0,039	0,035	0,017	0,017	0,012	0,016	0,017	0,035
1000-1500	0,039	0,035	0,017	0,017	0,012	0,016	0,017	0,036
1500-2000	0,038	0,035	0,017	0,017	0,012	0,016	0,017	0,036
2000-2500	0,040	0,038	0,018	0,018	0,013	0,017	0,018	0,039
2500-3000	0,049	0,046	0,026	0,026	0,019	0,023	0,026	0,047
3000-3500	0,050	0,047	0,027	0,027	0,021	0,024	0,027	0,049
3500<	0,050	0,047	0,027	0,027	0,021	0,024	0,027	0,049

Tabelle 26: Wahrscheinlichkeiten für Oberflächenreif, gültig für Tirol

Der Gutachter kann nun für jedes beliebige Anbruchgebiet aus den Aufnahmeblättern Exposition und Seehöhe entnehmen und mit diesen Werten als Eingangsdaten aus den Tabelle 17 bis Tabelle 26 für das Bundesland in dem das Schigebiet liegt, die Wahrscheinlichkeiten getrennt für jede Instabilitätsschicht ablesen. Diese Werte finden dann Eingang in den FTA.

Die getrennte Auswertung für jede Form der Instabilitätsschicht gibt dem Gutachter die Möglichkeit, auf besondere lokale Verhältnisse einzugehen. Ist zum Beispiel aus einem Gebiet bekannt, dass eine bestimmte Schwachschicht im Vergleich zum Durchschnitt gehäuft auftritt, kann der Wert für diese Schichte etwas höher gewählt werden. Für den Fall, dass ein Schigebiet im Grenzbereich zwischen zwei Bundesländern liegt, können Werte für die Wahrscheinlichkeit gewählt werden, die zwischen den jeweiligen Werten für die beiden Bundesländer liegen. Wobei hier je nach Charakteristik des Klimas im



Schigebiet gewichtet werden kann.

Die Lageberichte der verschiedenen Bundesländer enthalten jeweils noch eine Einteilung in verschiedene Regionen, für die auch unterschiedliche Gefahrenstufen vergeben werden. Nun tritt die Frage auf, warum die Wahrscheinlichkeitswerte für die Instabilitätsschichten nicht weiter für jede Region ausgewertet wurden, da es ja offensichtlich zu Unterschieden im Schneedeckenaufbau zwischen den Regionen kommt. Es könnte nun relativ leicht ausgewertet werden, wie die Verteilung der Gefahrenstufen in jeder Region ausgesehen hat. In diese Gefahrenstufe findet aber vor allem der Neuschneezuwachs Eingang und nicht nur die Bildung von Schwachschichten. Weiters ist die Beschreibung des Schneedeckenaufbaus nicht regionsspezifisch, sondern für das ganze Bundesgebiet gleich. Aus diesen Gründen war eine regionsspezifische Auswertung nicht möglich.

Ein weiteres Problem bei der Ermittlung der Auftretenswahrscheinlichkeit einer Schwachschicht stellt die Befahrung durch Wintersportler dar. Dadurch wird nämlich der natürliche Aufbau der Schneedecke gestört und die Ausbildung von flächigen Schwachschichten unwahrscheinlicher. Um diesem Umstand Rechnung zu tragen, wird ein Faktor $f_{\text{Schifahrer}}$ eingeführt. Ist das Anbruchsgebiet für einen Wintersportler nicht erreichbar, wird dieser Faktor gleich 1 gesetzt. Aus untenstehender Tabelle 27 kann der Abminderungsfaktor für die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Instabilitätsschicht ermittelt werden.

Befahrung	f_s
gar nicht	1
wenig	0,8
häufig	0,6

Tabelle 27: Abminderungsfaktor f_s

Es ist nun möglich die Wahrscheinlichkeit für die zweite Grundbedingung für den Abgang eines Schneebretts, nämlich das Vorhandensein einer Instabilitätsschicht, zu berechnen:

$$P_{\text{Instabilität}} = f_{\text{Schifahrer}} * [P_{\text{Oberflächenreif}} + P_{\text{Alt / Neuschnee}} + P_{\text{Aufbauend / Schwimmschnee}} + (P_{\text{Schmelzharsch}} + P_{\text{Windharsch}})]$$

E.4.2.3.1.5. Wahrscheinlichkeit $P_{\text{Verbauung}}$ dass der Rückhalt Stützverbauung versagt:



Die in einem Schigebiet häufigste permanente Maßnahme zum Schutz vor Lawinen ist die Stützverbauung. Ähnlich wie bei der künstlichen Lawinenauslösung kann es auch bei der permanenten Verbauung zu einem Versagen der Maßnahme kommen. Die Wahrscheinlichkeit des Versagens einer Stützverbauung ist ein maßgeblicher Faktor für die Eintretenswahrscheinlichkeit einer Lawine.

Die Versagenswahrscheinlichkeit einer Stützverbauung setzt sich aus verschiedenen wirkungsbestimmenden Faktoren zusammen, welche im Kapitel E.2.1.4 erläutert werden. Die einzelnen Wahrscheinlichkeiten der wirkungsbest. Faktoren werden entweder über Erfahrungswerte, Berichte, Chroniken, Bilder, usw. geschätzt, oder anhand der DELPHI Umfrage 2002 bewertet. Sind für das zu betrachtete Anbruchgebiet keine Stützverbauungen vorhanden, so wird der Wert für $p_{\text{Verbauung}}$ gleich 1 gesetzt. Dies bedeutet es kommt zu keinem Rückhalt der Schneedecke.

E.4.2.3.1.6. Wahrscheinlichkeit für die Disposition der Schneedecke

$$\underline{P_{\text{Festigkeit}}}$$

Als vierte Bedingung für den Abgang eines Schneebretts muss die Schneedecke eine gewisse Festigkeit aufweisen. Diese ist nötig, damit sich Spannungen in der Schneedecke fortpflanzen, und so zu einem Schneebrettanbruch führen können. Als Vergleichswert für die Festigkeit einer Schneedecke kann der Rammwiderstand herangezogen werden, der mit einer Rammsonde bestimmt wird. Da in Österreich derlei Untersuchungen nur mehr selten durchgeführt werden und diese Daten nicht flächendeckend vorhanden sind, müssen andere Vergleichswerte herangezogen werden. Generell kann gesagt werden, dass die Festigkeit der Schneedecke mit deren Dichte korreliert. Je größer die Dichte einer Schneedecke, desto höher ist auch deren Festigkeit. Ab einem gewissen Schwellenwert für die Dichte des Schnees muss also dessen Festigkeit ausreichen, um die nötigen Spannungen übertragen zu können. MCCLUNG (1993) gibt eine durchschnittliche Dichte für 70 untersuchte Schneebretter von 200 kg/m^3 , wobei die Werte zwischen 50 und 450 kg/m^3 liegen. In SCHWEIZER und JAMIESON (2000) wird für 98 untersuchte Lawinen ein Median von 140 kg/m^3 angegeben, wobei die erste Quartile bei 110 kg/m^3 und die dritte Quartile bei 200 kg/m^3 liegt. Man kann also annehmen, dass die Festigkeit der Schneedecke ab einer Dichte zwischen 50 kg/m^3 und 100 kg/m^3 gegeben ist, um Spannungen übertragen zu können.

Bei Neuschneefall können Dichten dieser Größenordnung nur erreicht werden, wenn der Schnee entweder sehr feucht ist oder unter Windeinfluss fällt. Im LAWINENHANDBUCH (1996) wird Neuschnee mit $60\text{-}100 \text{ kg/m}^3$ als schwach windgepackt und von $100\text{-}300 \text{ kg/m}^3$ als stark windgepackt bezeichnet. Neuschnee erreicht somit bereits bei sehr schwachem Wind, Dichten, die eine genügende Festigkeit der Schneedecke bedingen. Aus dieser Überlegung können nun für das zu behandelnde Schigebiet Tage gesucht werden, an denen Neuschnee unter Windeinfluss gefallen ist. Als untere Grenze

für die Windgeschwindigkeit die erreicht werden muss, werden 2 Beaufort angenommen.

Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Festigkeit berechnet sich folgendermaßen:

Wie schon in den oberen Kapiteln genauer beschrieben muss eine Wetter- oder Beobachterstation ausgewählt werden, die dem Schigebiet am nächsten liegt oder repräsentative Werte für dieses liefert. An der gewählten Station müssen Neuschneehöhe (HN in cm oder mm) und Windstärke (vv in Beaufort) gemessen werden. Die Neuschneehöhe wird üblicherweise jeden Tag um 7 Uhr gemessen, die Windstärke jeweils um 7, 14 und 19 Uhr. Sind für die Windstärke keine Tagesdurchschnittswerte vorhanden, müssen diese selbst aus den drei Werten in einem, Tabellenkalkulationsprogramm für jeden Tag nach Folgender Formel berechnet werden.

$$vv = \frac{vv07 + vv14 + vv19}{3}$$

Dabei sind:

vv07 Windstärke gemessen um 7 Uhr

vv14 Windstärke gemessen um 14 Uhr

vv19 Windstärke gemessen um 19 Uhr

Ist keine Station verfügbar, an der Windstärke und Neuschneehöhen gemessen werden, können diese Daten auch von zwei unterschiedlichen Stationen herangezogen werden. Beide müssen jedoch für das Schigebiet repräsentativ sein. Betrachtet werden nun Wertepaare, an denen Neuschnee gefallen ist und eine Windstärke größer 2 Beaufort geherrscht hat. Die Anzahl dieser Tage $N_{Neuschnee+Wind}$, geteilt durch die Anzahl der Tage mit Neuschneefall $N_{Neuschnee}$, ergibt dann die Wahrscheinlichkeit $p_{Festigkeit}$, dass die Schneedecke eine Dichte und damit Festigkeit erreicht, die ausreicht um Spannungen zu übertragen. Ausgedrückt in einer Formel lautet diese folgendermaßen:

$$p_{Festigkeit} = \frac{N_{Neuschnee+Wind}}{N_{Neuschnee}}$$

Mit diesem Wert, der ebenfalls in den FTA eingesetzt wird, kann nun nach Gleichung X die

Auftretenswahrscheinlichkeit $p_{\text{Schneebrett}}$ für den Abbruch eines Schneebretts für ein spezifisches Anbruchsgebiet berechnet werden.

E.4.2.3.2. Eintretenswahrscheinlichkeit Lockerschneelawine, $p_{\text{Lockerschnee}}$

Für das gleiche Anbruchsgebiet das der Eintretenswahrscheinlichkeit des Schneebrettes zugrunde liegt, wird angenommen, dass als Auslösemechanismus eine Lockerschneelawine vorkommen kann.

Die Charakteristik der Lockerschneelawine besteht darin, dass sie sich von einem Punkt an der Schneeoberfläche aus entwickelt und im Laufe der Bewegung an Breite und Tiefe gewinnt.

Die Lockerschneelawine entwickelt sich langsamer als die Schneebrettlawine; da sie meist nur eine dünnere Schicht umfasst, ist sie verhältnismäßig harmloser.

Die Eintretenswahrscheinlichkeit für eine Lockerschneelawine ist abhängig von einer grundsätzlichen Disposition des Anbruchgebietes und einer grundsätzlichen Disposition (Festigkeit) der Schneedecke. Diese zwei Parameter müssen gleichzeitig vorhanden sein damit es zu einer Auslösung einer Lockerschneelawine kommen kann.

Ein kohäsionsloser Schneedeckenaufbau wird für den Anbruch einer Lockerschneelawine vorausgesetzt. Deshalb ist es nicht effektiv diese Art des Lawinenanbruches, künstlich auszulösen. Trotzdem wird angenommen, dass durch wiederholte Sprengversuche die Schneedecke maßgeblich gestört wird. Damit wird das Sprengen der Schneedecke berücksichtigt.

Das Sprengen der Schneedecke wird daher bei der Ermittlung der Eintretenswahrscheinlichkeit, im Gegensatz zur permanenten Verbauung, nicht berücksichtigt.

E.4.2.3.2.1. Wahrscheinlichkeit „grunds. Disposition des Anbruchgebiets vorhanden“, $p_{\text{LS(Anbruch)}}$.

Damit wird berücksichtigt, dass nur aus Anbruchsgebieten mit bestimmten topographischen Eigenschaften, Lockerschneelawinen zu erwarten sind.

Folgende Eigenschaften erfüllen die grundsätzliche Disposition eines Anbruchgebietes für den Abgang einer Lockerschneelawine:

- Hangneigung, Sie sollte mehr als 50° betragen.
- Vorhandensein von Initialpunkten (Felsen, Verbauungen, Wechten...) Erfahrungen, Berichte, Bilder von Lockerschneeanbrüchen

E.4.2.3.2.2. Wahrscheinlichkeit „Rückhalt der Stützverbauung versagt“,

PLS(Stützverbauung).

Seit bestehen der Stahlschneebrücken konnten Anbrüche von Lockerschneelawinen aus Verbauungen beobachtet werden. Diese traten vor allem bei zu trockenen oder zu feuchten Schneedecken auf.

Daraus folgt, dass die Schneekonsistenz für die Beschreibung des Rückhaltes einer Stützverbauung, im Sinne eines Anbruches einer Lockerschneelawine, bewertet werden muss.

Die Versagenswahrscheinlichkeit einer Stützverbauung zum Schutz vor Lockerschneelawinen setzt sich aus zwei wirkungsbestimmende Faktoren zusammen.

- Schneekonsistenz besonders nass (vorläufiger DELPHI Wert: 0,026)
- Schneekonsistenz besonders trocken (vorläufiger DELPHI Wert 0,039)

Für jeder dieser Faktoren stehen drei Möglichkeiten der Bewertung zur Wahl:

1. Vorgeschlagenen Wert aus der Delphi Umfrage übernehmen,
2. Wahrscheinlichkeit für den wirkungsbest. Faktor selber anschätzen, mit den Werten aus dem Fragekatalog der Aufnahmeblätter – Schneebewegungen.
3. Null setzen, da der wirkungsbest. Faktor nicht vorkommt.

E.4.2.3.2.3. Wahrscheinlichkeit „Disposition der Schneedecke vorhanden (Festigkeit)“, PLS(Festigkeit)

Vorraussetzung für den Anbruch einer Lockerschneelawine ist ein kohäsionsloser Schneedeckenaufbau. Ist dies nicht gegeben so entstehen Schneebretter. Deshalb ist die Wahrscheinlichkeit für die Disposition der Schneedecke, einer Lockerschneelawine, der Reziprokwert des

Wahrscheinlichkeitswertes der Festigkeit eines Schneebrettes (siehe Kapitel E.4.2.3.1.6).

E.4.2.3.2.4. Wahrscheinlichkeit „Sprengung der Schneedecke vorhanden (Sprengung)“, $p_{LS(Sprengung)}$

Es wird angenommen, dass durch wiederholtes Sprengen der Schneedecke diese so gestört wird, dass die Möglichkeit eines Lockerschneeanbruches gegeben ist. Damit gilt $p_{LS(Sprengung)} = p_{(Sprengung)}$ des Schneebrettes, siehe Kapitel E.4.2.3.1.5.

E.4.3. PROZESSANALYSE

E.4.3.1. Grundlagen

Für die Darstellung der gefährlichen Schneebewegungen in einer Prozesskarte sind räumliche Ausbreitungen für ein bestimmtes Wiederkehrintervall von Interesse. Durch die Aufnahmeblätter der gefährlichen Schneebewegungen werden alle relevanten Prozesse im betrachteten Schigebiet bestimmt. Die räumliche Ausbreitung eines Prozesses steht eng im Zusammenhang mit dessen Anbruchshöhe. Sie wird aus Neuschneesummen für bestimmte Jährlichkeiten ermittelt. Der Zusammenhang zwischen Neuschneesummen und Jährlichkeiten kann entweder über partielle oder jährliche Serien bestimmt werden. Bei Beobachtungsreihen mit nur wenigen Jahren empfiehlt sich die Verwendung von partiellen Serien. Der Umfang des Datenkollektivs einer partiellen Serie sollte so viele Werte enthalten, wie die zwei bis dreifache Länge der Beobachtungsreihe Jahre. Bei der Bildung von partiellen Serien wird durch die Vergrößerung der Zahl der Werte eine Verbesserung der Daten im statistischen Sinne herbeigeführt. Die Extrapolation der Werte ist aber eingeschränkt und sollte in etwa die dreifache Länge des Beobachtungszeitraumes nicht überschreiten.

Bei längeren Beobachtungsreihen (Beobachtungszeiträume > 15 Jahre) können jährliche Serien zur Extrapolation auf seltene Ereignisse herangezogen werden. Zu ihrer Aufstellung wird die Beobachtungsreihe in gleichlange Zeitabschnitte eingeteilt, der Höchstwert jedes Abschnittes herausgesucht und in einer neuen Reihe der beobachteten maximalen Werte zusammengestellt. Für die Wahrscheinlichkeitsaussage wird jedem beobachteten und berechneten Höchstwert der gewählte gleiche Zeitabschnitt zugeordnet. Die beobachteten Höchstwerte, die jedoch zu unterschiedlichen Terminen innerhalb der einzelnen Zeitabschnitte eintreten, werden als zeitlich äquidistant angesehen (Maniak, 1997).

In beiden Fällen wird die empirisch ermittelte Wahrscheinlichkeitsdichte mit einer theoretischen Dichtefunktion angenähert. Entscheidend ist, dass die theoretische Wahrscheinlichkeitsdichte im

maximalen Bereich (rechter Teil der Verteilung) gut angepasst ist. Das Integral der Wahrscheinlichkeitsdichte ist die Wahrscheinlichkeitsfunktion $W(x)$. Die Jährlichkeit T_n errechnet sich aus folgender Beziehung:

$$T_n = \frac{1}{1 - W(x)} \text{ [Jahren]} \quad \text{Gleichung 6}$$

Nun sind die Abbruchshöhen für bestimmte Jährlichkeiten bekannt und damit können die zugehörigen Auslauflängen mit diversen Lawinauslaufmodellen berechnet und eine Prozesskarte erstellt werden. Zusätzliche Parameter für Lawinenmodelle wie Reibungskoeffizienten, Entrainment-Faktoren (Massenaufnahme während der Sturzbewegung) oder Hangneigungen sind aus den Aufnahmeblättern zu entnehmen.

Umgekehrt kann aufgrund der Neuschneesumme auf die Eintretenswahrscheinlichkeit mit der Beziehung

$$h_e = \frac{1}{T_n} \text{ [1/Jahr]} \quad \text{Gleichung 7}$$

geschlossen werden.

Mit Hilfe einer quantitativen Fehlerbaumanalyse kann nun der Wahrscheinlichkeitswert für das Eintreten eines Prozesses verifiziert werden. Dazu müssen die einzelnen Interaktionen, die einen Einfluss auf die Prozesswahrscheinlichkeit haben, ermittelt werden. Nachdem das Gerüst des Fehlerbaumes damit fertig wäre, ist es Aufgabe, diese Interaktionen zu quantifizieren. Ob eine Kombination zwischen Extremwertanalysen und Expertenwissen zur Quantifizierung des Fehlerbaumes zielführend ist, müsste mittels Fallstudien eruiert werden.

E.4.3.2. Räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit

Neben der Eintretenshäufigkeit ist auch die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit eines Prozesses zu bestimmen. Die räumliche Abgrenzung dient zur Beschreibung aller relevanten Prozessräume. Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit ergibt sich aus der Zuordnung der Auftretenswahrscheinlichkeiten zu den Prozessräumen. Es ist somit notwendig, alle Schneebewegungen die ein Schigebiet gefährden, festzustellen. Dazu zählen neben Großlawinen wie Tallawinen, auch Schifahrerlawinen als typische Vertreter der Hanglawinen und Schneerutsche mit einer Sturzbahn unter 100m Reichweite. Diese Einteilung basiert auf möglichen Reichweiten von Schneebewegungen. Zur Vereinfachung wird zunächst auf eine Betrachtung der räumlichen Verteilung verzichtet. Es werden nur die unterschiedlichen



Reichweiten in Falllinie ermittelt. Interessant ist, mit welcher Wahrscheinlichkeit ein Gefahrenprozess das zu betrachtende Schigebiet erreicht.

Es wird angenommen, dass die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit der Lawine von der 1-tages Neuschneehöhe im Anbruchgebiet abhängt. Je größer die Anbruchshöhe ist, welche wiederum in Relation zum gefallenen Neuschnee steht, desto wahrscheinlicher ist es, dass ein Objekt getroffen oder ein Bereich überstrichen wird. Abhängig von der Größe einer Lawine ist auch der Gefährdungsbereich g einer Piste. Für einen Pistenabschnitt x ergeben sich daher bei verschiedenen Neuschneehöhen auch verschiedene räumliche Auftretenswahrscheinlichkeiten und verschiedene Längen der Gefährdungsbereiche g .

Um nun zur räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit zu gelangen, müssen für das Anbruchgebiet mehrere Lawinensimulationen durchgeführt werden. Man beginnt mit der Anbruchshöhe, die als „trigger Faktor“ im Kapitel E.4.2.3.1.3 bestimmt wurde. Es wird nun die Schneehöhe in 5cm Schritten erhöht und immer wieder neu simuliert, bis die Lawine eine Piste erreicht. Ist aus den Außenaufnahmen bekannt, dass noch weiter unten liegende Pisten gefährdet sind, muss weiter simuliert werden, bis auch diese erreicht sind. Ansonsten wird nur mehr in 10cm Schritten bis zu einer Schneehöhe, eines 100-jährlichen Ereignisses entsprechend, simuliert. Man erhält somit für jede Neuschneehöhe eine Prozesskarte. Für jede Schneehöhe kann mit einer Verteilungsfunktion (in den meisten Fällen Gumbelverteilung)

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{c}\right)}}$$

x ...Neuschneehöhe [cm]

u ...charakteristisch größter Wert der Extremwertserie

c ...Maß für die Konzentration der Extremwerte um den charakteristisch größten Wert,

eine Unterschreitenswahrscheinlichkeit berechnet werden.

$$1 - F(x)$$

Aus dieser kann dann die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit, die sich ja aus dem Zusammenhang von Neuschneehöhe und Lawinenreichweite ergibt, wie folgt berechnet werden.

Zunächst muss die Wahrscheinlichkeitsverteilung der, für die Simulation verwendeten, Eintages - Neuschneesummen in Klassen eingeteilt werden. Die Klassenbreiten sind abhängig von den, für die Simulation verwendeten, Schneehöhen. Sie ergeben die Klassenmitten. Für jeden Wert des Klasseanfanges x_A und Klassenendes x_B muss die Überschreitungswahrscheinlichkeit $F(x_A)$, $F(x_B)$ berechnet werden. Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit für die gefragte Schneehöhe (Klassenmitte) ergibt sich nun aus Subtraktion der Überschreitungswahrscheinlichkeit der Klassengrenzen. Es gilt:

$$p_{Ra} = F(x_A) - F(x_B)$$

Für jede Auftretenswahrscheinlichkeit ergibt sich eine andere Länge des Gefährdungsbereichs g , die aus der jeweiligen Prozesskarte gemessen werden kann. Wird ein Simulationsprogramm verwendet, mit dem keine Ausdehnung sondern nur Reichweiten der Lawine dargestellt werden können, müssen für jede Lawine die Längen des Gefährdungsbereichs geschätzt oder durch einen Kenner (Lawinenkommission etc.) geschätzt werden.

E.4.3.3. *Wirkungsanalyse*

In der Wirkungsanalyse wird das Ausmaß jedes Gefahrenprozesses ermittelt. Gefragt ist die Wirkung eines Schadprozesses auf Personen oder Objekte. Als anerkanntes Lawinenausmaß gilt die Intensität einer Schneebewegung, ausgedrückt durch den Lawinendruck [kN/m²] auf ein Hindernis. Die Frage ob die Intensität einer Schneebewegung als maßgebliche Indexgröße im Sinne von Gefährlichkeit für Personen und Objekte zulässig ist, muss gestellt werden. Aufgrund der stärkeren Gewichtung der Gefahrenseite bei der Risikobestimmung in Schigebieten wird personenbezogen davon ausgegangen, dass das wichtigste Ausmaßkriterium eines Gefahrenprozesses das Erfassen einer Person, bzw. mehrerer Personen, durch Schneebewegungen ist.

E.4.4.1. Grundsätzliche Überlegungen

Die Expositionsanalyse stellt als Beitrag zur Risikoanalyse das pot. Schadensausmaß und die Präsenzwahrscheinlichkeit zur Verfügung. Die Expositionsanalyse bestimmt anhand des pot. Schadensausmaßes die Kennziffern für einen Risikovergleich. Kennziffern können Personen/Stunde, Kosten, Sachschäden/Ereignis usw. sein. Da im Rahmen dieses Projektes Lawinenschutzmaßnahmen miteinander verglichen werden sollen, spielt die Aussage der Expositionsanalyse eine eher untergeordnete Rolle. Es ist wichtig, dass die gleichen Kennziffern für jede Risikobestimmung verwendet werden. Welche Kennziffern dabei Gebrauch finden ist weniger von Interesse.

Trotzdem wurden zunächst einige Überlegungen zum Thema Expositionsanalysen in Schigebieten gemacht, um aufzuzeigen welche Fülle von Fragestellungen bezüglich der Schibetriebe mit der Methode der Risikoanalyse bewerkstelligt werden können. Ein Schigebietsmodell wurde zwar angedacht, konnte aber aus Zeitmangel nicht umgesetzt werden.

Abbildung 74 zeigt grundsätzliche Parameter welche zur Beschreibung eines Systems zu beachten sind.

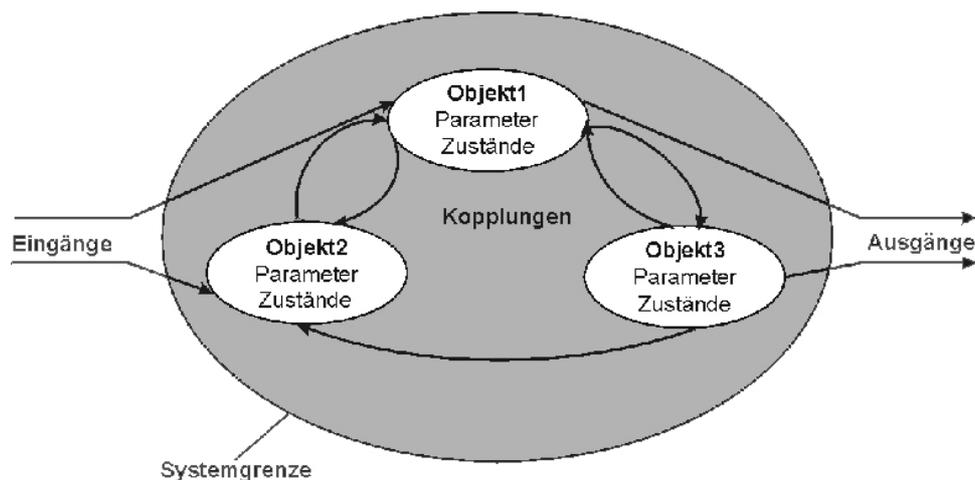


Abbildung 74: System – Systemgrenze Wechselwirkungen

Gedanklich erfolgt die Verschneidung dieser Systembeschreibung mit einem Schigebiet folgendermaßen:

Ein Schigebiet kann als offenes System mit Eingängen und Ausgängen betrachtet werden. Als Beschreibung des Zustandes des Gebiets zum Zeitpunkt t wird die Anzahl der sich im Gebiet befindenden Personen $P(t)$ gewählt. Die Systemgrenze stellt die Umrandung des organisierten Schiraumes dar.

Ein Schigebiet hat einerseits m Einfahrtsmöglichkeiten – Inputs -, über die neu ankommenden Personen $I(t)$ das Gebiet betreten, andererseits n Ausfahrtsmöglichkeiten – Outputs - über die Personen $O(t)$ das Gebiet wiederum verlassen können. Im Gebiet selbst können sich noch Speicher, wie Restaurants, Schihütten und Sonnterrassen befinden, die dadurch ausgezeichnet sind, dass dort



Personen für einen längeren Zeitraum verweilen. Hotels, die sich an einer Piste im Schigebiet, d.h. nicht bei der Talstation, befinden können als langfristige Speicher gesehen werden, in denen sich Personen über die Nacht aufhalten können. Da als Betrachtungszeitraum ein Tag bzw. genauer die Betriebszeit gewählt wird, bietet sich auch an, diese Hotels als Zufahrts- bzw. Abfahrtsmöglichkeit zu betrachten.

Somit kann die Änderung der Personen im Schigebiet zum Zeitpunkt t durch folgende Differentialgleichung beschrieben werden:

$$\frac{dP}{dt} = \sum_{i=1}^m I_i - \sum_{j=1}^n O_j \quad \text{Gleichung 8}$$

mit den Anfangswerten $I_i(0) = I_{i0}, i = 1 \dots m$ und $O_j(0) = 0, i = 1 \dots n$. Der Zeitpunkt $t=0$ entspricht der Betriebsaufnahme am morgen.

Personen im Schigebiet $P(t)$ zum Zeitpunkt t können demnach durch

$$P(t) = \sum_{i=1}^m \int_0^t I_i(\tau) d\tau - \sum_{j=1}^n \int_0^t O_j(\tau) d\tau \quad \text{Gleichung 9}$$

berechnet werden.

Für die Berechnung der Schadenshäufigkeit wird die Präsenzwahrscheinlichkeit benötigt. Das ist jene Wahrscheinlichkeit, mit der sich Personen im gefährdeten Gebiet aufhalten.

$$P_{pr} = \frac{\text{Zeit mit Personen im Gefährdungsraum [h]}}{24 \text{ h}} \quad \text{Gleichung 10}$$

Nimmt man an, dass während des gesamten Schiliftbetriebes der betrachtete Raum durch Personen belegt ist, so kann die Präsenzwahrscheinlichkeit durch

$$P_{pr} = \frac{\text{Betriebszeit [h]}}{24 \text{ h}} \quad \text{Gleichung 11}$$

angenähert werden. An einem Tag mit hoher Besucherzahl kann diese Annahme zulässig sein. An Tagen mit geringer Besucherzahl führt diese Berechnung zu einer Überschätzung der Präsenzwahrscheinlichkeit.

Die Anzahl der Personen im untersuchten Gefährdungsbereich, die für die Bestimmung des Schadensausmaßes bei Personenrisiko notwendig ist, ist schwieriger anzugeben. Ist $P(t)$ die Anzahl der Personen im Schigebiet und F_{ges} die Fläche des sich im Schigebiet für die Besucher zur Verfügung stehenden Raums (inkl. Aufstiegshilfen, Pisten, Schirouten,...), so kann mit der Annahme, dass sich die Personen gleichmäßig im Schigebiet aufteilen, die Zahl der Personen im Gefährdungsraum durch



$$N_p = \frac{P}{F_{ges}} F_{gef}$$

Gleichung 12

approximiert werden. Da diese Annahme eine zu starke Vereinfachung darstellt, muss versucht werden, eine andere Möglichkeit für die Bestimmung der, die Exposition beschreibenden Parameter, zu finden.

E.4.4.2. Potentielles Schadensausmaß

Jedes Schigebiet führt, für jeden Lift getrennt, Aufzeichnungen über die transportierten Personen pro Tag durch. Aus dieser Statistik lässt sich sehr leicht der Tag ermitteln, an dem die meisten Personen befördert wurden. Man kann annehmen, dass dies auch jener Tag ist, an dem sich die meisten Personen im Schigebiet befinden. Noch genauere Werte erhält man, wenn die Beförderungsraten der Lifte stundenweise aufgegliedert sind, da man dadurch in der Lage ist, jenes Szenario zu bilden, in dem sich wirklich die meisten Personen im Schigebiet aufhalten oder tageszeitliche Änderungen der Schifahrerströme zu berücksichtigen. Es sollte hier versucht werden verschiedene Szenarios hinsichtlich saisonaler und auch tageszeitlicher Schwankungen zu bilden. Als Ausgangsdaten für die weiteren Berechnungen erhält man also verschiedene Beförderungsraten für jeden Lift eines Schigebietes.

Es wird nun aus den Beförderungsdaten der Lifte für jeden Pistenabschnitt im Schigebiet eine Schifahrerfrequenz berechnet. Als erster Schritt muss das gesamte Schigebiet in Teilstücke zerlegt werden. Betrachtet man nun eine Piste, muss diese bei jedem möglichen Zu- oder Abgang von Schifahrern geteilt werden. Dies können Abzweigungen, Einbindungen, Berg- und Talstationen oder ähnliches sein. Das Schigebiet wird somit in Teilstücke mit der Länge $L_{Piste,i}$ zerteilt, in denen die Anzahl der Schifahrer, die sich darin befinden, gleich bleibt. Durch Befragung von Personen wie Pistenchef, Betriebsleiter oder Schischulleiter muss eruiert werden, wie sich die Schifahrerströme auf die einzelnen Pisten aufteilen. Dabei wird vom höchsten Punkt des Schigebiets ausgegangen und bei jeder Abzweigung befragt, wie viel Prozent der Personen Piste A oder B wählen. Vor jeder Abzweigung entspricht die Anzahl der Schifahrer wieder 100%, die sich dann wiederum auf die Abzweigenden Pisten aufteilen. Ausgehend von den Daten der Lifte kann nun für jedes Teilstück die Anzahl der Personen pro Zeiteinheit berechnet werden, wobei beachtet werden muss, dass bei einer Talstation entsprechend der Beförderungsraten der Personen, diese wieder von der Piste entnommen und im nächsten Teilstück nicht mehr vorhanden sind. Der Umgekehrte Fall tritt bei einer Bergstation ein, bei der wieder Personen dem nächsten Teilstück zugeführt werden. Man erhält so die Frequenz von Schifahrern F_{Sj} über das gesamte Schigebiet für verschiedene Szenarien. Für eine genaue Beschreibung der Vorgangsweise sei hier auf das Handbuch und vor allem auf die Fallbeispiele verwiesen, in denen die praktische Durchführung Schritt für Schritt durchgeführt und angegeben ist.



Aus der Prozessanalyse sind die durch Lawinen gefährdeten Bereiche bekannt. Diese können

- Pisten
- Schirouten
- Technische Aufstiegshilfen

sein. Aus der Verschneidung der Prozesskarte mit der Bodennutzungskarte erhält man nun Bereiche, die durch Lawinen gefährdet sind. Aus den verschiedenen Szenarien für den Gefahrenprozess ergeben sich auch verschiedene Längen g_j , auf denen die Piste gefährdet ist. Diese können für jedes Szenario aus der Karte entnommen werden.

Für das potentielle Schadensausmaß S_{ij} kann nun eine Szenarienmatrix gebildet werden, da sich einerseits die Frequenz der Schifahrer ändern kann und andererseits die Längen der Gefährdungsbereiche. Das Schadensausmaß für jeden Gefährdungsbereich wird dabei nach folgender Gleichung berechnet, wobei angenommen wird, dass die Präsenzwahrscheinlichkeit konstant bleibt:

$$S_{i,j} = \frac{F_{s_i} [\text{Pers} / \text{h}] * \text{Betriebszeit} [\text{h}] * g_j [\text{m}]}{L_{\text{Piste}}}$$

Der Formel liegt folgender Gedankengang zugrunde. Die Frequenz der Schifahrer für einen Pistenabschnitt wird mit der Betriebszeit multipliziert. Daraus erhält man, wie viele Personen sich während der ganzen Betriebszeit in diesem Abschnitt aufhalten. Unter der Annahme, dass sich die Schifahrer über die ganze Betriebszeit gesehen auf diesem Abschnitt gleich verteilen, erhält man durch Division mit der Länge dieses Abschnitts, eine Anzahl von Personen pro Meter Piste für diesen Abschnitt. Multipliziert man nun diese Anzahl mit der Länge, auf der die Piste gefährdet ist, erhält man das pot. Schadensausmaß in betroffenen Personen. Daraus ergibt sich für jeden einzelnen Gefährdungsbereich eine Matrix, die folgende Form hat:

	L_1	L_2	L_3
F_{s1}	S_{11}	S_{12}	S_{13}
F_{s2}	S_{21}	S_{22}	S_{23}
F_{s3}	S_{31}	S_{32}	S_{33}

Tabelle 28: Matrix für verschiedene Szenarien des pot. Schadensausmaßes, Schipisten, Schirouten

Analog dazu berechnet sich natürlich das pot. Schadensausmaß für eine technische Aufstiegshilfe. Die Schifahrerfrequenz wird einfach durch die Beförderungsrate B_{s_i} ersetzt und statt der Länge des Pistenabschnitts wird die Länge der Liftrasse L_{Lift} eingesetzt.

$$S_{i,j} = \frac{B_{s_i} [Pers / h] * Betriebszeit [h] * g_j [m]}{L_{Lift}}$$

Daraus erhält man dann ebenfalls eine Matrix für das potentielle Schadensausmaß für jeden Gefährdungsbereich einer technischen Aufstiegshilfe.

Das gesamte potentiell mögliche Schadensausmaß ist letztendlich die Summe der Schadensausmaße von Schipisten, Schirouten und technischer Aufstiegshilfe.

E.4.4.3. Präsenzwahrscheinlichkeit

Die Präsenzwahrscheinlichkeit beschreibt Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Schifahrers im gefährdeten Bereich. Sie ist deshalb, verständlicherweise, von der Geschwindigkeit der betroffenen Schifahrer abhängig.

Die gewählte Geschwindigkeit eines Schifahrers begründet sich durch viele Faktoren (Können, Hangneigung, Sicht, Ausrüstung,...), sodass eine durchschnittliche Geschwindigkeit ermittelt wurde. Dazu fanden Messungen verschiedener Schifahrer an unterschiedlich geneigten Hängen statt. Abbildung 75 zeigt gemessene Schifahrergeschwindigkeiten unterschiedlicher Könnerebenen für verschieden Hangneigungen.

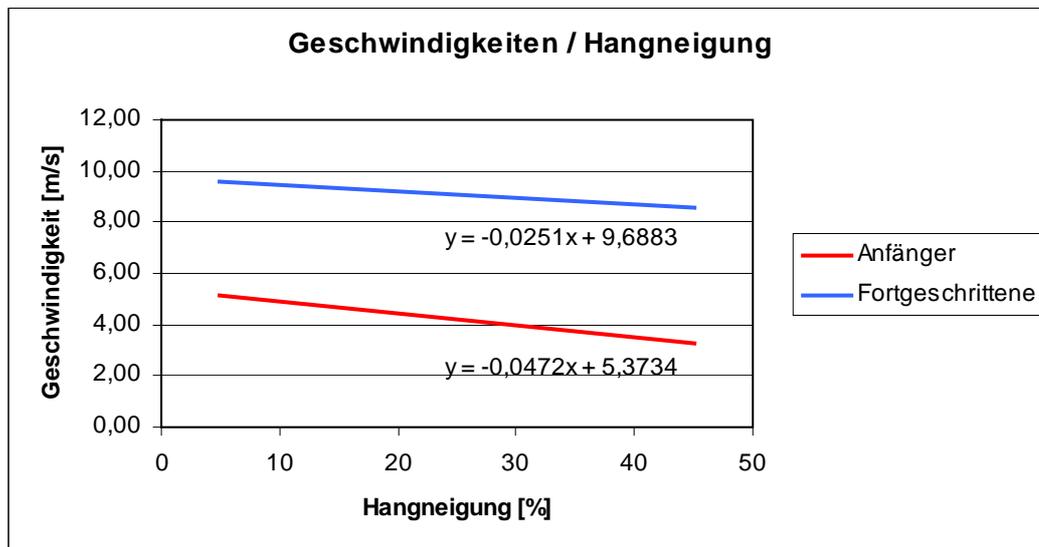


Abbildung 75: Schifahrergeschwindigkeiten unterschiedlicher Hangneigungen

Die Messungen fanden zeitbedingt an nur einem, nicht stark frequentierten, Tag statt.. Gemessen wurden 50 Schifahrer an unterschiedlichen Stellen. Den in Abbildung 75 angegebenen Werten liegen

sehr grobe Messungen zugrunde. Deshalb wurde aus allen Messungen eine durchschnittliche Geschwindigkeit gemittelt.

Die durchschnittliche Geschwindigkeit für eine(n) Schifahrer(in) unabhängig von der Hangneigung beträgt : $v_{Schifahrer} = 7,86 \text{ m/s}$.

Ist nun die Länge des Gefährdungsbereiches g_j bekannt, so lässt sich die Aufenthaltsdauer eines Schifahrers im gefährdeten Bereich mit:

$$\Delta t = \frac{v_{Schifahrer} \left[\frac{m}{s} \right]}{g_j \left[m \right]} \quad [s]$$

Die Präsenzwahrscheinlichkeit berechnet sich nun aus folgender Beziehung

$$p_{rt} = \frac{\Delta t [s]}{\text{BetriebszeitLift} [h]}$$

Die Betriebszeit muss für jenen Lift gelten, mit dem man den gefährdeten Bereich erreichen kann. Ist dies von mehreren technischen Aufstiegshilfen möglich so ist als Betriebszeit die durchschnittliche Öffnungszeit des gesamten Schigebietes heranzuziehen.

E.4.4.4. Sperrungswahrscheinlichkeit

Um etwaige Sperrtage in einem Schigebiet berücksichtigen zu können, wird die Sperrwahrscheinlichkeit in die Expositionsanalyse eingebunden.

Wie wahrscheinlich es zu einer Sperrung einer vom Anbruchgebiet gefährdeten Pistenabschnittes kommt, wird im Kapitel E.3.2.5 erläutert. Der Wahrscheinlichkeitswert wird entweder geschätzt (Erfahrungen, Berichte, Bilder, usw.), oder anhand der DELPHI Umfrage 2002 bewertet. Werden in einem Schigebiet keine Sperrungen durchgeführt, wird der Wert für $p_{Sperrung}$ gleich 0 gesetzt.

E.4.5. FOLGENANALYSE

Ziel der Folgenanalyse ist es, Schadenshäufigkeit und Schadensausmaß aus den vorangegangenen Arbeitsschritten der Risikoanalyse zu ermitteln. Die Schadenshäufigkeit in einem Schigebiet h_s für einen Prozess ergibt sich durch folgende Beziehung:

$$h_s = h_e \cdot p_{ra} \quad \text{Gleichung 13}$$

wobei h_e den Wert der Eintretenswahrscheinlichkeit widerspiegelt, und p_{ra} die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit darstellt.



Da sich die Schadenshäufigkeit immer auf einen Gefahrenprozess bezieht, spricht man auch von einem Szenario.

Beim Schadensausmaß wird die gefährdete Anzahl von Personen im Freien ermittelt. Das Schadensausmaß berechnet sich aus dem Produkt von potentiellm Schadensausmaß, Präsenzwahrscheinlichkeit und Sperrungswahrscheinlichkeit nach folgender Beziehung:

$$S = S_{i,j} \cdot p_{rt} \cdot (1 - p_{Sperr}) \quad \text{Gleichung 14}$$

E.4.6. RISIKOBESTIMMUNG

Durch den letzten Arbeitsschritt der Ist-Zustandserhebung ergibt sich das Ausgangsrisiko für weiterführende Analysen. Dies erfolgt übersichtlich anhand einer Risikomatrix. Die Vorgehensweise zur Bestimmung des Ausgangsrisikos wird anhand Tabelle 29, nachfolgend erläutert (vgl. BUWAL, 1999). Tabelle 29 zeigt das Beispiel einer Risikomatrix bezogen auf Schifahrer für 4 Szenarien.

organisierter Schiraum α		Szenarien $SZ_{1,\dots,m}$				Objektrisiko r_i
		SZ_1	SZ_2	SZ_3	SZ_m	
Schifahrer, Personen im Freien	P1 2 ⁶	$r_{1,1}$	$r_{1,2}$	$r_{1,3}$	$r_{1,m}$	r_1
	P1 1	$r_{2,1}$	$r_{2,2}$	$r_{2,3}$	$r_{2,m}$	r_2
	P2 1	$r_{3,1}$	$r_{3,2}$	$r_{3,3}$	$r_{3,m}$	r_3
	P n	$r_{n,1}$	$r_{n,2}$	$r_{n,3}$	$r_{n,m}$	r_n
Kollektivrisiko		$R_{1,1}$	$R_{1,2}$	$R_{1,3}$	$R_{n,m}$	R_α

Tabelle 29: Beispiel einer Risikomatrix zur Bestimmung des Kollektivrisikos des Schiraumes α

Die Objektrisiken $r_{i,m}$ werden aufgrund der Schadenshäufigkeit des Szenarios (m) und des Schadensausmaßes des Schiraumes, Teilbereich (i) nach folgender Form berechnet.

$$r_{i,m} = h_{sm} \cdot S_i \quad \text{Gleichung 16}$$

⁶ P1 2 ist die fortlaufende Nummer des Aufnahmeblattes - organisierter Schiraum. In diesem Beispiel bedeutet P1 2 der Teilbereich Nr.: 2 im gefährdeten Schiraum Nr.:1

Durch das Aufsummieren aller szenarienspezifischer Objektrisiken $r_{i,m}$ für jeden Teilbereich erhält man dessen Gesamtrisiko r_n .

$R_{n,m}$ ist das Kollektivrisiko, bezogen auf den untersuchten Schiraum, aufgrund der Szenarien SZ_m .

Das Kollektivrisiko R_α des Schiraumes α kann einerseits über die Summe der Kollektivrisiken $R_{n,m}$, oder durch Aufsummieren aller szenarienspezifischer Objektrisiken $r_{i,m}$ ermittelt werden.

Als Resultat erhält man das Risiko, als Anzahl gefährdeter Schifahrer pro Jahr, welche sich aufgrund eines Lawinenereignisses, ausgehend von einem Anbruchsgebiet, ergeben.

Zur Bestimmung des Gesamtrisikos in einem Schigebiet müssen demnach die Teilrisiken für alle Anbrüche getrennt berechnet und anschließend summiert werden.

E.5. RISIKOOPTIMIERUNG IN SCHIGEBIETEN

E.5.1. EINLEITUNG

Anhand der im vorigen Kapitel vorgestellten Methode ist das Risiko als Ausgangsgröße für ein Schigebiet bekannt. Nun liegt es an deren Interessensvertretern dieses Risiko anzunehmen oder abzulehnen. Von einer Risikooptimierung wird dann gesprochen, wenn Maßnahmen geplant werden das Ausgangsrisiko zu reduzieren. Überlegungen dazu entstehen meistens aus wirtschaftlichen Gründen, wobei hier 2 wesentliche Aufgabenstellungen zu nennen sind:

1. Verbesserung des Ausgangsrisikos durch Veränderung der Lawinenschutzmaßnahmen,
2. Verbesserung des Ausgangsrisikos durch Sperre der Schipisten und Schirouten.

Je nach Aufgabenstellung ist es notwendig, Maßnahmen auf der Gefahrenseite oder Expositionsseite zu planen. Eine Veränderung der Gefahrenseite bedeutet eine Identifizierung der technisch umsetzbaren Lawinenschutzmaßnahmen, um die Schadenshäufigkeit und somit, trotz der Umsetzung der Maßnahmen, das verbleibende Restrisiko zu verringern.

Eine Verbesserung des Ausgangsrisikos auf der Expositionsseite wird durch eine Sperrung der Wertbereiche (Schipiste, Schiroute) beschrieben.

Tabelle 30 zeigt in welchem Bereich der Risikobestimmung sich die oben angeführten Aufgabenstellungen bewegen.

Aufgabenstellung:	Verbesserung der Lawinenschutzmaßnahmen	Sperre
gefahrenseitig	x	
expositionssseitig		x

Tabelle 30: Maßgebliche Bereiche der einzelnen Aufgabenstellungen für die Optimierung des Risikos in Schigebieten.

Ist das Ausgangsrisiko des Schigebiets akzeptabel, so sind natürlicherweise keine weiteren Maßnahmen (gefahren- und expositionssseitig) notwendig.

E.5.2. OPTIMIERUNG DER GEFAHRENSEITE

Lawinenschutzmaßnahmen sollen die grundsätzliche Disposition zum Abgang einer Lawine reduzieren, welche durch die Eintretenshäufigkeit beschrieben wird. Deshalb bewirkt eine Verringerung der Eintretenshäufigkeit eine Verringerung der Schadenshäufigkeit und letztendlich eine Reduktion des Ausgangsrisikos.

E.5.2.1. Optimierung der permanenten Stützverbauung

Die Optimierung der permanenten Stützverbauung erfolgt durch eine Verbesserung der wirkungsbestimmenden Faktoren, welche für die Ermittlung des Ausgangsrisikos maßgeblich sind (siehe Kapitel E.2.1.4) Tabelle 31 zeigt die Zusammenhänge und die zu treffenden Maßnahmen zur Optimierung der Stützverbauung. (vorläufige DELPHI Werte!)

Mögliche Ursache eines Lawinenabganges:	Wahrscheinlichkeit aus DELPHI Umfrage 2002	Zu treffende Maßnahmen	Wahrscheinlichkeit nach Setzung der Maßnahme	
Werkabstand in Falllinie zu groß	0,022	Vollständig Verbauen	0	
		Mit temporären Maßnahmen kombinieren	0,022 und zusätzlich P(Sprengmethode)	
Anordnung der Werke ungenügend	0,05	Verbauung vergrößern	0	
		Mit temporären Maßnahmen kombinieren	0,05 und zusätzlich P(Sprengmethode)	
	Anbrüche oberhalb	0,05	Verbauung vergrößern	0
			Mit temporären Maßnahmen kombinieren	0,05 und zusätzlich P(Sprengmethode)

	Anbrüche unterhalb	0,05	Verbauung vergrößern	0
			Mit temporären Maßnahmen kombinieren	0,05 und zusätzlich P(Sprengmethode)
Rostabstand zu groß		0,021	Gitterauflagen	0
Schäden an der Verbauung		0,017	Oberbau, Anker reparieren, Ersetzen	0
Einwehung nicht berücksichtigt		0,025	Verwehungsverbauung errichten	0
Fläche zu gering verbaut		0,029	Verbauung vergrößern	0
			Mit temporären Maßnahmen kombinieren	x und zusätzlich P(Sprengmethode)
Werkshöhe zu gering		0,024	Werkhöhe vergrößern	0
			Mit temporären Maßnahmen kombinieren	0,024 und zusätzlich P(Sprengmethode)

Tabelle 31: Zu treffende Maßnahmen zur Optimierung der permanenten Stützverbauung

Die Wahrscheinlichkeiten der zweiten Spalte in Tabelle 31 sind die Werte, die zur Ermittlung des Ausgangsrisikos im Fehlerbaum (Kapitel E.4.2.3) eingesetzt wurden. In Spalte 3 sind, je nach Mangel der Stützverbauung, die zu treffenden Maßnahmen aufgelistet. Es wird davon ausgegangen, dass nach erfolgter, vollständiger Behebung der Mängel, die „Versagenswahrscheinlichkeit“ der Verbauung null wird. Ist dies nicht möglich, so kann die bestehende Verbauung mit temporären Maßnahmen kombiniert werden. Die Eintretenswahrscheinlichkeit einer Lawine ist dann sowohl von der Verbauung (wenn auch mangelhaft), als auch von der eingesetzten Sprengmethode abhängig.

Das Restrisiko trotz optimierter Stützverbauung berechnet sich schlussendlich wieder nach den Arbeitsschritten der IST - Risikoerhebung. Zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit mit Hilfe des Fehlerbaumes werden jedoch die Wahrscheinlichkeitswerte nach erfolgter Mängelbehebung eingesetzt, bzw. die Wahrscheinlichkeiten der Sprengmethode hinzugefügt (bei Kombination).

E.5.2.2. Optimierung der künstlichen Lawinenauslösung

Eine Optimierung des Risikos mit Hilfe der künstlichen Lawinenauslösung hängt letztendlich von der Wahl der geeignetsten Sprengmethode ab. Die unterschiedlichen Ansätze, welche zu einem Erfolg einer Sprengmethode führen sollen, zeigen auf, dass die optimalste Methode durch diverse Faktoren beeinträchtigt wird. So ist mittels Hubschraubersprengung jedes Anbruchsgebiet erreichbar, jedoch nur dann, wenn gute Sichtverhältnisse herrschen. Einfache Bedienung und permanente Einsatzbereitschaft der Sprengmethode geht manchmal zu Kosten der Bedienbarkeit, usw. Es ist nicht Ziel dieses Projektes neue Sprengmethoden zu entwickeln, viel eher sollen die Stärken und Schwächen der einzelnen Methoden, als Entscheidungsgrundlage, aufgezeigt werden

Anhand der vorgestellten Methode zur Risikobestimmung ist ein Vergleich unterschiedlicher Maßnahmen möglich. Dazu sei jedoch angemerkt, dass ein Ergebnis nur so genau sein kann wie seine Angaben. In Tabelle 32 und Tabelle 31 sind die Wahrscheinlichkeitswerte der wirkungsbestimmenden Faktoren unterschiedlicher Sprengmethoden abgebildet, dass ein direkter Vergleich möglich wird.



Diese vorläufigen Werte stammen von der DELPHI Umfrage 2002 und können durch Erfahrungswerte geändert werden.

	Versagenswahrsch. Technisch	Anteil der techn. Fehler an Versagen [%]	
		Blindgänger, keine Zündung	techn. Ausfall
Hubschrauber	0,034	01	0,034
		Blindgänger, keine Zündung	techn. Ausfall
Orgel	0,234	0,092	0,142
		Blindgänger, keine Zündung	techn. Ausfall
Handsprenzung	0,032	0,032	0,00
		Blindgänger, keine Zündung	techn. Ausfall
Sprengseilbahn	0,039	0,014	0,025
		Blindgänger, keine Zündung	techn. Ausfall
Gaz.Ex	0,08	0,037	0,043

Tabelle 32: Wahrscheinlichkeitswerte der techn. wirkungsbestimmenden Faktoren unterschiedlicher Sprengmethoden

	Versagenswahrsch. Logistisch	Anteil der log.. Fehler an Versagen [%]			
		Sprengpunkt erreicht aber Sprengpunkt nicht getroffen	Sprengpunkt nicht erreicht	Sprengzeitpunkt zu früh	Sprengzeitpunkt zu spät
Hubschrauber	0,186	0,006	0,116	0,012	0,052
		Sprengpunkt erreicht aber Sprengpunkt nicht getroffen	Sprengpunkt nicht erreicht	Sprengzeitpunkt zu früh	Sprengzeitpunkt zu spät
Orgel	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Summe:			
		Sprengpunkt erreicht aber Sprengpunkt nicht getroffen	Sprengpunkt nicht erreicht	Sprengzeitpunkt zu früh	Sprengzeitpunkt zu spät
Handsprenzung	0,093	0,000	0,002	0,051	0,040
		Summe:			
		Sprengpunkt erreicht aber Sprengpunkt nicht getroffen	Sprengpunkt nicht erreicht	Sprengzeitpunkt zu früh	Sprengzeitpunkt zu spät
Sprengseilbahn	0,04	0,00	0,00	0,025	0,014
		Summe:			
		Sprengpunkt erreicht aber Sprengpunkt nicht getroffen	Sprengpunkt nicht erreicht	Sprengzeitpunkt zu früh	Sprengzeitpunkt zu spät
Gaz.Ex	0,025	0,00	0,00	0,00	0,00





Tabelle 33: Wahrscheinlichkeitswerte der logistischen wirkungsbestimmenden Faktoren unterschiedlicher Sprengmethoden

Abbildung 76 zeigt die Anteile der technischen und logistischen Faktoren der einzelnen Sprengmethoden am Sprengerfolg.

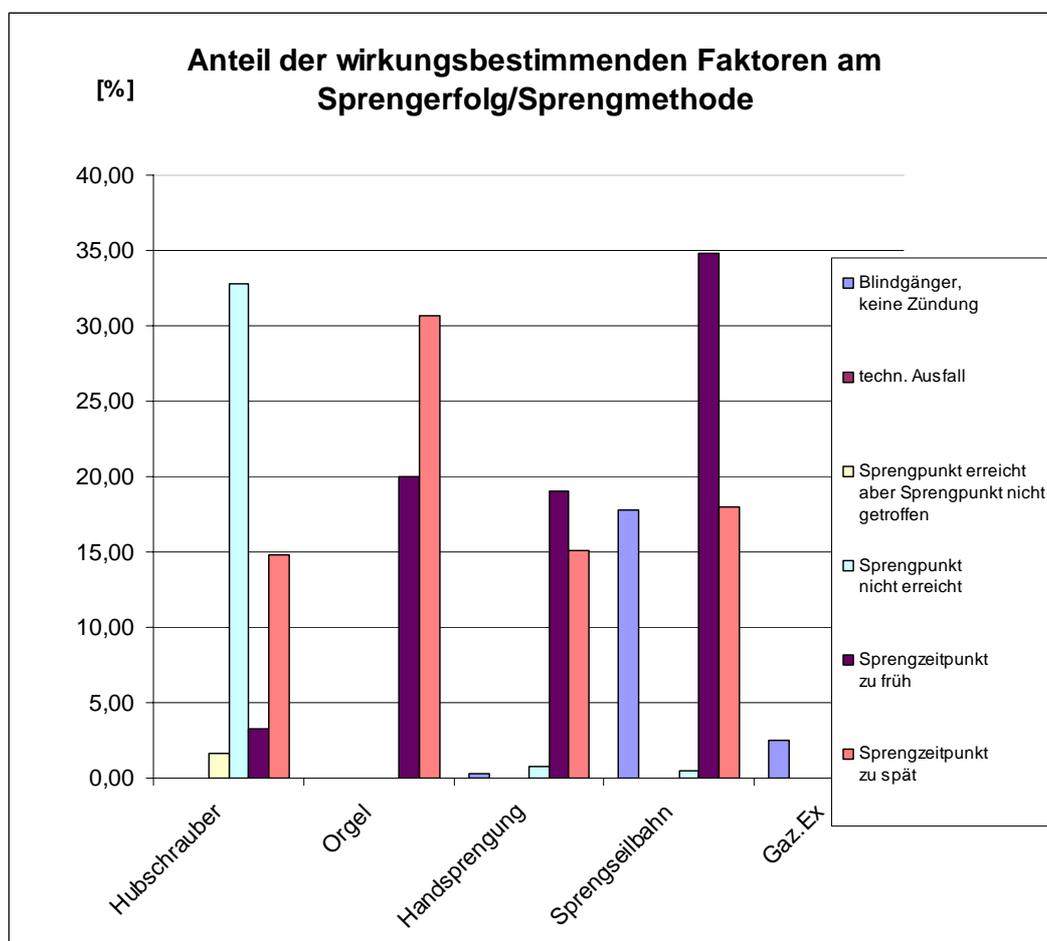


Abbildung 76: Anteil technischer sowie logistischer Faktoren am Sprengerfolg einer Sprengmethode

Man sieht deutlich, dass das Hauptproblem der Hubschraubersprengung bei der Erreichbarkeit des Sprengpunktes liegt. Die Versagenswahrscheinlichkeit der Sprengseilbahn hängt am meisten mit einem technischen Ausfall zusammen. Bei der Lawinenorgel kann davon ausgegangen werden, dass aufgrund ihrer Bauweise Sprengpunkte erreicht und getroffen werden wenn immer gesprengt werden möchte. Die



Versagenswahrscheinlichkeit der Lawinenorgel hängt stark vom Sprengzeitpunkt ab. Die Werte sind durch Expertenbefragung während der Fallstudien in Lech und am Rendl ermittelt worden. Zu beachten ist, dass diese Werte Fehler aufweisen können, da sie auf Erfahrungen basieren. Besonders zur Beschreibung der Gaz. Ex – Sprengmethode muss dieser Fehler berücksichtigt werden. Diese Sprengmethode ist erst relativ kurz in Österreich im Einsatz und oft ist eine positive Sprengung nicht beobachtbar, da bei jeden Sichtverhältnissen gesprengt werden kann.

Eine Optimierung des Risikos bedeutet im Sinne der künstlichen Lawinenauslösung also eine Änderung der Sprengmethode.

Das Restrisiko trotz optimierter Sprengmethode berechnet sich schlussendlich wieder nach den Arbeitsschritten der IST - Risikoerhebung. Zur Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit mit Hilfe des Fehlerbaumes werden jedoch die Wahrscheinlichkeitswerte der gewählten Sprengmethode hinzugefügt oder ergänzt (bei Kombination).

E.5.3. OPTIMIERUNG DER EXPOSITIONSSEITE

Eine andere Möglichkeit das Ausgangsrisiko zu reduzieren, liegt in der Setzung einer Sperre um die Präsenzwahrscheinlichkeit der Schifahrer zu verringern. Diese Maßnahme wird im Zuge der Risikobestimmung auf der Expositionseite berücksichtigt. Dazu ist es notwendig die Sperrwahrscheinlichkeit des betroffenen Pistenabschnittes zu kennen. Sie wird berechnet aus dem Quotient der Anzahl Sperrtage durch die Anzahl der möglichen Schitage (Schisaison). Je größer der Wert desto höher ist die Wahrscheinlichkeit, dass bei akuter Lawinengefahr die Piste gesperrt ist. Es wird davon ausgegangen, dass die Sperre nur an lawinengefährlichen Tagen stattfindet und aufgrund der Sperre keine Schifahrer den gefährdeten Abschnitt erreichen.

Eine Sperrung des organisierten Schiraumes wegen einer Lawinensprengung findet meistens nicht mehr statt, da die Maßnahme entweder vor Betriebsanfang oder nach Betriebsschluss gesetzt wird.

Die Eintretenswahrscheinlichkeit einer Lawine, oder ihre räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit ändert sich dadurch nicht.

F.1. ALLGEMEIN

Anhand der Fallstudien sollen die Möglichkeiten der Methode zur Bestimmung des Risikos in Schigebiet erläutert werden. Als Ergebnis erhält man das Risiko bzw. Restrisiko, welches zur Entscheidungshilfe für diverse Fragestellungen des Schibetriebes bzw. der Lawinensachverständigen dient. Von einer Beurteilung der Ergebnisse wird Abstand gehalten, da dies nicht als Aufgabe dieses Projektes gesehen wird.

Nachfolgend werden anhand der Schigebiete Lech - Ost und Rendl, Fallstudien zur Bestimmung des Risikos in Schigebieten durchgeführt. Dabei wird systematisch nach dem Handbuch vorgegangen, sodass eine Beschreibung der einzelnen Arbeitsschritte in diesem Kapitel nicht mehr erfolgt. Zunächst wird für jedes Schigebiet das Risiko aufgrund einer sogenannten „Nullvariante“ bestimmt. Das bedeutet, dass keine Maßnahmen zum Schutz vor Lawinen angenommen werden. Weiters wird das Risiko aufgrund der momentanen Verhältnisse bestimmt. So können die momentan gesetzten Maßnahmen berücksichtigt werden (Momentvariante). Letztendlich wird das Restrisiko einzelner Anbruchsflächen, beider Schigebiete, aufgrund unterschiedlicher Lawinenschutzmaßnahmen berechnet.

Die für die Versagenswahrscheinlichkeit der Lawinenschutzmaßnahmen verwendeten Werte stammen von der DELPHI Umfrage 2002 und sind zu diesem Erscheinungszeitpunkt erst in vorläufiger Form verwendbar.

F.2. RISIKOBESTIMMUNG – SCHIGEBIET LECH – OST

Als ein riesiges, zusammenhängendes Schigebiet der Regionen Lech, Oberlech, Zürs, und Zug wäre die gesamte Schiarena zu groß und komplex um im Rahmen der vorgegebenen Zeit eine sinnvolle Risikoanalyse durchführen zu können. Deshalb wurde im Zuge der Vorarbeiten sowie Außenaufnahmen der Bestimmungsbereich wesentlich verkleinert. Abbildung 77 zeigt den, für die nachfolgende Risikoanalyse, maßgeblichen Schiraum.

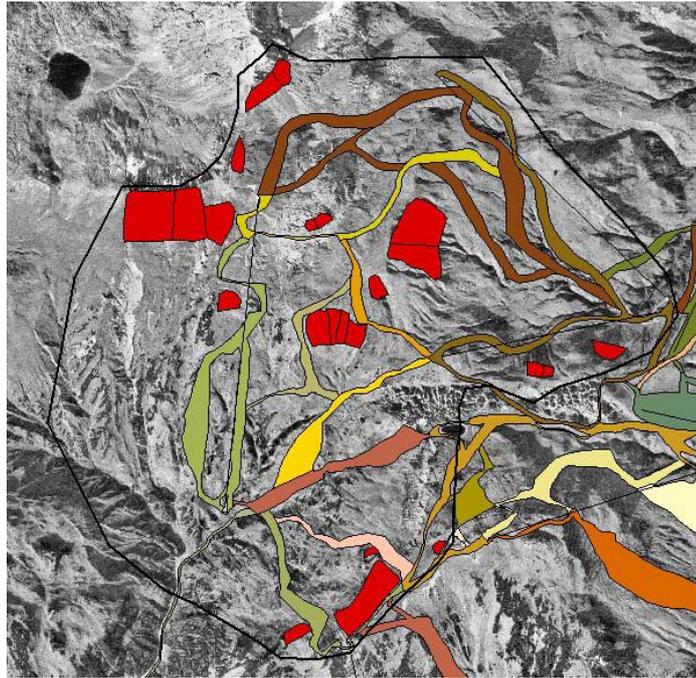


Abbildung 77: Aufnahmegebiet Lech – Ost, rot sind die Teilanbruchsgebiete, in grün der organisierte Schiraum

Im Zuge zweier Außenaufnahmen wurden in Lech, 23 Teilanbruchsgebiete, 47 Pistenabschnitte bzw. Schirouten und 7 Lifte aufgenommen. In Tabelle 34 sind die einzelnen Anbruchsgebiete sowie deren grundlegenden topographischen Eigenschaften angeführt.

Anbruchsgebiet	Seehöhe [m]	durchschn. Hangneigung [°]	Exposition	gesetzte Maßnahme
Abendweide 1	2200	35	S	Hubschraubersprengung
Abendweide 2	2200	40	SO	Hubschraubersprengung
Abendweide 3	2300	30	O	Hubschraubersprengung
Steinmähder	2100	30	SO	perm. Verbauung
Herzl 1	2100	42	O	Lawinenorgel
Herzl 2	2100	40	O	Lawinenorgel
Mohnenfluh 1	2300	33	O	Lawinenorgel
Mohnenfluh 2	2300	28	SO	Lawinenorgel
Hochlicht	2300	30	NO	Lawinenorgel
Sulzenmulde	2100	30	S	Handsprengung
Seele 1	2100	35	SO	Lawinenorgel
Seele 2	2100	35	SO	Lawinenorgel
Gaisröck 1.1	2100	30	S	Handsprengung
Gaisröck 1.2	2100	30	S	Handsprengung
Gaisröck 1.3	2200	30	S	Handsprengung
Gaisröck 2	2200	29	S	Handsprengung
Hasensprung 1	2000	35	N	Handsprengung
Hasensprung 2	2000	32	NO	Handsprengung
Hasensprung Verb.	1900	29	N	perm. Verbauung
Liezen 1	2000	30	NO	Handsprengung
Liezen 2	2100	40	N	Handsprengung
Liezen 3	2000	30	N	Handsprengung
Nordhang	2100	35	N	Handsprengung

Tabelle 34: Aufgenommene Anbruchsgebiete Lech - Ost

Die für die Eintretenswahrscheinlichkeit maßgeblichen Niederschlagsdaten stammen von der Wetterstation in Lech, zur Bestimmung der Schneeverfrachtung wurden die Windmessungen der Station Warth herangezogen. Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit konnte sofort aufgrund der Auswertungen der Niederschlag-, Neuschnee- und Gesamtschneedaten, der Station Lech, von Gabl, 1991 bestimmt werden. Nachfolgend ist die maßgebliche Gumbelverteilung der Eintages – Neuschneesummen abgebildet.

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{c}\right)}} \dots \text{Unterschreitenswahrscheinlichkeit der Neuschneesumme } x \text{ pro Jahr}$$

Wobei u der charakteristisch größte Wert der Extremwertserie, und c ein Maß für die Konzentration der Extremwerte um den charakteristisch größten Wert ist. Für Lech gilt:

$$u = 42,9847 \text{ und}$$

$$c = 12,5338.$$

Anhand dieser Gleichung ist die Unterschreitenswahrscheinlichkeit der jeweiligen Eintägigen – Neuschneesummen pro Jahr bekannt. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion der Neuschneesummen müssen nun in, sich nicht überschneidende, Klassen eingeteilt werden, wobei die Klassenmitten die jeweils



zur Simulation herangezogenen Schneehöhen sind. Daraus lässt sich die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit bestimmen.

berechnen. Der untere Schranken der maßgeblichen Eintages – Neuschneesummen ist die kritische Schneehöhe für die Fremdauslösung. Als oberer Schranken wurde im Zuge der Fallbeispiele ein 100 jähriges Ereignis (102cm) willkürlich festgelegt. Das bedeutet, dass ein mögliches Auftreten eines 100 jährigen Niederschlagsereignisses bei der Bestimmung des Risikos berücksichtigt wird.

Tabelle 35 zeigt die Neuschneehöhen und deren berechnete räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit.

Neuschneehöhe	20	25	30	35	
Klassen	<20	20-27,5	27,5-32,5	32,5-37,5	
räumliche Auftr.	0,0045	0,0432	0,0778	0,1173	
Neuschneehöhe	40	50	60	70	
Klassen	37,5-45	45-55	55-65	65-75	
räumliche Auftr.	0,2078	0,2396	0,1514	0,0813	
Neuschneehöhe	80	93	102		
Klassen	75-85	85-102	>102		
räumliche Auftr.	0,0404	0,0265	0,0101		Summe: 1,0000

Tabelle 35: Neuschneehöhen und zugehörige räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit gültig für Lech Ost.

Aus Tabelle 35 wird ersichtlich, dass die Wahrscheinlichkeit für das Eintreten einer Eintages Neuschneesumme größer 102 cm, 1 % im Jahr beträgt. Im Gegenzug ist mit 4,3% im Jahr mit einer Schneehöhe zwischen 20 und 27,5 cm zu rechnen.

Anhand der in Tabelle 35 abgebildeten Schneehöhen, wurde nun mit Hilfe des Lawinensimulationsprogramm ELBA die gefährdeten Abschnitte der zugehörigen Pisten bzw. Routen bestimmt. Je größer die Schneehöhe, desto breiter wird der Überstreichungsbereich.

Die Präsenzwahrscheinlichkeit wurde für jeden Pistenabschnitt und zugehörigen Gefährdungsbereich laut Handbuch bestimmt. Ebenso wurde das potentielle Schadensausmaß berechnet. Im Durchschnitt muss davon ausgegangen werden, dass sich 22175 Schifahrer pro Tag im Betrachtungsraum befinden. Damit ergeben sich 3.326.250 Schifahrer pro Schisaison (Jahr).

Letztendlich ergeben sich 23 Risikomatrizen, für jedes Anbruchgebiet eine Matrix, mit denen je nach maßgeblicher Schneehöhe das Risiko als Anzahl gefährdeter Schifahrer pro Jahr, welche sich aufgrund eines Lawinenereignisses, ausgehend von einem Anbruchgebiet, ergeben. In Abbildung 78 ist exemplarische ein Teil der Risikomatrix für das Anbruchgebiet Nordhang im Schigebiet Lech – Ost abgebildet.

Betriebszeit [h]: 6,03 21708

Pisten- abschnitt	L [m]	Frequenz [Pers/h]	1-Tages Neuschneehöhe 25					1-Tages Neuschneehöhe [cm] 30						
			g [m]	S [Pers]	p _{Pr}	p _{Ra}	h _e	r	g [m]	S [Pers]	p _{Pr}	p _{Ra}	h _e	r
P 35	602	667,07		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35 a	344	222,36		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35 b	90	111,18		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35 c	229	111,18		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35/1	388	778,25		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35 d	704	35,02		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 59	218	222,36		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 59/1	337	55,59		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 59/2	383	5,56		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 59/3	295	81,72		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 45	612	166,77		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 45 a	753	158,43		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 45 b	239	8,34		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 45 c	401	9,59		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 46	193	50,03		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 46/1	426	25,02		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 63	532	25,02		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 63/1	91	23,76		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 63/2	261	1,25		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 40	356	18,23		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 42	235	27,35		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 34 a	66	820,49		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 42 a	452	45,58		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 34	94	1175,08		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 44 a	594	117,51		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 34/1	288	1057,58	15	49821,7355	8,791E-05	0,04315677	0,300702	0,0568398	16	53143,18	9,3773E-05	0,0778112	0,300702	0,1166013
P 34/2	211	1103,16		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 34/3	299	441,26		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 43	701	661,90		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 43/1	223	909,16		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 43/2	56	1046,37		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 48	3040	-65,41		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 49	1782	19,70		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 44	745	19,70		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 34 b	301	354,59		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 44 b	58	137,21		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 34 c	415	447,01		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 51	814	74,50		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 50	383	223,50		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 50/1	335	247,27		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35/2	928	216,00		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35/3	383	1102,25		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35/4	437	1183,97		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35/5	151	1218,99		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 64	394	10,80		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 35/6	195	1424,19		0		0,04315677	0,300702	0		0		0,0778112	0,300702	0
P 51/1	167	1498,69		0	0	0,04315677	0,300702	0,05683984		0	0	0,0778112	0,300702	#####

Abbildung 78: Teil der Risikomatrix für das Anbruchsgebiet Nordhang im Schigebiet Lech – Ost, ohne Maßnahmen.



F.2.1. RISIKOBESTIMMUNG DER „NULLVARIANTE“, LECH – OST

Um das Risiko der „Nullvariante“ bestimmen zu können, wird die Eintretenswahrscheinlichkeit geändert. Es wird angenommen, dass keine Maßnahmen, der Bereitschaft zum Abgang einer Lawine entgegenwirken. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit „Sprengung der Schneedecke versagt“ 1 gesetzt wird. Ebenfalls 1 beträgt die Wahrscheinlichkeit „kein Rückhalt der Stützverbauung“. Werden diese Werte in den Fehlerbaum eingesetzt, so ergibt sich die Eintretenswahrscheinlichkeit für das Nullszenario. In Tabelle sind die Eintretenswahrscheinlichkeiten nach Teilanbruchsgebiete gegliedert.

Abendweide1	Abendweide2	Abendweide3	Steinmähdverb.	Herzl1
0,24	0,28	0,28	0,21	0,22
Herzl2	Mohnenfluh1	Mohnenfluh2	Hochlicht	Sulzenmulde
0,22	0,18	0,27	0,25	0,24
Gaisröck1_1	Gaisröck1_2	Gaisröck1_3	Gaisröck2	Seele1
0,22	0,22	0,24	0,27	0,26
Seele2	Hasensprung	Hasensprung	Hasensprungverb	Liezen1
0,27	0,25	0,25	0,21	0,32
Liezen2	Liezen3	Nordhang		
0,24	0,24	0,30		

Tabelle 36: Eintretenswahrscheinlichkeiten ohne Maßnahmen der einzelnen erhobenen Anbruchsgebiete

Die höchste Disposition für den Anbruch einer Lawine hat demnach Liezen 1 gefolgt vom Nordhang. Die geringste Eintretenswahrscheinlichkeit besteht für das Anbruchsgebiet Mohnenfluh 1.

Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit bleibt für jede Schneehöhe gleich, da angenommen werden muss, dass die Größe des Lawinenstriches zwar abhängig von der Schneehöhe jedoch unabhängig von der Ursache des Anbruches ist.

Anhand der Risikomatrix erhält man letztendlich eine Verteilung des Risikos über die zu erwartende Schneehöhe in einem Jahr.

Da für die Berechnung der räumlichen Auftretenswahrscheinlichkeit ein 100 jähriges Niederschlagsereignis als obere Schranke angenommen wurde, und da die dazugehörige Schneehöhe nicht ausreicht eine Piste bzw. Route laut ELBA Simulation zu erreichen, ergibt sich kein Risiko ausgehend vom Anbruchsgebiet Abendweide. Damit wird postwendend unterstellt, dass die beobachteten Lawinenabgänge, welche die Piste im Zugertobel erreicht haben größer waren als einem 100 jährigen Ereignis entsprechend.

Tabelle 37 zeigt eine Zusammenstellung der einzelnen Risikowerte für die zugehörigen Teilanbruchgebiete.

Steinmähdverb.	Herzl1	Herzl2	Mohnenfluh1
0,66	0,54	0,54	1,22
Mohnenfluh2	Hochlicht	Sulzenmulde	Geisröck1_1
7,19	3,30	0,11	1,58
Geisröck1_2	Geisröck1_3	Geisröck2	Seele1
0,26	0,37	0,45	0,44
Seele2	Hasensprung1	Hasensprung2	Hasensprungverb.
0,19	0,59	0,01	9,36
Liezen2	Liezen3	Nordhang	Gesamtrisiko
9,72	0,23	9,15	45,91

Tabelle 37: Risikowerte der Nullvariante für die betrachteten Teilanbruchgebiete Lech - Ost

Man kann sofort erkennen, wo das größte Risiko zu erwarten ist. Die Gründe für die Größe des Risikos können sowohl gefahrenseitig, als auch expositionseitig liegen. Der Nordhang als relativ kleines Anbruchgebiet liegt sehr nahe an einer der stärksten befahrenen Piste. Damit steigt natürlich das Risiko der betroffenen Personen. Das Anbruchgebiet Herzl gefährdet erst bei größerer Schneelage Wertebereiche woraus folgt, dass das Risiko betroffener Personen kleiner wird.

Für den Betrachtungsraum ergibt sich ein Gesamtrisiko von **46** betroffenen Personen pro Jahr, falls keine Lawinenschutzmaßnahmen gesetzt werden.

F.2.2. RISIKOBESTIMMUNG DER „MOMENTANVARIANTE“, LECH – OST

In Kapitel F.2.1 wurde das Risiko aufgrund der grundsätzlichen Lawinendisposition der Anbruchgebiete bestimmt. Nun soll das Risiko welches sich trotz tatsächlich eingesetzter Maßnahmen ergibt, berechnet werden. Folgend werden auf die Abbildungen der Risikoverteilung verzichtet. Tabelle zeigt die maßgeblichen Werte der Eintretenshäufigkeit der betrachteten Anbruchgebiete, unter Berücksichtigung der momentanen Maßnahmensetzung.

Abendweide1	Abendweide2	Abendweide3	Steinmähderverb.	Herz1
0,07	0,07	0,06	0,00	0,02
Herz2	Mohnenfluh1	Mohnenfluh2	Hochlicht	Sulzenmulde
0,02	0,001	0,02	0,02	0,01
Gaisröck1_1	Gaisröck1_2	Gaisröck1_3	Gaisröck2	Seele1
0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Seele2	Hasensprung	Hasensprung	Hasensprungverb	Liezen1
0,02	0,01	0,01	0,00	0,05
Liezen2	Liezen3	Nordhang		
0,001	0,001	0,01		

Tabelle 38: Eintretenswahrscheinlichkeiten mit Maßnahmen der einzelnen erhobenen Anbruchgebiete

Wenn man Tabelle 38 mit Tabelle 36 vergleicht so erkennt man sofort wie sich die Lawinenschutzmaßnahmen auf die Bereitschaft zum Abgang einer Lawine auswirken.

Das tatsächliche Risiko betroffener Personen pro Jahr und Anbruchgebiet kann in Tabelle 39 abgelesen werden.

Abendweide1	Abendweide2	Abendweide3	Steinmähderverb.
0,000	0,000	0,000	0,000
Herz1	Herz2	Mohnenfluh1	Mohnenfluh2
0,126	0,126	0,285	1,683
Hochlicht	Sulzenmulde	Geisröck1_1	Geisröck1_2
0,771	0,014	0,198	0,033
Geisröck1_3	Geisröck2	Seele1	Seele2
0,047	0,056	0,103	0,044
Hasensprung1	Hasensprung2	Hasensprungverb.	Liezen1
0,073	0,001	0,000	0,000
Liezen2	Liezen3	Nordhang	Gesamtrisiko
1,215	0,029	1,143	5,947

Tabelle 39: Risikowerte der Momentvariante für die betrachteten Teilanbruchgebiete Lech – Ost

Vergleicht man Tabelle 37 mit Tabelle 39 so erkennt man wie drastisch sich das Risiko aufgrund gesetzter Maßnahmen ändert. In Tabelle 39 ist das Restrisiko, welches sich trotz gesetzter Maßnahmen ergibt, dargestellt. Dabei ist zu beachten, dass die Versagenswahrscheinlichkeiten der Maßnahmen von einem Experten vor Ort geschätzt wurde. Dies erklärt die Nullrisiken bei beiden permanent verbauten Anbruchgebieten, Steinmähder und Hasensprung. Der Experte konnte in den letzten 25 Jahren kein Versagen der Stützbauwerke feststellen.

Für den Betrachtungsraum ergibt sich ein Restrisiko von **6** betroffenen Personen pro Jahr , trotz eingesetzter Lawinenschutzmaßnahmen.

F.2.3. RISIKOBESTIMMUNG AUFGRUND UNTERSCHIEDLICHER LAWINENSCHUTZMAßNAHMEN, LECH - OST

Mit Hilfe des Handbuches kann nicht nur das Risiko bestehender Maßnahmenzenarien berechnet werden. Es ist auch möglich das Restrisiko verschiedener Lawinenschutzmaßnahmen eines Anbruchsgebietes zu bestimmen. Nachfolgend werden für vier Anbruchsgebiete die Restrisiken der unterschiedlichen Maßnahmen berechnet. Die gewählten Anbruchsgebiete sind entweder momentan permanent verbaut, oder weisen ein besonders hohe Risiko des Nullszenarios auf. Es werden nicht alle Anbruchsgebiete analysiert, da sich die Restrisiken aufgrund unterschiedlicher Lawinenschutzmethoden ähnlich ergeben. Für die Versagenswahrscheinlichkeiten der Maßnahmen werden die Werte der DELPHI Umfrage angenommen.

Für das Anbruchsgebiet **Steinmähder** ergeben sich folgende Restrisiken, ersichtlich in Tabelle 40, abhängig von den diversen Lawinenschutzmaßnahmen.

Steinmähderverb.	Restrisiko
permanente Verbauung	0,053
Sprengseilbahn	0,114
Lawinenorgel	0,156
GazEx	0,070
Handsprengung	0,083
Hubschraubersprengung	0,146
Lawinenpfeife	0,138
ohne Maßnahme	0,665

Tabelle 40: Restrisiko unterschiedlicher Maßnahmen für das Anbruchsgebiet Steinmähder

Für das Anbruchsgebiet **Nordhang** ergeben sich folgende Restrisiken, ersichtlich in Tabelle 41, abhängig von den diversen Lawinenschutzmaßnahmen.

Nordhang	Restrisiko
permanente Verbauung	0,834
Sprengseilbahn	0,722
Lawinenorgel	2,140
GazEx	0,960
Handsprengung	1,143
Hubschraubersprengung	2,012
Lawinenpfeife	1,902
ohne Maßnahme	9,145

Tabelle 41: Restrisiko unterschiedlicher Maßnahmen für das Anbruchgebiet Nordhang

Für das Anbruchgebiet **Liezen 2** ergeben sich folgende Restrisiken, ersichtlich in Tabelle 42, abhängig von den diversen Lawinenschutzmaßnahmen.

Liezen2	Restrisiko
permanente Verbauung	0,870
Sprengseilbahn	0,768
Lawinenorgel	2,275
GazEx	1,021
Handsprengung	1,215
Hubschraubersprengung	2,139
Lawinenpfeife	2,022
ohne Maßnahme	9,723

Tabelle 42: Restrisiko unterschiedlicher Maßnahmen für das Anbruchgebiet Liezen 2

Für das Anbruchgebiet **Hasensprung Verbauung** ergeben sich folgende Restrisiken, ersichtlich in Tabelle 43, abhängig von den diversen Lawinenschutzmaßnahmen.

Hasensprungverb.	Restrisiko
permanente Verbauung	0,748
Sprengseilbahn	0,740
Lawinenorgel	2,191
GazEx	0,983
Handsprengung	1,170
Hubschraubersprengung	2,060
Lawinenpfeife	1,948
ohne Maßnahme	9,363

Tabelle 43: Restrisiko unterschiedlicher Maßnahmen für das Anbruchgebiet Hasensprung Verbauung

Man kann erkennen, dass aufgrund der DELPHI Werte das Restrisiko der Sprengseilbahn sehr nahe am Wert der permanenten Verbauung liegt. Die Sprengmethoden Lawinenorgel, Hubschraubersprengung und Lawinenpfeife bewirken ein deutlich höheres Restrisiko. Nicht Berücksichtigt ist die Versagenswahrscheinlichkeit der Lawinenkommission zur Beurteilung der Wetter- bzw. Lawinengefahr. Das höhere Restrisiko der Anbruchgebiete Nordhang, Liezen2 und Hasensprungverbauung, kann einerseits aufgrund ihrer Exposition (Nord-Hänge) und andererseits durch die Frequenz der gefährdeten Pisten, begründet werden.

F.3. RISIKOBESTIMMUNG - SCHIGEBIET RENDL

Im Gegensatz zum Schigebiet Lech – Ost ist der Schizirkus am Rendl überschaubarer. Es gibt nur einen Basislift, der die Schifahrer in das Schigebiet bringt. Für die Fallbeispiele wurden 17 Anbruchgebiete, 7 Lifte und 49 Pistenabschnitte bzw. Schirouten aufgenommen. Abbildung 79 zeigt eine Übersicht des Betrachtungsraumes für das Fallbeispiel Rendl.

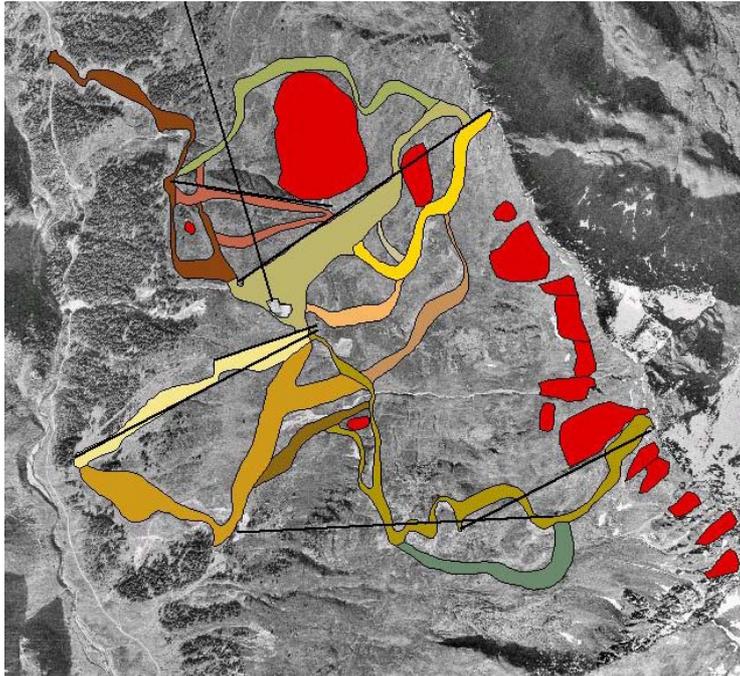


Abbildung 79: Aufnahmegebiet Rendl, rot sind die Teilanbruchsgebiete, in grün der organisierte Schiraum

Folgende Tabelle 44 gibt einen Überblick der aufgenommenen Anbruchsgebiete, bezüglich topographischen Eigenschaften und vorhandenen Lawenschutzmaßnahmen.

Anbruchsgebiet	Seehöhe [m]	durchschn. Hangneigung [°]	Exposition	gesetzte Maßnahmen
Kar 1	2600	41	SW	Handsprengung
Kar 2	2600	41	SW	Handsprengung
Kar 3	2700	40	S	Hubschraubersprengung
Kar 4	2700	41	SW	Hubschraubersprengung
Kar 5	2700	41	SW	Hubschraubersprengung
Riffl 1	2500	35	W	Hubschraubersprengung Handsprengung
Riffl 2	2400	38	W	Sprengseilbahn
Riffl 3	2500	39	W	Sprengseilbahn GazEx
Riffl 4	2500	40	W	Sprengseilbahn
Riffl 5	2500	33	W	Sprengseilbahn
Riffl 6	2400	34	W	Sprengseilbahn GazEx
Riffl 7	2400	40	W	permanente Verbauung Sprengseilbahn
Riffl 8	2300	37	W	Handsprengung
Riffl 9	2100	35	W	Handsprengung
Riffl 10	1900	38	W	permanente Verbauung Lawinenpfeife
Riffl 11	2100	32	W	Handsprengung
Riffl 12	2500	32	W	Handsprengung

Tabelle 44: Aufgenommene Anbruchsgebiete Rendl

Die für die Eintretenswahrscheinlichkeit maßgeblichen Niederschlagsdaten sowie Winddaten stammen von der Wetterstation in St. Anton. Die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit konnte sofort aufgrund der Auswertungen der Niederschlag-, Neuschnee- und Gesamtschneedaten, der Station St. Anton, von Gabl, 1991 bestimmt werden. Nachfolgend ist die maßgebliche Gumbelverteilung der Eintages – Neuschneesummen abgebildet.

$$F(x) = e^{-e^{-\left(\frac{x-u}{c}\right)}} \dots \text{Unterschreitenswahrscheinlichkeit der Neuschneesumme } x \text{ pro Jahr}$$

Wobei u der charakteristisch größte Wert der Extremwertserie, und c ein Maß für die Konzentration der Extremwerte um den charakteristisch größten Wert ist. Für St.Anton gilt:

$$u = 32,3065 \text{ und}$$

$$c = 12,3151.$$

Anhand dieser Gleichung ist die Unterschreitenswahrscheinlichkeit der jeweiligen Eintägigen – Neuschneesummen pro Jahr bekannt. Die Wahrscheinlichkeitsfunktion der Neuschneesummen müssen nun in, sich nicht überschneidende, Klassen eingeteilt werden, wobei die Klassenmitten die

jeweils zur Simulation herangezogenen Schneehöhen sind. Daraus lässt sich die räumliche Auftretenswahrscheinlichkeit bestimmen.

Der untere Schranken der maßgeblichen Eintages – Neuschneesummen ist die kritische Schneehöhe für die Fremdauslösung. Als oberer Schranken wurde im Zuge der Fallbeispiele ein 100 jähriges Ereignis (102cm) willkürlich festgelegt. Das bedeutet, dass ein mögliches Auftreten eines 100 jährigen Niederschlagsereignisses bei der Bestimmung des Risikos berücksichtigt wird.

Die Präsenzwahrscheinlichkeit wurde für jeden Pistenabschnitt und zugehörigen Gefährdungsbereich laut Handbuch bestimmt. Ebenso wurde das potentielle Schadensausmaß berechnet. Im Durchschnitt muss davon ausgegangen werden, dass sich 17.245 Schifahrer pro Tag im Betrachtungsraum befinden. Damit ergeben sich 2.586.000 Schifahrer pro Schisaison (Jahr).

Letztendlich ergeben sich 17 Risikomatrizen, für jedes Anbruchgebiet eine Matrix, mit denen je nach maßgeblicher Schneehöhe das Risiko als Anzahl gefährdeter Schifahrer pro Jahr, welche sich aufgrund eines Lawinenerignisses, ausgehend von einem Anbruchgebiet, ergeben.

F.3.1. RISIKOBESTIMMUNG DER „NULLVARIANTE“, RENDL

Wie schon im Betrachtungsgebiet Lech – Ost wird für das Schigebiet ein Nullszenario berechnet. Dabei wird angenommen, dass keine Lawinenschutzmaßnahmen gesetzt werden. Das bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit „Sprengung der Schneedecke versagt“ 1 gesetzt wird. Ebenfalls 1 beträgt die Wahrscheinlichkeit „kein Rückhalt der Stützverbauung“ . Werden diese Werte in den Fehlerbaum eingesetzt, so ergibt sich die Eintretenswahrscheinlichkeit für das Nullszenario. In Tabelle 45 sind die Eintretenswahrscheinlichkeiten nach Teilanbruchgebiete gegliedert.

Kar 1	Kar 2	Kar 3	Kar 4
0,199	0,230	0,228	0,201
Kar 5	Riff 1	Riff 2	Riff 3
0,201	0,193	0,224	0,209
Riff 4	Riff 5	Riff 6	Riff 7
0,211	0,212	0,204	0,198
Riff 8	Riff 9	Riff 10	Riff 11
0,198	0,194	0,195	0,183
Riff 12			
0,188			

Tabelle 45: Eintretenswahrscheinlichkeiten ohne Maßnahmen der einzelnen erhobenen Anbruchgebiete

Die Dispositionen der einzelnen Anbruchgebiete für eine Lawinenauslösung sind relativ homogen. Im Kar werden die höchsten Wahrscheinlichkeitswerte für den Abgang einer Lawine erreicht. Ein Vergleich der Eintretenswahrscheinlichkeiten Lech – Ost und Rendl scheint zwar interessant, kann jedoch zu keiner vernünftigen Aussage führen, da die klimatischen als auch die topographisch maßgeblichen Parameter nicht aufeinander abgeglichen sind.

Tabelle 46 zeigt eine Zusammenstellung der einzelnen Risikowerte für die zugehörigen Teilanbruchgebiete

Kar 1	Kar 2	Kar 3	Kar 4
1,60	0,00	0,09	0,21
Kar 5	Riff 1	Riff 2	Riff 3
0,13	33,16	3,29	21,34
Riff 4	Riff 5	Riff 6	Riff 7
0,86	2,45	1,49	11,77
Riff 8	Riff 9	Riff 10	Riff 11
0,89	14,68	1,08	0,01
Riff 12	Gesamtrisiko		
4,47	97,53		

Tabelle 46: Risikowerte der Nullvariante für die betrachteten Teilanbruchgebiete Rendl

Aus Tabelle 46 wird ersichtlich das obwohl die höchste Bereitschaft für einen Lawinenabgang im Kar liegt, das Risiko eher gering ausfällt. Das liegt daran, dass Schifahrer den Gefährdungsbereich unterhalb vom Kar kaum mehr erreichen können.

Für den Betrachtungsraum ergibt sich ein Gesamtrisiko von **98** betroffenen Personen pro Jahr , falls keine Lawinenschutzmaßnahmen gesetzt werden.

F.3.2. RISIKOBESTIMMUNG DER „MOMENTANVARIANTE“, RENDL

Im Zuge der Außenaufnahmen wurden Experten zur Versagenswahrscheinlichkeit der angewendeten Lawinenschutzmaßnahmen befragt. Diese Werte werden nun für die Bestimmung des Restrisikos trotz eingesetzter Maßnahmen herangezogen. Sie gehen direkt in die Bestimmung der Eintretenswahrscheinlichkeit ein. Tabelle 48 zeigt die Wahrscheinlichkeit für die Bereitschaft zum Abgang einer Lawine je Anbruchgebiet.

Kar1	Kar2	Kar3	Kar4
0,025	0,029	0,050	0,044
Kar5	Riff1 1	Riff1 2	Riff1 3
0,044	0,002	0,018	0,002
Riff1 4	Riff1 5	Riff1 6	Riff1 7
0,017	0,017	0,002	0,014
Riff1 8	Riff1 9	Riff1 10	Riff1 11
0,025	0,024	0,005	0,023
Riff1 12			
0,023			

Tabelle 47: Eintretenswahrscheinlichkeiten mit Maßnahmen der einzelnen erhobenen Anbruchgebiete

Durch vorhandene Kombinationen von Maßnahmen, konnte der Wert der Eintretenswahrscheinlichkeit wirkungsvoll gesenkt werden. In Tabelle 48 ist das Restrisiko jedes Anbruchgebietes trotz gesetzten Maßnahmen dargestellt.

Kar1	Kar2	Kar3	Kar4
0,199	0,000	0,019	0,046
Kar5	Riff1 1	Riff1 2	Riff1 3
0,029	0,327	0,012	0,177
Riff1 4	Riff1 5	Riff1 6	Riff1 7
0,016	0,194	0,012	0,829
Riff1 8	Riff1 9	Riff1 10	Riff1 11
0,111	1,835	0,025	0,001
Riff1 12	Gesamtrisiko		
0,559	4,393		

Tabelle 48: Risikowerte der Momentvariante für die betrachteten Teilanbruchgebiete Rendl

Für den Betrachtungsraum ergibt sich ein Restrisiko von **5** betroffenen Personen pro Jahr , trotz eingesetzter Lawinenschutzmaßnahmen.

F.3.3. RISIKOBESTIMMUNG AUFGRUND UNTERSCHIEDLICHER LAWINENSCHUTZMAßNAHMEN, RENDL

Anhand vier verschiedener Anbruchsgebiete wurde aufgrund unterschiedliche Lawinenschutzmaßnahmen das Restrisiko bestimmt. Zur Bestimmung der Versagenswahrscheinlichkeit der Maßnahmen werden die DELPHI Werte herangezogen.

Für das Anbruchsgebiet **Riff 1** ergeben sich folgende Restrisiken, siehe Tabelle 49.

Riff 1	Restrisiko
permanente Verbauung	2,42
Sprengseilbahn	2,62
Lawinenorgel	7,76
GazEx	3,48
Handsprengung	4,14
Hubschraubersprengung	7,29
Lawinenpfeife	6,90
ohne Maßnahmen	33,16

Tabelle 49: Restrisiko unterschiedlicher Maßnahmen für das Anbruchsgebiet Riff 1

In Tabelle 50 sind die Restrisiken des Anbruchgebietes **Riff 3** trotz unterschiedlicher Maßnahmen dargestellt.

Riff 3	Restrisiko
permanente Verbauung	1,69
Sprengseilbahn	1,69
Lawinenorgel	4,99
GazEx	2,24
Handsprengung	2,67
Hubschraubersprengung	4,69
Lawinenpfeife	4,44
ohne Maßnahmen	21,34

Tabelle 50: Restrisiko unterschiedlicher Maßnahmen für das Anbruchsgebiet Riff 3

Für das Anbruchsg Gebiet **Riff 10** ergeben sich folgende Restrisiken, siehe Tabelle 51

Riff 10	
permanente Verbauung	0,08
Sprengseilbahn	0,09
Lawinenorgel	0,25
GazEx	0,11
Handsprengung	0,13
Hubschraubersprengung	0,24
Lawinenpfeife	0,22
ohne Maßnahmen	1,08

Tabelle 51: Restrisiko unterschiedlicher Maßnahmen für das Anbruchsg Gebiet Riff 10

Für das Anbruchsg Gebiet **Riff 9** ergeben sich folgende Restrisiken, ersichtlich in Tabelle 52, abhängig von den diversen Lawinenschutzmaßnahmen.

Riff 9	Restrisiko
permanente Verbauung	1,08
Sprengseilbahn	1,16
Lawinenorgel	3,44
GazEx	1,54
Handsprengung	1,84
Hubschraubersprengung	3,23
Lawinenpfeife	3,05
ohne Maßnahmen	14,68

Tabelle 52: Restrisiko unterschiedlicher Maßnahmen für das Anbruchsg Gebiet Riff 9

So wie bei den Fallstudien in Lech – Ost, ist erkennbar, dass die Sprengseilbahn sehr nahe an den Wert des Restrisikos der permanenten Verbauung kommt. Durch Kombination der einzelnen Maßnahmen, wie sie momentan am Rendl angewendet werden, kann das Restrisiko weiter reduziert werden.

F.4. ERLÄUTERUNGEN ZU DEN BERECHNETEN RISIKOWERTEN

Anhand von Recherchen über die tatsächliche Anzahl betroffener Personen in beiden Schigebieten, wurde versucht die, aufgrund des Handbuchs, berechneten Risikowerte zu validieren. Folgende Schwierigkeiten machten eine genauen, wissenschaftlichen Vergleich nicht möglich:

Zunächst ist es schwierig bis fast unmöglich die Anzahl derer zu eruieren, welche aufgrund einer Lawine beim Schifahren beeinträchtigt wurden. Die Anzahl der Schwerstverletzten sowie Todesfälle aufgrund von Lawinenunfällen ist oftmals bekannt. Aufzeichnungen über „kleinere“ Verletzungen oder Lebendbergungen ohne Folgen sind jedoch sehr selten. Um einen exakten Vergleich der berechneten Risikowerte mit den tatsächlich betroffenen Schifahrern anstellen zu können, wäre es notwendig auf eine einheitliche Unfallliste zurückgreifen zu können. Der Vergleich der berechneten Anzahl Schifahrer mit der Anzahl derer, aufgrund eines Lawinenunglückes, zu Tode gekommenen oder Schwerstverletzten ist ungültig und nicht nachvollziehbar.

Folgende Rahmenbedingungen lassen obigen Vergleich nicht zu:

1. Die Anzahl betroffener Schifahrer berechnet nach dem Handbuch sind ein sogenanntes „worst-case“ Szenario. Vergleichbar mit dem Sicherheitsbeiwert in der Baustatik wurde versucht Redundanz zu schaffen indem die größtmögliche Anzahl Schifahrer über eine Schisaison zur Berechnung der Präsenzwahrscheinlichkeit herangezogen wurde. Somit wird unterstellt, dass unabhängig von der Wetterlage, der Urlaubszeit, den tageszeitlichen Schwankungen, etc. laufend die konstante Anzahl an Schitouristen den organisierten Schiraum verwenden. Wenn man an Tagen starker Neuschneefälle, als häufigste Ursache eines Lawinenabganges, die Präsenzwahrscheinlichkeit aufgrund der Anzahl der tatsächlich beförderten Schifahrer berechnet, so wird man einen deutlichen Unterschied zu den oben berechneten Werten bemerken.
2. Über die Bestimmung des Ausmaßes einer Lawine wurde schon in den vorigen Kapitel diskutiert. Die Anzahl betroffener Schifahrer hängt logischerweise von der Frage ab, welches Ausmaß eine Lawine annehmen muss, um einen Schifahrer zu gefährden. Im Gegensatz zum Verkehrswesen (Personen in Autos, Zügen) sind Schifahrer ungeschützte Personen sodass angenommen wurde, dass dann mit betroffenen Personen zu rechnen ist, wenn eine Lawine den organisierten Schiraum erreicht, ungeachtet ihres Ausmaßes.
3. Wesentlicher Bestandteil des Handbuches ist es, auf die unterschiedlichsten Fragestellungen bezüglich Lawinensicherheit in Schigebieten eingehen zu können. Daraus ergibt sich eine hohe Anzahl von Kombinationsmöglichkeiten sowohl auf der Gefahrenseite, als auch auf der Expositionseite. Das berechnete Risiko kann nur so genau sein wie die getroffenen Eingangsparameter. Eine sinnvolle Wahl der Eingangsparameter ist selbstverständlich, wird sich aber von Fragestellung zu Fragestellung ändern. Aufgabe des Handbuches ist es einen Leitfaden zur Risikoberechnung zu bieten und die Ursachen der Risikoentstehung aufzuzeigen

Dabei werden Methoden zum Lawinenschutz berücksichtigt. Die berechneten Risikowerte der Fallstudien beruhen auf der Fragestellung nach dem Gesamtrisiko. Eingangsparameter wurden an jeweils 4 Tagen/Schigebiet gesammelt und dienen zur Entstehung des Handbuches und nicht zu Validierung.

4. Zur Berechnung des Risikos aufgrund des Handbuches wurde von Seiten des Handbuches der organisierte Schiraum betrachtet. Dieser Bereich des Schigebietes muss, gesetzlich vorgeschrieben, lawinensicher sein. Die Bedeutung des Begriffes „lawinensicher“ wird aufgrund des Handbuches gründlich dargestellt. Der oft gleichen potentiellen Lawinengefahr wie im organisierten Schiraum ist der Variantenbereich eines Schigebietes ausgeliefert, wird jedoch im Handbuch nicht berücksichtigt.

Werden die oben angeführten Punkte für die Berechnung des Risikos bestimmt und herangezogen, so wird der Wert der berechneten Anzahl betroffener Schifahrer näher an dem Wert der beobachteten Anzahl betroffener Schifahrer liegen. Die Risikounterschiede welche sich anhand verschiedener Lawinenschutzmaßnahmen ergeben werden dadurch mit größter Wahrscheinlichkeit nicht genauer. Es besteht vielmehr die Gefahr, Fehler welche schon in der Maßnahmenplanung des Schigebietes gesetzt worden sind in die Gutachtertätigkeit einzubinden.

G. GELÄNDEBEGEHUNG IN LECH

G.1. GELÄNDEAUFNAHMEN LECH, 2002

Die Geländeaufnahmen wurden im Zeitraum von 25. – 29. Jänner 2002 im Projektgebiet Lech Ost durchgeführt.

G.1.1. BILDDOKUMENTATION

Sämtliche im Jänner 2002 in Lech durchgeführten Aufnahmen sind mittels Photographien dokumentiert.

Dabei wurden für jeden Lawenstrich und für die einzelnen Teilbereiche des skirelevanten Raumes sowohl die Gesamtansicht, als auch die einzelnen Teilabschnitte (Anbruchsgebiete, Sturzbahnen, Ablagerungsgebiete) photographisch festgehalten.

Dadurch ergab sich die Möglichkeit, den skirelevanten Raum besser einzugrenzen und mittels ArcView, einem GIS – basierten Programm graphisch aufzubereiten.



Abbildung 80: Südhang des Kriegerhornes. Die Verbauung schützt sowohl die darunter befindliche Variantenabfahrt bzw. Schiroute, als auch Ortsteile von Lech (PÜR, 2002).

Die Fotos wurden nach einem einheitlichen System benannt und in einer digitalen Bilddatenbank archiviert (Beschriftung mit Hilfe einer Readme – Datei in der Bilddatenbank festgehalten).



Abbildung 81: Trotz den Verbauungsmaßnahmen können aus den Stahlschneebrücken Nassschneerutsche ausbrechen, welche für die Variantenabfahrt bzw. Schiroute eine Gefährdung darstellen (PÜR, 2002).



Abbildung 82: Das sogenannte „Herz'l“, eines der Kernbereiche des zu untersuchenden Gebietes. Die Anrisskante einer Lawine, welche infolge von Regen (bis auf eine Seehöhe von 2100m) ausgelöst wurde, ist noch deutlich zu erkennen (PÜR, 2002).



Abbildung 83: Die verspurten Hänge im Bereich des „Herz‘l“ weisen deutlich auf eine hohe Befahrungsfrequenz hin (PÜR, 2002).



Abbildung 84: Ansicht der Juppenspitze - Variantenabfahrt, im Hintergrund ist die Mohnaflubspitze zu sehen (PÜR, 2002).

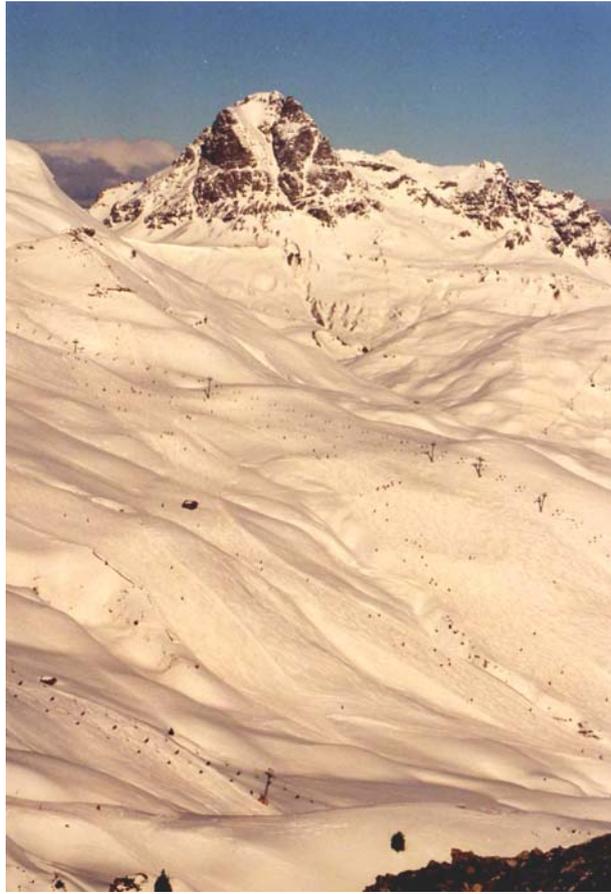


Abbildung 85: Varianten Juppenspitze und Rotschrofen mit dem Widdersberg im Hintergrund (PÜR, 2002).



Abbildung 86: Skiabfahrt Zugertobel. Dieser Bereich wird mit etwa 40 Sprengpunkten temporär gesichert (PÜR, 2002).

G.2. ABGRENZUNG DES SKIRELEVANTEN BEREICHES

Anhand der Fotodokumentation und unter Einbeziehung der Experten vor Ort konnte für das Projektgebiet der skirelevante Raum abgegrenzt werden.

Abbildung 87 zeigt eine Übersicht des Projektgebietes, der vorhandenen Skiaufstiegshilfen und der Abfahrtsmöglichkeiten (Skipisten, Variantenabfahrten und Skirouten). Die gelb schraffierte Fläche bezeichnet den skirelevanten Raum.

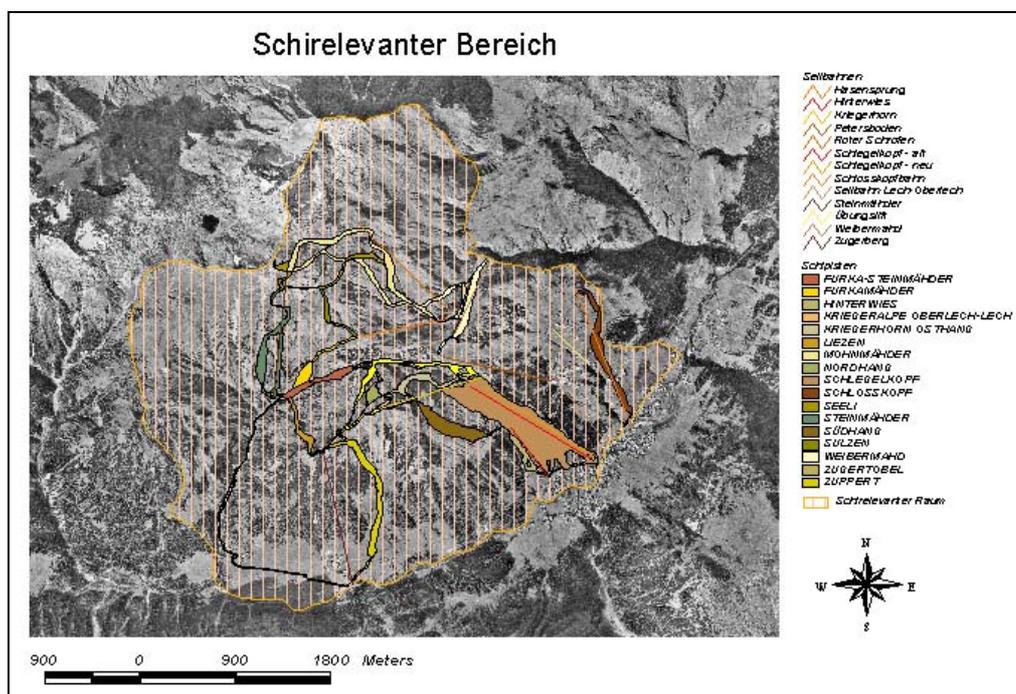


Abbildung 87: Darstellung des skirelevanten Bereiches (PÜR, 2002).

G.3. INFORMATIONSAUFARBEITUNG MITTELS DIGITALER GELÄNDEMDELLE

Um die Erdoberfläche nach Lage und Höhe durch eine Vielzahl von Punkten in digitaler Form wiederzugeben, bedarf es eines digitalen Geländemodells. Dies erlaubt es, schnell und einfach ein vermessenes Gelände dreidimensional darzustellen und weitere räumliche Analysen durchzuführen (Abbildung 88).

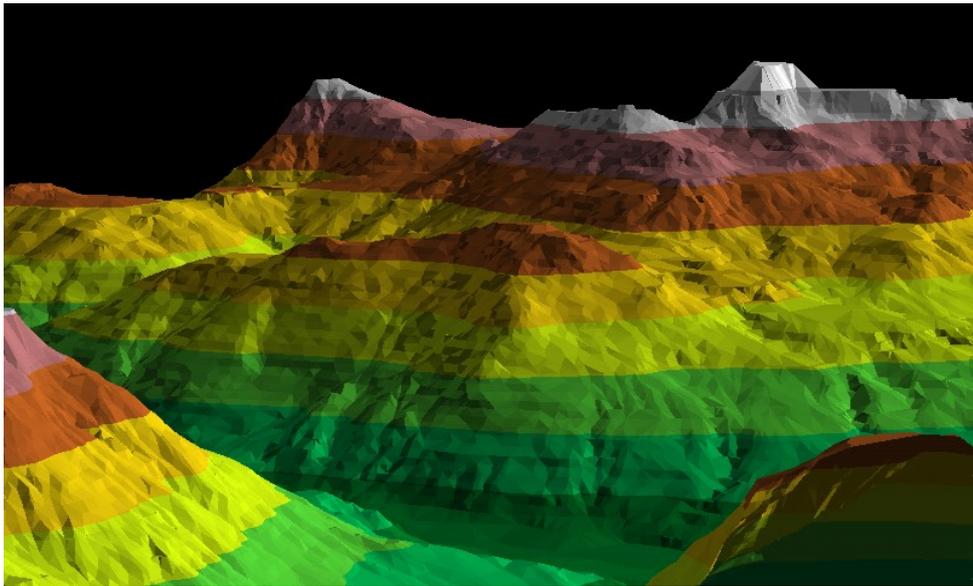


Abbildung 88: Digitales Geländemodell des Projektgebietes Lech am Arlberg (PÜR, 2002).

Um die topographischen Informationen ableiten zu können, werden aus den Geländemodellen für jeden Teilbereich geomorphometrische DHM – Analysen durchgeführt, d. h. es werden Neigungs- und Expositionskarten (Abbildung 89 und Abbildung 90) erstellt.

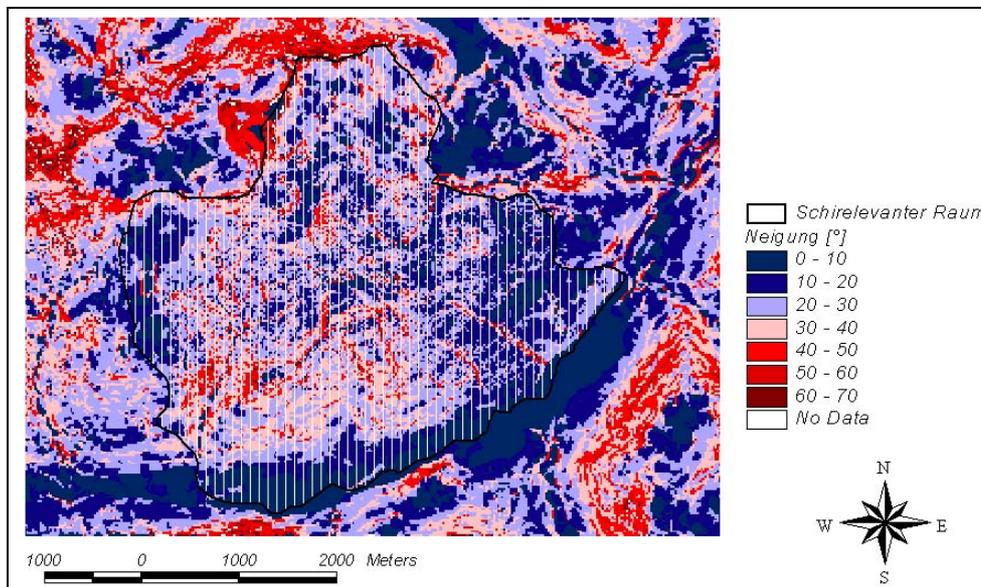


Abbildung 89: Neigungskarte des Projektgebietes Lech Süd (PÜR, 2002).

Auf dieser Grundlage kann man die Flächen der einzelnen Teilanbruchgebiete der Lawinen nach Höhe, Neigung, Exposition und Strahlung analysieren. Die statistischen Analysen liefern Kenngrößen wie Minimum, Maximum, Spannweite, Mittelwert und Standardabweichung dieser Größen.

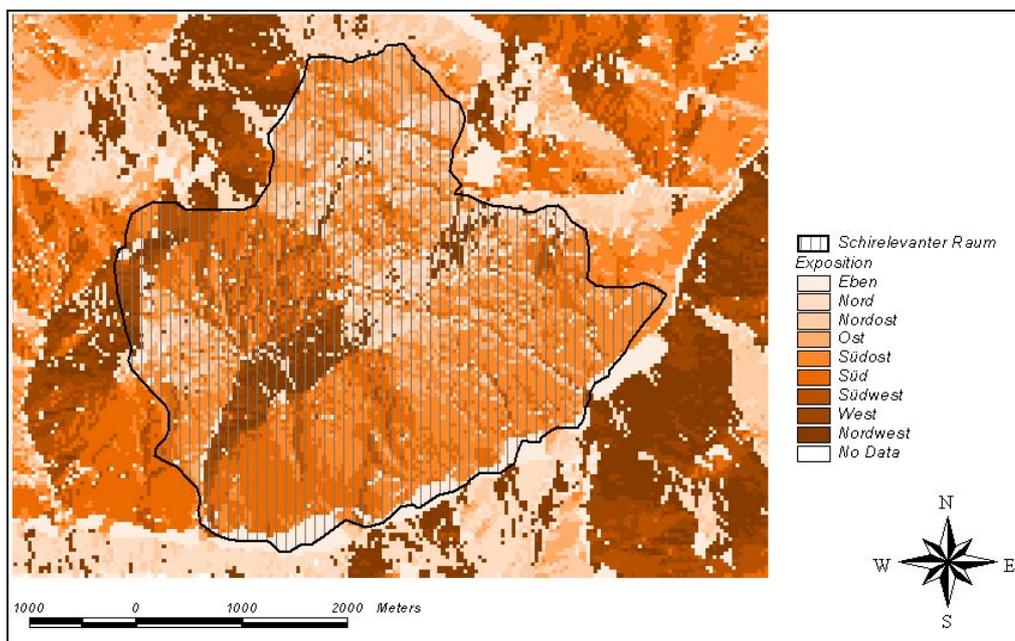


Abbildung 90: Expositionskarte des Projektgebietes Lech Süd (PÜR, 2002).

G.4. GELÄNDEAUFNAHMEN IM ZUGE DER FALLSTUDIEN, 2003

Die Fallstudien in Lech Ost dienten als Außenaufnahmen im Sinne der Risikobestimmung laut Handbuch. Anhand zweier Außendienste wurde zunächst der relevante Gefährdungsbereich sowie die einzelnen Teilanbruchgebiete aufgenommen. Das Hauptmerkmal der zweiten Außenaufnahme war die Bestimmung der Expositionsseite. Schon während der Vorarbeiten zu den Außenaufnahmen wurde ersichtlich, dass der gesamte relevante Schibereich, wie in Abbildung 87 ersichtlich, als Projektgebiet zu umfassend wäre. Aufgrund dieser Überlegung wurde das Projektgebiet verkleinert (siehe Abbildung 91).

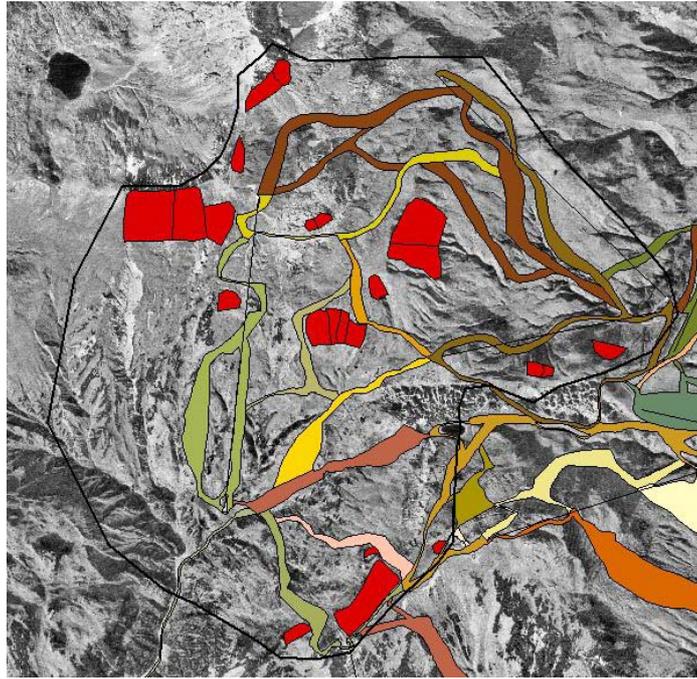


Abbildung 91: relevanter Schibereich Lech Ost für die Risikobestimmung

Für die erfolgreiche Durchführung der Außenaufnahmen möchten wir uns recht herzlich bei TR DI Manhart Michael, Ing. Walter Metzler sowie Walter Schurian bedanken.

H. GELÄNDEBEGEHUNG RENDL, IM ZUGE DER FALLSTUDIEN, 2003

Da wesentlich überschaubarer und nur durch einen Basislift erreichbar, konnte das gesamte Schigebiet Rendl aufgenommen werden. Nachfolgend sind wesentliche Anbruchgebiete abgebildet.

Sämtliche im Rendl durchgeführten Aufnahmen sind mittels Photographien dokumentiert.

Dabei wurden für jeden Lawenstrich und für die einzelnen Teilbereiche des skirelevanten Raumes sowohl die Gesamtansicht, als auch die einzelnen Teilabschnitte (Anbruchgebiete, Sturzbahnen, Ablagerungsgebiete) photographisch festgehalten.

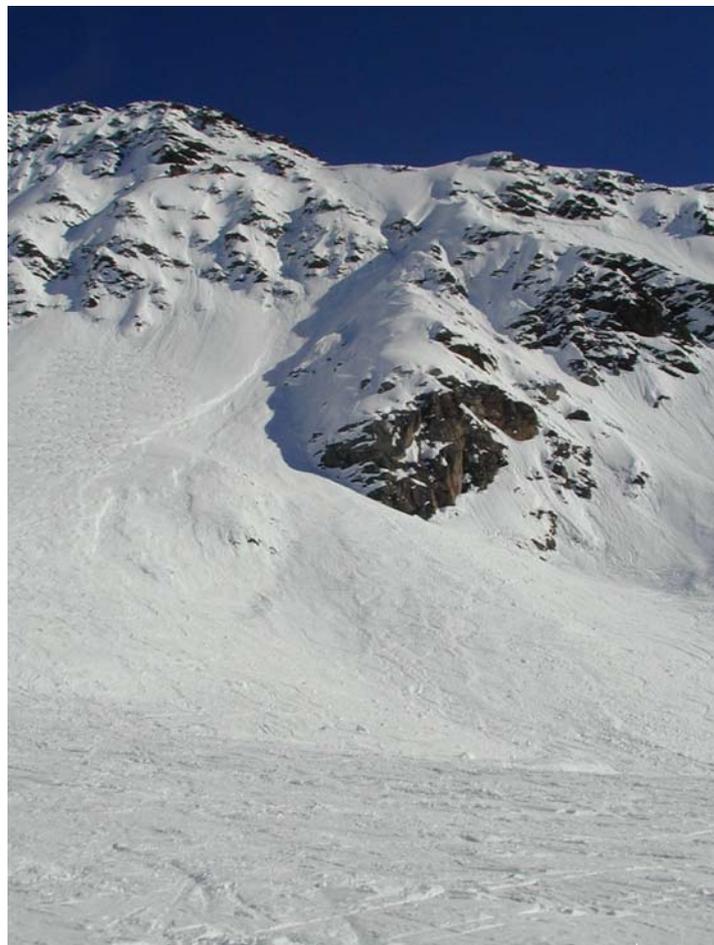


Abbildung 92: Im Kar dominieren steilere und felsdurchsetzte Anbruchgebiete, hier sind genügend Initialpunkte für Lockerschneelawinen gegeben.



Abbildung 93: Das Anbruchsgebiet Riffel 6 wird durch eine GazEx Anlage in Kombination einer Sprengseilbahn temporär gesichert



Abbildung 94: Durch das Anbruchsgebiet Riffel 8 gefährdete Kernstück des Rendl Schigebietes, die Bergstation der Rendlbahn.



Abbildung 95: permanente Verbauungsmaßnahmen im Rendl.(Riffel 10)

Im Zuge der zweiten Außenaufnahmen wurde die Expositionseite (organisierter Schiraum, technische Aufstiegshilfen) aufgenommen.

Wir möchten uns recht herzlich bei Hr. Ing. Steinlechner, Hr. Ing. Falch, Hr. Haefeli und den Mitarbeiter der Lawinenkommission für die tatkräftige Unterstützung bedanken.

I. ZUSAMMENFASSUNG

Die Aufgabe des gegenständlichen Projekts ist die Entwicklung einer Methode zur Optimierung der Lawinensicherheit in einem Schigebiet. Die Anforderung ist dabei, objektiv nachvollziehbare und vergleichbare Grundlagen für die Entscheidungsfindung zur Verfügung zu stellen. Die zu entwickelnde Methodik ist in einem Handbuch zusammengefasst worden, das dem Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung als Unterstützung für Sachverständigentätigkeit dient.

Im vorliegendem Endbericht wird die zur Entwicklung notwendige Erarbeitung der Grundlagen zusammengefasst. Ausgehend von einer gründlichen Literaturstudie werden die Grundlagen der Lawinenkunde und des Lawinenschutzes, sowie der allgemeine Stand der Technik für Risikoanalysen von Naturraumgefahren vorgestellt. Ferner wurde die Rahmenbedingung für Schigebiete erhoben mit dem Ziel sowohl rechtliche als auch begriffliche Abgrenzungen vorzunehmen.

Als Maß für die Sicherheit in einem Schigebiet kann das Risiko gesehen werden. Sicherheit ist dann erreicht, falls das Risiko kleiner als ein tolerierbares Risiko ist. Je kleiner das Risiko, desto größer wird die Sicherheit. Damit fällt die Aufgabenstellung des Projekts in das Gebiet des Risikomanagements. Die Sicherheitsoptimierung in einem Schigebiet kann durch Risikoverminderung mittels Lawinenschutzmaßnahmen erreicht werden. Um Schutzdefizite – das Risiko ist größer als das akzeptierte Risiko - identifizieren zu können, muss eine Ist-Zustandserhebung (die Vorgehensweise wird im vorliegenden Bericht dargestellt) im zu untersuchenden Schigebiet durchgeführt und das Ausgangsrisiko ermittelt werden.

Abhängig von der Schutzstrategie stehen verschiedene Maßnahmen zum Objektschutz zur Verfügung. In einem weiteren Schritt wird die durch die Maßnahmen erzielbare Risikoverminderung berechnet, indem das trotz der Maßnahme verbleibende Restrisiko mit dem Ausgangsrisiko verglichen wird. Dazu sind Berechnungsmethoden notwendig, die die Wirkungsweise der Maßnahmen in der Risikobestimmung berücksichtigen. Um dies zu ermöglichen wird in einem weiteren Kapitel die Wirkungsweise, die möglichen Versagensprozesse und der Einfluss einer Maßnahme auf das Risiko aufgezeigt. Im Zwischenbericht ist nur auf die Stützverbauung eingegangen worden, analog wird im Endbericht die Funktionsweise der temporären Maßnahmen, in Schigebieten häufig verwendete Lawinenschutzmaßnahmen, erarbeitet. Die so erhaltenen Ergebnisse bilden in einem nächsten Arbeitsschritt die Grundlage für die Fertigstellung der Untersuchungsmethode zur Sicherheitsoptimierung.

Anhand von Fallbeispielen in den Schigebieten Lech und St. Anton wird die entwickelte Methode zur Bestimmung des Risikos für ihre praktische Umsetzung überprüft.

J. LITERATURVERZEICHNIS

AULITZKY, H. (1980): Abschlußbericht über das Ergebnis der Delphibefragung über die derzeitigen Sicherheitserwartungen gegenüber verschiedenen Methoden des permanenten und temporären Lawinenschutzes. Mitteilungen aus dem Institut für Wildbach- und Lawinenverbauung an der Universität für Bodenkultur Wien. Heft 12, 1980.

BUWAL; Bortler P.(1999): Risikoanalyse bei gravitativen Naturgefahren. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft. Dokumentation, 3003 Bern, 1999.

BMVIT 75, 1: Lawinenerlass 22. Jänner 1975, Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen und Schleppliften, Bundesministerium für Verkehr,1975.

BMVIT 75, 2: Lawinenerlass 9. September 1975, Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen und Schleppliften, Bundesministerium für Verkehr,1975.

BMVIT 96: Lawinenerlass 1996, Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen und Schleppliften, Bundesministerium für Verkehr,1996.

DE QUERVAIN, M. (1972): Lawinenschutz in der Schweiz. Kapitel 2–Lawinenbildung, Beiheft Nr. 9 zum BÜNDNERWALD, Zeitschrift des Bündnerischen Forstvereins und der SELVA, Genossenschaft der bündnerischen Holzproduzenten, Dezember 1972, S. 15-32.

DE QUERVAIN, M. (1975): Lawindynamik als Grundlage für die Ausscheidung von Lawinenzonen, Tagungspublikation, Internationales Symposium „Interpraevent 1975“, Bd. 2, Innsbruck, S. 247-267.

DRAGOSITS, F. (1993): Risikoanalysen Sprengseilbahnen. Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, 57. Jahrgang, Heft 122, 1993.

EISENBAHNGESETZ (1957): BGBl.Nr. 60/1957 (Stand März 2001)

FÖHN, P. M. B. (1993): Lawinen – kurzfristige Gefahrenbeurteilung (Prognose). Forum für Wissen.

GEWERBEORDNUNG (1973): BGBl.Nr. 50/1974

GUBLER, H. U. (1999): Physik von Schnee, Alpine Umweltgefahren – Lawinen und Permafrost – Forschung und Entwicklung – Mess- und Warnsysteme (ALPUG), 1. Auflage, Eigenverlag, Davos, 1999, S. 118-134.

GUBLER H. (1989): Entwicklungsstand und Einsatzmöglichkeiten technischer Hilfsmittel für die lokale Lawinenwarnung, Mitteilungen des eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Nr.46, 1989.

HAUKE B, (1999): Der weiße Tod, ERC Frankona Rückversicherungs-AG, Universal Druck GmbH München, 1999.

HEUMADER J. (1996): Künstliche Lawinenauslösung durch Gaskanonen - Ein in Österreich neues Verfahren, Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, 60.Jg., Heft 129, 1996.

HOLLENSTEIN, K. (1997): Analyse, Bewertung und Management von Naturrisiken. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1997.

HÜBL, H. (2001): Wildbachkunde und Wildbachverbauung: Sicherheitsplanung zum Schutz vor Murgängen, Universität für Bodenkultur, Habil. Schr., 2001

IHRENBERGER Ch. (2000): Umbau der Zürserseebahn gemäss dem Lawinenerlaß 1996, Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, 64.Jg., Heft 141, 2000.

KHAKZADEH L.M.: Die Lawinenkommissionen in den Tiroler Gemeinden, Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, 66.Jg., Heft 145, 2001.

KHAKZADEH, L. M. (2002): Rechtsfragen Hinsichtlich Lawinensperren. Österreichischer Städtebund. http://staedtebund.wien.at/service/khakzadeh_ogz0203.html, 2002.

KIENHOLZ, H. (1993): Naturgefahren – Naturrisiken im Gebirge. Forum für Wissen an der eidgen. Forschungsanstalt WSL, CH-8903 Birmensdorf.

KLENKHART, Ch. (2002): Lawinenschutz in Schigebieten. <http://www.negerholz.at/law1.html>, 2002.

LAWINENHANDBUCH (1996): Herausgeber: Land Tirol [Österreichisches Autorenteam], 6. Auflage, Tyrolia-Verlag, Innsbruck-Wien, 1996.

LAWINENHANDBUCH (2000): Herausgeber: Land Tirol [Österreichisches Autorenteam], 7. Auflage, Tyrolia-Verlag, Innsbruck-Wien, 2000, S. 85-106.

LUDESCHER, F. (2002): Tiroler Pistengütesiegel, Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Sport. Aristos Druckzentrum GmbH & CoKg, 6060 Hall in Tirol, 2002.

LWD TIROL (2000): Amt der Tiroler Landesregierung, Schnee und Lawinen 1997/98, 1998/99 Lawinenwarndienst Tirol 7+8, 2000.

MAGGIONI M., GRUBER U. and STOFFEL A., (2002): Definition and characterisation of potential avalanche release areas; 2002.

MARGRETH, S. (1996): Experiences on the Use and Effectiveness of Permanent Supporting Structures in Switzerland, ISSW, 1996.

MARGRETH, S. (2002): Wirkung von Maßnahmen im Spannungsfeld von Gefahrenbeurteilung und Nutzungsplanung: Möglichkeiten, Konsequenzen und Probleme deren Einschätzung – eine Übersicht, FAN- Workshop, 2002.

MANIAK, U. (1997): Hydrologie und Wasserwirtschaft : eine Einführung für Ingenieure / Ulrich Maniak . - 4., überarb. und erw. Aufl. . - Berlin [u.a.] : Springer , 1997.

MAYERL M. (2000): Lawinensicherung am Arlberg, Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, 64.Jg., Heft 141, 2000.

McCLUNG, D. M; SCHAERER, P. (1993): The Avalanche Handbook. Chapter 4. Avalanche Formation, The Mountaineers, Vancouver, Canada, 1993, S. 61-88.

MERZ, H. SCHNEIDER, T. und BOHNENBLUST, H. (1995): Bewertung von technischen Risiken. Beiträge zur Strukturierung und zum Stand der Kenntnisse. Modelle zur Bewertung von Todesfallsrisiken. Polyprojekt Risiko und Sicherheit. Dokumente Nr. 3. vdf-Verlag ETH Zürich, 1995.

MUNTER, W. (1997): 3 x 3 Lawinen: entscheiden in kritischen Situationen, Garmisch Partenkirchen, Agentur Pohlmann & Schellhammer, 1997.

RICHTLINIEN FÜR DAS KÜNSTLICHE AUSLÖSEN VON LAWINEN DURCH ARBEITNEHMER VON SEILBAHNUNTERNEHMEN. (1996): Zl. 453.017/1-IV/52/96 Bundesministerium für Wissenschaft, Verkehr und Kunst (Verkehrs Arbeitsinspektorat), 1996.

RICHTLINIEN FÜR DEN LAWINENVERBAU IM ANBRUCHSGEBIET (1990), BUWAL, Eidgenössisches Forstdirektion WSL, Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 1990.

RICKENMANN, D. (2002): Vorlesung „Wildbach und Lawinenverbauung“ für Forstwirte und Landschaftsplaner, Universität für Bodenkultur Institut für Alpine Naturgefahren und Forstliches Ingenieurwesen, Arbeitsbereich Wildbach- und Lawinenschutz, 2002.

SALM, B. (1993): Lawinen – Gefahr und Risiko langfristig betrachtet. Forum für Wissen.

SALM, B. (1990): Lehrunterlagen Gletscherkunde. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos, 1990, S. 97-105.

SALM B. (1982): Lawinenkunde für den Praktiker. Verlag des SAC, Brugg, 1982.

SAUERBRIER T. (1999): Theorie und Praxis von Simulationssystemen: eine Einführung für Ingenieure und Informatiker. Vieweg, Braunschweig. Wiesbaden. 1999. S. 226

SCHNEIDER, T. (1980): Grundgedanken und Methodik moderner Sicherheitsplanung. Tagungspublikation Interpraevent, Birmensdorf. Klagenfurt, 1980.

SCHNEIDER, J. (1996): Sicherheit und Zuverlässigkeit im Bauwesen. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich, 1996.

SCHNETZER I. (2000): Lawinenwinter 1999 – Künstliche Lawinenauslösung, Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, 64.Jg., Heft 141, 2000.

SCHÖNTHALER, K.E. (1983): Auswirkungen der Anlagen für den Massenschisport auf die Landschaft - unter besonderer Berücksichtigung von Bau und Rekultivierung der Schipisten oberhalb der Waldgrenze. Habilitationsschrift. Universität für Bodenkultur Wien, 1983.

SENN, W. (2002): Die Wahrheitsfrage bei Skiunfällen. Alpines Sicherheits- und Informationszentrum Tirol. www.alpinesicherheit.com, 2002.

SICHERHEITSTECHNISCHE RICHTLINIEN FÜR DAS KÜNSTLICHE AUSLÖSEN VON LAWINEN DURCH SPRENGUNG VON HUBSCHRAUBERN AUS. (1995): Quelle: Herausgeber: Land Tirol [Österreichisches Autorenteam], 6. Auflage, Tyrolia-Verlag, Innsbruck-Wien, 1996, S. 218-220.

STOFFEL, L. (1996): Künstliche Lawinenauslösung. Hinweise für den Praktiker. Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee- Lawinenforsch. 53, 80 S, 1996.

TECHNISCHES RISIKOMANAGEMENT (2001): Skriptum. Fachhochschule beider Basel, http://www.fhbb.ch/maschinenbau/studierende/skripten/technisches_risikomanagement.pdf, 2001.

WIESHOFER, S., PÜRSTINGER, C., KLEEMAYR, K., KREUZER, S., und LITTERAK M. (2002): Zwischenbericht, Delphi-Umfrage zur Bewertung von Lawinenschutzmaßnahmen, Institut für alpine Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien, 2002.

WILHELM, C. (1997): Wirtschaftlichkeit im Lawinenschutz. Mitteilungen Nr.54. Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Davos, 1997.

WILHELM, C. (1998): Quantitative risk analysis for evaluation of avalanche protection projects. In: Hestnes Erik (edit.) Proc. Int. Conf. For Snow Avalanche Research, NGI publication Nr. 203, 1998, S.288-293.

WILHELM, C. (1999): Kosten-Wirksamkeit von Lawinenschutzmaßnahmen an Verkehrsachsen. Vorgehen, Beispiele und Grundlagen der Projektevaluierung. Vollzug Umwelt, Praxishilfe, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft BUWAL, 1999, S. 110

WILHELM, C. (2001): Mobilität und Naturgefahren. Beiträge zu einem integralen Risikomanagement. Swiss Transport Research Conference. Conference paper. Session Sustainability, 2001.

WLW 2000: Unterlagen zur Gefahrenzonenplanung auf der Homepage des Vereines der Diplomingenieure der WLW unter www.wlv-austria.at, 2000.

WÖHRER-ALGE M. (2000): Temporärer Lawinenschutz - GAZEX Gaskanonen, Lawinenpfeifen, Sprengseilbahnen; Permanenter Lawinenschutz, Wildbach- und Lawinenverbau, Zeitschrift des Vereins der Diplomingenieure der Wildbach- und Lawinenverbauung Österreichs, 64.Jg., Heft 141, 2000.

ABBILDUNG 17: LÖSUNGSVARIANTEN FÜR EIN RISIKOPROBLEM.....	39
ABBILDUNG 18: ERGEBNISMATRIX ALS BASIS FÜR DIE ENTSCHEIDUNGSFINDUNG	40
ABBILDUNG 19: ZUSAMMENHANG KOSTEN UND RISIKOVERMINDERUNG BEI LAWINENSCHUTZMAßNAHMEN (WILHELM, 1997).....	41
ABBILDUNG 20: ÜBERBLICK ÜBER RISIKOMANAGEMENT – PROZESS IM LAWINENSCHUTZ (WILHELM, 1999).....	42
ABBILDUNG 21: LAWINENSCHUTZMAßNAHMEN IN ÖSTERREICH, (KREU, 2002).....	56
ABBILDUNG 22: GEGLIEDERTE UND MASSIVE WERKE IN DER FEUERSANGVERBAUUNG, SALZBURG (KREU, 2002).	58
ABBILDUNG 23: LINKS: HOLZSCHNEEBRÜCKE IN ST. ANTON/ARLBERG, GAMPEN, (KREU, 1999); RECHTS: STAHLSCHNEEBRÜCKE IN GALTÜR, (KREU, 2001)	58
ABBILDUNG 24: KOMBINIERTER STAHL-HOLZ STÜTZVERBAUUNG, AUFFORSTUNG PROXENLAWINE, SCHWAZ, (KREU, 2001)	58
ABBILDUNG 25: LINKS: SCHNEENETZE ZUR SICHERUNG EINER SCHIPISTE BZW. EINER AUFSTIEGSHILFE, ISCHGL, (KREU, 2001); RECHTS: SCHNEENETZE ZUR SICHERUNG EINER SCHIPISTE BZW. EINER AUFSTIEGSHILFE, NASSFELD, (KREU, 1998)	59
ABBILDUNG 26: LINKS: WINDDÜSE, (HÜB, 1996); MITTE: SCHNEEZAUN, (HÜB, 1996); RECHTS: SCHNEEZAUN UND KOLKTADEL IN KOMBINATION, (FTD VLBG).	60
ABBILDUNG 27: BREMSVERBAUUNG UND AUFFANGDAMM, ARZLERALMLAWINE, INNSBRUCK, (WLV INNSBRUCK)	61
ABBILDUNG 28: LINKS: EBENHÖHE EINER ALMHÜTTE, MOSERALM - SPORTGASTEIN, (KREU, 2002); RECHTS: LAWINENGALERIE DER ARLBERG-SCHNELLSTRASSE IM WINTER 1998/99, (KREU, 1999).	61
ABBILDUNG 29: LINKS: QUERSCHLÄGERUNG, (ANFI ARCHIV); MITTE: GLEITBOCK ZUM SCHUTZ EINER AUFFORSTUNG, DIENTEN, (KREU 2001); RECHTS: VERPFÄHLUNG IM LAWINENANBRUCHGEBIET ADAMSBERG, GALTÜR, (JAN, 2000).	62
ABBILDUNG 30: FIKTIVER GEFAHRENZONENPLAN EINER LAWINENGEFÄHRDUNG HINTERLEGT MIT LUFTBILD, (JAN, 2000).....	63
ABBILDUNG 31: LINKS: EINE MÖGLICHKEIT DER WARNUNG IM SCHIGEBIET, HAUS I. ENNSTAL, (KREU, 2000); RECHTS: PISTENSPERRE AUFGRUND ERHÖHTER LAWINENGEFAHR IM SCHIGEBIET, ISCHGL, (KREU, 2001).	65
ABBILDUNG 32: EVAKUIERUNGEN IN ISCHGL MITTELS HUBSCHRAUBER IM FEBRUAR 1999, (KREU, 1999)	66

ABBILDUNG 33: INPUT UND OUTPUT DES LAWINENLAGEBERICHTES, (LWD TIROL 2000).....	67
ABBILDUNG 34: SPRENGSEILBAHN - TRITTKOPF IN ZÜRS, (KREU, 2001).....	69
ABBILDUNG 35: LAWINENSPRENGUNG VOM HUBSCHRAUBER AUS, (LWD SALZBURG, 2000).....	70
ABBILDUNG 36: LINKS: FUNKFERNGESTEUERTE LAWINENORGEL IN LECH IM EINSATZ, (KREU, 2001); MITTE: SPRENGUNG DURCH LAWINENORGEL IN LECH, (KREU, 2001); RECHTS: WIEDERBEFÜLLUNG DURCH FACHPERSONAL, LECH, KREU, 2001	70
ABBILDUNG 37: LINKS: GAZEX IN ISCHGL – VERSORGUNGSCONTAINER LINKS, ZÜNDROHR RECHTS IM BILD, (KREU, 2001); RECHTS: GAZEX VERSORGUNGSCONTAINER, ISCHGL, (KREU, 2001).....	71
ABBILDUNG 38: GLIEDERUNG VON MÖGLICHEN MAßNAHMEN ZUM SCHUTZ VOR NATURGEFAHREN NACH ART UND ORT IHRER WIRKUNG (HOLLENSTEIN, 1997).....	81
ABBILDUNG 39: ENTSTEHUNG DES RESTRISIKOS BEI MAßNAHMENSETZUNG (SCHNEIDER, 1996).	82
ABBILDUNG 40: PRINZIPSKIZZE OBERLAWINE (MARGRETH, 2002).....	86
ABBILDUNG 41: EFFEKTIVITÄT DER STÜTZVERBAUUNG BEZOGEN AUF DIE TOPOGRAFIE UNTERHALB DER VERBAUUNG (MARGRETH, 2002).....	87
ABBILDUNG 42: FEHLER-, MÖGLICHKEITS- UND EINFLUSSANALYSE EINER STÜTZVERBAUUNG...	89
ABBILDUNG 43: SPRENGWIRKUNG UND WIRKUNGSZONE (STOFFEL, 2001)	102
ABBILDUNG 44: DRUCKSCHATTEN (STOFFEL, 2001).....	103
ABBILDUNG 45: RADIUS DER WIRKUNGSZONE VERSCHIEDENER SPRENGPUNKTHÖHEN IM BEZUG DES 100% WIRKUNGSRADIUS EINER ÜBERSCHNEESPRENGUNG	104
ABBILDUNG 46: FEHLER- MÖGLICHKEITS- UND EINFLUSSANALYSE, ALLGEMEINER TEIL DER KÜNSTL LAWINENAUSLÖSUNG.....	111
ABBILDUNG 47: FEHLER-, MÖGLICHKEITS- UND EINFLUSSANALYSE FÜR DIE JEWEILIGE SPRENGMETHODE.	112
ABBILDUNG 48: METHODE ZUM VERGLEICH DER WIRKUNGSWEISE VON MAßNAHMEN.....	115
ABBILDUNG 49: FEEDBACKSCHLEIFE EINER SYSTEMANALYSE.....	117
ABBILDUNG 50: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, ALLGEMEINER TEIL	120
ABBILDUNG 51: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, TEILANBRUCHSGEBIETE.....	121
ABBILDUNG 52: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, TEILANBRUCH MIT BEWALDUNG	122
ABBILDUNG 53: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, PERMANENTE MAßNAHMEN	123
ABBILDUNG 54: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, PERMANENTE MAßNAHMEN	124
ABBILDUNG 55: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, TEMPORÄRE MAßNAHMEN	125
ABBILDUNG 56: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, TEMPORÄRE MAßNAHMEN	126

ABBILDUNG 57: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, STURZBAHN.....	127
ABBILDUNG 58: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, STURZBAHN.....	128
ABBILDUNG 59: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, ABLAGERUNGSGEBIET	129
ABBILDUNG 60: AUFNAHMEBLATT SCHNEEBEWEGUNGEN, ABLAGERUNGSGEBIET	130
ABBILDUNG 61: AUFNAHME - ALLGEMEINER TEIL, TECHNISCHE AUFSTIEGSHILFEN.....	132
ABBILDUNG 62: AUFNAHMEBLATT, TECHNISCHE AUFSTIEGSHILFEN, SCHLEPPLIFT.....	133
ABBILDUNG 63: AUFNAHMEBLATT, TECHNISCHE AUFSTIEGSHILFEN, SESSELLIFT	134
ABBILDUNG 64: AUFNAHMEBLATT, TECHNISCHE AUFSTIEGSHILFEN, KABINENBAHN	135
ABBILDUNG 65: AUFNAHMEBLATT TECHNISCHE AUFSTIEGSHILFEN, STANDSEILBAHN.....	136
ABBILDUNG 66: AUFNAHMEBLATT - ORGANISierter SCHIRAUM ALLGEMEINER TEIL.....	137
ABBILDUNG 67: AUFNAHMEBLATT - ORGANISierter SCHIRAUM, UNGEFÄHRDeter BEREICH...	138
ABBILDUNG 68: AUFNAHMEBLATT - ORGANISierter SCHIRAUM, UNGEF. BEREICH	
KOPIERVORLAGE	139
ABBILDUNG 69: AUFNAHMEBLATT - ORGANISierter SCHIRAUM, GEFÄHRDeter TEILBEREICH	140
ABBILDUNG 70: AUFNAHMEBLATT - ORGANISierter SCHIRAUM, GEF. BEREICH, KOPIERVORLAGE	
.....	141
ABBILDUNG 71: KLIMAZONEN (K) 1-9 UND KLIMAGEBIETE (KK) 1.1-9.7 (BAUMGARTNER ET AL.,	
1983).....	146
ABBILDUNG 72: ZUNAHME DES NIEDERSCHLAGS MIT ZUNEHMENDER SEEHÖHE (P_H , MM/100M)	
NACH KK-GEBIETEN, JEWEILS LINKS: KK-GEBIET, RECHTS: P_H (BAUMGARTNER ET AL.,	
1983).....	146
ABBILDUNG 73: KRITISCHE SCHNEEHÖHEN FÜR SELBST- BZW. FREMDAUSLÖSUNG	150
ABBILDUNG 74: SYSTEM – SYSTEMGRENZE WECHSELWIRKUNGEN	169
ABBILDUNG 75: SCHIFAHRERGESCHWINDIGKEITEN UNTERSCHIEDLICHER HANGNEIGUNGEN.....	173
ABBILDUNG 76: ANTEIL TECHNISCHER SOWIE LOGISTISCHER FAKTOREN AM SPRENGERFOLG EINER	
SPRENGMETHODE	180
ABBILDUNG 77: AUFNAHMEGEBIET LECH – OST, ROT SIND DIE TEILANBRUCHSGEBIETE, IN GRÜN	
DER ORGANISIERTE SCHIRAUM	183
ABBILDUNG 78: TEIL DER RISIKOMATRIX FÜR DAS ANBRUCHSGEBIET NORDHANG IM SCHIGEBIET	
LECH – OST, OHNE MAßNAHMEN.....	186
ABBILDUNG 79: AUFNAHMEGEBIET RENDL, ROT SIND DIE TEILANBRUCHSGEBIETE, IN GRÜN DER	
ORGANISIERTE SCHIRAUM.....	193

ABBILDUNG 80: SÜDHANG DES KRIEGERHORNES. DIE VERBAUUNG SCHÜTZT SOWOHL DIE DARUNTER BEFINDLICHE VARIANTENABFAHRT BZW. SCHIROUTE, ALS AUCH ORTSTEILE VON LECH (PÜR, 2002).....	203
ABBILDUNG 81: TROTZ DEN VERBAUUNGSMAßNAHMEN KÖNNEN AUS DEN STAHLSCHNEEBRÜCKEN NASSSCHNEERUTSCHE AUSBRECHEN, WELCHE FÜR DIE VARIANTENABFAHRT BZW. SCHIROUTE EINE GEFÄHRDUNG DARSTELLEN (PÜR, 2002).	204
ABBILDUNG 82: DAS SOGENANNTTE „HERZ´L“, EINES DER KERNBEREICHE DES ZU UNTERSUCHENDEN GEBIETES. DIE ANRISSKANTE EINER LAWINE, WELCHE INFOLGE VON REGEN (BIS AUF EINE SEEHÖHE VON 2100M) AUSGELÖST WURDE, IST NOCH DEUTLICH ZU ERKENNEN (PÜR, 2002).	204
ABBILDUNG 83: DIE VERSPURTEN HÄNGE IM BEREICH DES „HERZ´L“ WEISEN DEUTLICH AUF EINE HOHE BEFAHRUNGSFREQUENZ HIN (PÜR, 2002).....	205
ABBILDUNG 84: ANSICHT DER JUPPENSPIZ - VARIANTENABFAHRT, IM HINTERGRUND IST DIE MOHNAFLUHSPITZE ZU SEHEN (PÜR, 2002).....	205
ABBILDUNG 85: VARIANTEN JUPPENSPIZ UND ROTSCHROFEN MIT DEM WIDDERSBERG IM HINTERGRUND (PÜR, 2002).....	206
ABBILDUNG 86: SKIABFAHRT ZUGERTOBEL. DIESER BEREICH WIRD MIT ETWA 40 SPRENGPUNKTEN TEMPORÄR GESICHERT(PÜR, 2002).	206
ABBILDUNG 87: DARSTELLUNG DES SKIRELEVANTEN BEREICHES (PÜR, 2002).	207
ABBILDUNG 88: DIGITALES GELÄNDEMOMELL DES PROJEKTGEBIETES LECH AM ARLBERG (PÜR, 2002).	208
ABBILDUNG 89: NEIGUNGSKARTE DES PROJEKTGEBIETES LECH SÜD (PÜR, 2002).....	208
ABBILDUNG 90: EXPOSITIONSKARTE DES PROJEKTGEBIETES LECH SÜD (PÜR, 2002).	209
ABBILDUNG 91: RELEVANTER SCHIBEREICH LECH OST FÜR DIE RISIKOBESTIMMUNG	210
ABBILDUNG 92: IM KAR DOMINIEREN STEILERE UND FELSDURCHSETZTE ANBRUCHSGEBIETE, HIER SIND GENÜGENDE INITIALPUNKTE FÜR LOCKERSCHNEELAWINEN GEGEBEN.	211
ABBILDUNG 93: DAS ANBRUCHSGEBIET RIFFL 6 WIRD DURCH EINE GAZEX ANLAGE IN KOMBINATION EINER SPRENGSEILBAHN TEMPORÄR GESICHERT.....	212
ABBILDUNG 94: DURCH DAS ANBRUCHSGEBIET RIFFL 8 GEFÄHRDETE KERNSTÜCK DES RENDL SCHIGEBIETES, DIE BERGSTATION DER RENDLBAHN.....	212
ABBILDUNG 95: PERMANENTE VERBAUUNGSMAßNAHMEN IM RENDL.(RIFFL 10).....	213

L. TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: UNTERSCHIEDLICHE KONZEPTE ZUR BESCHREIBUNG VON WERTOBJEKTEN	22
TABELLE 2: PRELIMINARY HAZARD ANALYSIS, BEISPIEL FÜR PERMANENTE LAWINENVERBAUUNG	29
TABELLE 3: AUSSCHNITT EINER FMEA - ERGEBNISSTABELLE, BEISPIEL FÜR PERMANENTE LAWINENVERBAUUNG	29
TABELLE 4: DARSTELLUNG VON GEFAHREN UND AUSWIRKUNGEN, BEISPIEL SCHIPISTE	30
TABELLE 5: RISIKOMATRIX DER ZHA - METHODE, BEISPIEL SCHIPISTE, EREIGNIS NR.3 VERLETZT WILLKÜRlich GESETZTES SCHUTZZIEL.	31
TABELLE 6:INTERNATIONAL GEBRÄUCHLICHE LAWINENKLASSIFIKATION (AUS: GUBLER, 1999)	44
TABELLE 7:ZUSAMMENHANG ZWISCHEN NEUSCHNEEHÖHE UND LAWINENBILDUNG (DE QUERVAIN, 1972)	46
TABELLE 8:ZUSAMMENSTELLUNG DER GENETISCHEN LAWINENFAKTOREN (DE QUERVAIN, 1972)	47
TABELLE 9:KLASSIFIKATION DER GELÄNDEVERHÄLTNISSE (DE QUERVAIN, 1972)	48
TABELLE 10: ZUSAMMENFASSUNG DER LAWINENGESCHWINDIGKEITEN (LAWINENHANDBUCH, 2000)	53
TABELLE 11: VERSAGENSWAHRSCHEINLICHKEITEN EINER STÜTZVERBAUUNG, AUS DELPHI UMFRAGE 2002.	90
TABELLE 12: PARAMETER FÜR DEN SPRENGEINSATZ	100
TABELLE 13: EINFLÜSSE DER LADUNGSGRÖßEN UND DER SPRENGPUNKTHÖHE AUF DEN WIRKUNGSRADIUS (STOFFEL, 2001).	105
TABELLE 14: VERSAGENSWAHRSCHEINLICHKEITEN UNTERSCHIEDLICHER SPRENGMETHODEN, AUS DELPHI – UMFRAGE 2002.	113
TABELLE 15: TECHNISCHE UND LOGISTISCHE FAKTOREN DER KÜNSTLICHEN LAWINENAUSLÖSUNG	113
TABELLE 16: SPRENGDATEN, ARLBERG OST (MAYERL, 2000).	114
TABELLE 17: WAHRSCHEINLICHKEITEN FÜR SCHWIMMSCHNEE UND KANTIG AUFGEBAUTE KRISTALLE IN DER ALTSCHNEEDECKE, GÜLTIG FÜR VORARLBERG	156
TABELLE 18: WAHRSCHEINLICHKEITEN FÜR SCHWIMMSCHNEE UND KANTIG AUFGEBAUTE KRISTALLE IN DER ALTSCHNEEDECKE, GÜLTIG FÜR TIROL	156
TABELLE 19:WAHRSCHEINLICHKEITEN FÜR SCHMELZHARSCH, GÜLTIG FÜR VORARLBERG	157
TABELLE 20: WAHRSCHEINLICHKEITEN FÜR SCHMELZHARSCH, GÜLTIG FÜR TIROL	157

TABELLE 21: WAHRSCHEINLICHKEITEN FÜR WINDHARSCH, GÜLTIG FÜR VORARLBERG	157
TABELLE 22: WAHRSCHEINLICHKEITEN FÜR WINDHARSCH, GÜLTIG FÜR TIROL	158
TABELLE 23: WAHRSCHEINLICHKEITEN, KEINE VERBINDUNG ALTSCHNEE/NEUSCHNEE, GÜLTIG FÜR VORARLBERG	158
TABELLE 24: WAHRSCHEINLICHKEITEN, KEINE VERBINDUNG ALTSCHNEE/NEUSCHNEE, GÜLTIG FÜR TIROL	158
TABELLE 25: WAHRSCHEINLICHKEITEN FÜR OBERFLÄCHENREIF, GÜLTIG FÜR VORARLBERG	159
TABELLE 26: WAHRSCHEINLICHKEITEN FÜR OBERFLÄCHENREIF, GÜLTIG FÜR TIROL	159
TABELLE 27: ABMINDERUNGSFAKTOR F_s	160
TABELLE 28: MATRIX FÜR VERSCHIEDENE SZENARIEN DES POT. SCHADENSAUSMAßES, SCHIPISTEN, SCHIROUTEN	172
TABELLE 29: BEISPIEL EINER RISIKOMATRIX ZUR BESTIMMUNG DES KOLLEKTIVRISIKOS DES SCHIRAUMES α	175
TABELLE 30: MAßGEBLICHE BEREICHE DER EINZELNEN AUFGABENSTELLUNGEN FÜR DIE OPTIMIERUNG DES RISIKOS IN SCHIGEBIETEN.	177
TABELLE 31: ZU TREFFENDE MAßNAHMEN ZUR OPTIMIERUNG DER PERMANENTEN STÜTZVERBAUUNG	178
TABELLE 32: WAHRSCHEINLICHKEITSWERTE DER TECHN. WIRKUNGSBESTIMMENDEN FAKTOREN UNTERSCHIEDLICHER SPRENGMETHODEN	179
TABELLE 33: WAHRSCHEINLICHKEITSWERTE DER LOGISTISCHEN WIRKUNGSBESTIMMENDEN FAKTOREN UNTERSCHIEDLICHER SPRENGMETHODEN	180
TABELLE 34: AUFGENOMMENE ANBRUCHSGEBIETE LECH - OST	184
TABELLE 35: NEUSCHNEEHÖHEN UND ZUGEHÖRIGE RÄUMLICHE AUFRETENSWAHRSCHEINLICHKEIT GÜLTIG FÜR LECH OST.	185
TABELLE 36: EINTRETENSWAHRSCHEINLICHKEITEN OHNE MAßNAHMEN DER EINZELNEN ERHOBENEN ANBRUCHSGEBIETE	187
TABELLE 37: RISIKOWERTE DER NULLVARIANTE FÜR DIE BETRACHTETEN TEILANBRUCHSGEBIETE LECH - OST	188
TABELLE 38: EINTRETENSWAHRSCHEINLICHKEITEN MIT MAßNAHMEN DER EINZELNEN ERHOBENEN ANBRUCHSGEBIETE	189
TABELLE 39: RISIKOWERTE DER MOMENTVARIANTE FÜR DIE BETRACHTETEN TEILANBRUCHSGEBIETE LECH – OST	189

TABELLE 40: RESTRISKO UNTERSCHIEDLICHER MAßNAHMEN FÜR DAS ANBRUCHSGEBIET STEINMÄHDER	190
TABELLE 41: RESTRISKO UNTERSCHIEDLICHER MAßNAHMEN FÜR DAS ANBRUCHSGEBIET NORDHANG	191
TABELLE 42: RESTRISKO UNTERSCHIEDLICHER MAßNAHMEN FÜR DAS ANBRUCHSGEBIET LIEZEN 2	191
TABELLE 43: RESTRISKO UNTERSCHIEDLICHER MAßNAHMEN FÜR DAS ANBRUCHSGEBIET HASENSPRUNG VERBAUUNG	192
TABELLE 44: AUFGENOMMENE ANBRUCHSGEBIETE RENDL	194
TABELLE 45: EINTRETENSWAHRSCHEINLICHKEITEN OHNE MAßNAHMEN DER EINZELNEN ERHOBENEN ANBRUCHSGEBIETE	196
TABELLE 46: RISIKOWERTE DER NULLVARIANTE FÜR DIE BETRACHTETEN TEILANBRUCHSGEBIETE RENDL	196
TABELLE 47: EINTRETENSWAHRSCHEINLICHKEITEN MIT MAßNAHMEN DER EINZELNEN ERHOBENEN ANBRUCHSGEBIETE	197
TABELLE 48: RISIKOWERTE DER MOMENTVARIANTE FÜR DIE BETRACHTETEN TEILANBRUCHSGEBIETE RENDL	197
TABELLE 49: RESTRISKO UNTERSCHIEDLICHER MAßNAHMEN FÜR DAS ANBRUCHSGEBIET RIFFL 1	198
TABELLE 50: RESTRISKO UNTERSCHIEDLICHER MAßNAHMEN FÜR DAS ANBRUCHSGEBIET RIFFL 3	198
TABELLE 51: RESTRISKO UNTERSCHIEDLICHER MAßNAHMEN FÜR DAS ANBRUCHSGEBIET RIFFL 10	199
TABELLE 52: RESTRISKO UNTERSCHIEDLICHER MAßNAHMEN FÜR DAS ANBRUCHSGEBIET RIFFL 9	199

M. BILDNACHWEIS

FTD Vorarlberg

HÜB 1996: Hübl Hannes, Universität für Bodenkultur, 1996

JAN 2000: Janu Stefan, Universität für Bodenkultur, 2000

KREU 2002: Kreuzer Stefan, Universität für Bodenkultur Wien, 2002

KREU 2001: Kreuzer Stefan, Universität für Bodenkultur Wien, 2001

KREU 2000: Kreuzer Stefan, Universität für Bodenkultur Wien, 2000

KREU 1999: Kreuzer Stefan, Universität für Bodenkultur Wien, 1999

KREU 1998: Kreuzer Stefan, Universität für Bodenkultur Wien, 1999

LWD Salzburg: Lawinenwarndienst Salzburg, Dr. Staudinger

PÜR 2002: Pürstinger Christian, Universität für Bodenkultur Wien, 2002

WLV Innsbruck

N. ANHANG

LAWINENERLASS

des

Bundesministeriums für Verkehr

Zl. EB 6403/8-II/3-1975

Wien, am 22. Jänner 1975

REPUBLIK ÖSTERREICH
Bundesministerium für Verkehr
Zl. EB 6403/8-II/3-1975

Wien, am 22. Jänner 1975

Herrn
Landeshauptmann von Burgenland
7000 Eisenstadt

Herrn
Landeshauptmann von Kärnten
9020 Klagenfurt, Landhaus

Herrn
Landeshauptmann von Niederösterreich
1010¹ Wien, Herrengasse

Herrn
Landeshauptmann von Oberösterreich
4020 Linz, Landhaus

Herrn
Landeshauptmann von Salzburg
5020 Salzburg, Chiemseehof

Herrn
Landeshauptmann von Steiermark
8020 Graz, Burg

Herrn
Landeshauptmann von Tirol
6020 Innsbruck, Landhaus

Herrn
Landeshauptmann von Vorarlberg
690 1 Bregenz, Landhaus

Herrn
Landeshauptmann von Wien
1010 Wien, Rathaus

- gesondert -

Betr.: Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen
und Schlepliften

Zum Zwecke der Intensivierung des Lawinenschutzes im Zusammenhang mit der Errichtung und dem Betrieb von Seilförderanlagen werden die Herren Landeshauptleute eingeladen, hinsichtlich der Kleinseilbahnen und Schleplifte folgende Maßnahmen zu treffen:

I. Kleinseilbahnen

1. Bei Genehmigung neuer Kleinseilbahnen sind in allen drei Genehmigungsphasen, sohin im Konzessions-, im Baugenehmigungs- und im Betriebsbewilligungsverfahren Lawinensachverständige gemäß § 52 AVG 1950 (Organe der Forsttechnischen Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung) beizuziehen, deren Gutachten hinsichtlich der Lawinensicherheit der Seilbahnanlagen samt Stationsbereichen der behördlichen Entscheidung zugrundezulegen sind.
2. Falls darüber hinaus im Konzessionsverfahren für eine Kleinseilbahn, die ganz oder teilweise für Zwecke des Wintersports vorgesehen ist, von der Wildbach- und Lawinenverbauung eingewendet wird, daß sämtliche Skiabfahrten des zu erschließenden Gebietes lawinengefährdet sind, sohin nicht einmal eine einzige, der Förderleistung der Kleinseilbahn entsprechende, ständig lawinensichere Skiabfahrt zur Verfügung steht, ist die Konzession wegen entgegenstehender öffentlicher Interessen (§ 17 Abs. 3 des Eisenbahngesetzes 1957) zu verweigern oder einzuschränken. Ein Rechtsanspruch auf die Verleihung einer Konzession ist nach dem Eisenbahngesetz 1957 bekanntlich nicht gegeben. Das Vorhandensein einer sicheren Skiabfahrt im vorangeführten Sinne ist eine Voraussetzung für die Konzessionsverleihung; dem Seilbahnunternehmen eine derartige Skiabfahrt als Auflage vorzuschreiben, ist der Seilbahnbehörde mangels Zuständigkeit für Skiabfahrten nicht möglich.

3. Hinsichtlich der bestehenden Kleinseilbahnen sind Gutachten der Wildbach- und Lawinenverbauung darüber einzuholen, ob die anlässlich der Genehmigung der Kleinseilbahn ergangenen lawinentechnischen Vorschriften ordnungsgemäß erfüllt wurden und ob öffentliche Interessen wegen lawinengefährdeter Skiabfahrten im Sinne der Ziffer 2 allenfalls gegen den Betrieb der Kleinseilbahn sprechen.

Sollte letzteres zutreffen und keine Möglichkeit für eine Sanierung dieses Mangels gegeben sein, müßte die Konzession gemäß § 68 Abs. 3 AVG 1950 abgeändert oder entzogen werden.

4. Bei neuen Kleinseilbahnen ist im Konzessionsverfahren, bei bestehenden Kleinseilbahnen anlässlich der nächsten Überprüfung vorzuschreiben, daß das Seilbahnunternehmen in den Stationen entsprechende Hinweise anbringt, die die Fahrgäste jeweils über die Lawinensicherheit der Skiabfahrten informieren.

II. Schlepplifte

1. Für Schlepplifte darf die gemäß § 74 Abs. 2 der Gewerbeordnung 1973 erforderliche Genehmigung nur dann erteilt werden, wenn eine Gefährdung des Lebens oder der Gesundheit der Kunden (Benützer) auch durch Lawinen ausgeschlossen ist. Im Zuge des Genehmigungsverfahrens sind daher Lawinensachverständige gemäß § 52 AVG 1950 (Organe der Forsttechnischen Abteilung für Wildbach- und Lawinenverbauung) beizuziehen, deren Gutachten der behördlichen Entscheidung zugrundezulegen ist.
2. Bei Genehmigung neuer Schlepplifte ist nicht nur auf die Lawinensicherheit der Schleppliftanlagen samt Stationsbereichen selbst, sondern - als Voraussetzung für die Genehmigung des Schleppliftes - auch auf das Vorhandensein mindestens einer, der Förderleistung des Schlepp-

liftes entsprechenden, ständig lawinensicheren Skiabfahrt Bedacht zu nehmen.

Ist diese Voraussetzung im Zeitpunkt der Entscheidung über die Genehmigung der Betriebsanlage noch nicht gegeben und kann sie auch nicht sichergestellt werden, so ist die Betriebsanlagegenehmigung und damit in der Folge die Konzession zu verweigern.

Wird glaubhaft gemacht, daß diese Voraussetzung bis zur Inbetriebnahme des Schleppliftes vorliegen wird, so ist eine Betriebsbewilligung gemäß § 78 Abs. 2 der Gewerbeordnung 1973 erforderlich. Diesfalls muß zum Zeitpunkt der Betriebsbewilligung mindestens eine sichere Skiabfahrt im vorangeführten Sinne vorhanden sein. Auch im Verfahren zur Erteilung der Betriebsbewilligung ist daher ein Lawinensachverständiger gemäß Ziff. 1 beizuziehen.

Die gesetzliche Grundlage für diese Vorgangsweise findet sich im § 74 Abs. 2 der Gewerbeordnung 1973, der unter anderem auf eine Gefährdung des Lebens und der Gesundheit der Kunden im weiteren Sinne (arg.: "... oder sonst geeignet sind ...") abstellt. Dadurch wird jedoch eine Zuständigkeit der Gewerbebehörde für Skiabfahrten nicht begründet. Das Vorhandensein einer sicheren Skiabfahrt im vorangeführten Sinne ist eine Voraussetzung für die zu erteilende Genehmigung; den Schleppliftunternehmungen eine derartige Skiabfahrt als Auflage vorzuschreiben, ist mangels Zuständigkeit für Skiabfahrten nicht möglich.

3. Die bestehenden Schlepplifte sind im Sinne der vorangeführten Ziff. 1 und 2 einer Überprüfung zu unterziehen, wobei erforderlichenfalls Maßnahmen gemäß § 79 Abs. 1 in Verbindung mit § 376 Ziff. 11 Abs. 1 der Gewerbeordnung 1973 oder gemäß § 360 Abs. 2 leg.cit. zu treffen sind. Werden Mängel festgestellt, deren Behebung nicht möglich ist, so sind die Bestimmungen des § 68 Abs. 3 AVG 1950 anzuwenden.

4. Auf Grund des § 69 Abs. 4 der Gewerbeordnung 1973 ist das Schleppliftunternehmen erforderlichenfalls zu verhalten, entsprechende Hinweise anzubringen, die die Benutzer des Schleppliftes jeweils über die Lawinensicherheit der Skiabfahrten informieren.

Von den vorangeführten Bestimmungen hinsichtlich der Schlepplifte, die im Zusammenwirken mit dem für die Interpretation der Gewerbeordnung 1973 im allgemeinen zuständigen Bundesministerium für Handel, Gewerbe und Industrie erstellt wurden, sind die Bezirksverwaltungsbehörden in Kenntnis zu setzen.

Hinsichtlich unmittelbarer Maßnahmen in Bezug auf Skiabfahrten, insbesondere auch hinsichtlich der Sperre bei Lawinengefahr, wird auf die den Gemeinden gemäß Art. 118 BVG im eigenen Wirkungsbereich obliegende Sicherheitspolizei hingewiesen.

Der Bundesminister:
Lanc eh.

Für die Richtigkeit
der Ausfertigung:

Halper

**b) Erl des BMV v 9. Sept. 1975, EB 6403/31-II/3/75, betr
Lawinenschutz im Bereich von Seilbahnen und Schleppliften**

„Anlässlich einer am 4. 9. 1975 im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft abgeführten Besprechung über die in gegenständlicher Angelegenheit bisher gewonnenen Erfahrungen wurden zur Erzielung einer einheitlichen Begutachtungs- und Entscheidungspraxis hinsichtlich einzelner Bestimmungen des ho. Erlasses vom 22. 1. 1975, Z EB 6403/8, folgende Feststellungen getroffen:

1. Bei bestehenden Seilförderanlagen kommen als Möglichkeiten einer Sanierung bzw Behebung im Sinne der Punkte I Z 3 und II Z 3 des vorzitierten Erlasses sämtliche Maßnahmen in Betracht, die auf Grund der konkreten Verhältnisse des Einzelfalles zur Verhinderung einer Lawinengefahr zielführend erscheinen. Der Erlaß beschränkt sich nicht nur auf bauliche Maßnahmen und enthält keine Bestimmung, daß etwa Maßnahmen organisatorischer Art ausgeschlossen wären. Das Erfordernis ständiger Lawinensicherheit bei bestehenden Seilförderanlagen und Skiabfahrten kann sohin nicht nur durch permanente, sondern auch durch temporäre Maßnahmen erfüllt werden.

Bei der Beurteilung sind zur Erzielung der besterreichbaren Lawinensicherheit der Anlagen bzw Skiabfahrten alle Möglichkeiten aususchöpfen.

Als solche Maßnahmen kommen in Betracht:

Verlegung der Anlage bzw der Skiabfahrt aus dem Lawinengefahrenbereich,

III.B LawinenErl

permanenter Lawinenschutz durch geeignete Verbauungsmaßnahmen,

Maßnahmen des aktiven temporären Lawinenschutzes (zB Sprengseilbahn, Handsprengung),

Maßnahmen des passiven temporären Lawinenschutzes (zB organisatorische Vorkehrungen, Betriebssperren, Meßeinrichtungen).

Die Vorschreibung, daß bei Lawinengefahr der Betrieb einer Anlage einzustellen ist, stellt für sich allein keine ausreichende Maßnahme dar. Eine Betriebssperre muß vielmehr mit flankierenden Maßnahmen im vorangeführten Sinne verbunden werden und das Vorhandensein einer örtlichen Lawinenwarnkommission, der die Berichte eines Lawinenwarndienstes zur Verfügung stehen, zur Voraussetzung haben.

2. Bei bestehenden Anlagen ist die ständige Lawinensicherheit auf die Betriebszeiten der Seilförderanlage zu beziehen.

3. Seilförderanlagen, die bereits durch Lawinen beschädigt oder zerstört wurden, dürfen nur dann am gleichen Ort weiterbetrieben werden, wenn alle Maßnahmen getroffen wurden, die eine ständige Lawinensicherheit im Sinne der vorstehenden Ausführungen gewährleisten.

4. Dem Erfordernis der Lawinensicherheit von Skiabfahrten bei neuen oder bestehenden Anlagen wird auch dann Rechnung getragen, wenn sich im Bergstationsbereich der Anlage ein lawinensicheres, der Förderleistung der Anlage entsprechend großes Skigelände befindet und der lawinensichere oder -gesicherte Abtransport der Fahrgäste gewährleistet ist.

5. Unter Hinweisen auf Lawinengefahr im Sinne der Punkte I Z 4 und II Z 4 des Erlasses sind auch akustische und optische Warnanlagen (zB Warnleuchten, Sirenen) zu verstehen. Dadurch soll die Eigenverantwortlichkeit der Fahrgäste angesprochen werden.

Es ergeht die Einladung, von dieser Interpretation, die den do. Entscheidungen zugrunde zu legen wäre, die für die Genehmigung von Kleinseilbahnen und Schleppliften zuständigen da. Abteilungen sowie hinsichtlich der Schlepplifte die nachgeordneten Bezirksverwaltungsbehörden in Kenntnis zu setzen.

Das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft wird die Sachverständigen der Wildbach- und Lawinerverbauung im gleichen Sinne informieren."



ERLASS

**Lawinenschutz im Bereich von
Seilbahnen und Schleppliften**

des

Bundesministeriums für Verkehr

Zl. 238961/4-II/3-1996

Wien, am 01. Juli 1996



REPUBLIK ÖSTERREICH

Bundesministerium für Wissenschaft,
Verkehr und Kunst
Verwaltungsbereich Verkehr

Zl. 238961/4-II/3-1996

A-1031 Wien, Radetzkystraße 2

Telefax (0222) 713 03 26

Telefon (0222) 71162 DW 23

**Betr.: Lawinenschutz im Bereich von
Seilbahnen und Schleppliften**

E r l a ß

I.

Zum Zwecke der Maximierung des Lawinenschutzes im Zusammenhang mit dem Ersatz bzw. Umbau von Seilbahnen und Schleppliften, die vor dem 22.1.1975 errichtet worden waren und nicht permanent lawinensicher oder lawinengesichert sind und/oder keine ihr zugeordnete permanent lawinensichere oder lawinengesicherte, der Förderleistung der Anlage entsprechende Skiabfahrt aufweisen, werden die Landeshauptmänner und Bezirkshauptmänner eingeladen, nachstehende Regelungen einzuhalten:

1. Ersatz von Anlagen

Ein Ersatz im Sinne dieses Erlasses liegt vor, wenn die standortbezogene Funktion einer Seilbahn oder eines Schleppliftes von einer neuen Anlage mit geändertem Anlagensystem übernommen wird. Bei Seilbahnen ist dies jedenfalls dann der Fall, wenn eine neue Konzession erforderlich wird.

a) Ersatz durch eine Seilbahn

Ist die Ersatzanlage eine Seilbahn, sind zur Beurteilung der notwendigen Lawinenschutzmaßnahmen grundsätzlich die Bestimmungen des Lawinenerlasses des BMV vom 22.1.1975, Zl. EB 6403/8-II/3-1975, heranzuziehen.

Wird daher eine Anlage (Seilbahn oder Schlepplift) ersetzt, die vor dem 22.1.1975 errichtet worden war, kann die Ersatzanlage demnach nicht als bestehende Anlage im Sinne des vorgenannten Lawinenerlasses bezeichnet werden und muß - so wie die nach dem 22.1.1975 errichteten Anlagen - dem Erfordernis der permanenten Anlagensicherung vor Lawinen entsprechen. Diese Lawinensicherheit ist bereits im Konzessionsverfahren als Voraussetzung für die beantragte Konzessionsverleihung zu prüfen.

Gleiches gilt für die zugehörige, der Förderleistung der Anlage entsprechende Skiabfahrt, auch wenn die neue Seilbahn selbst von Natur aus ständig lawinensicher oder auf Grund von bereits vorhandenen Verbauungen ständig lawinengesichert ist.

b) Ersatz durch einen Schlepplift

Ist die Ersatzanlage ein Schlepplift, gelten die vorstehenden Feststellungen mit der Maßgabe, daß die permanente Lawinensicherheit der Anlage selbst oder der zugehörigen, der Förderleistung der Anlage entsprechenden Skiabfahrt, im gewerberechtlichen Betriebsanlagengenehmigungsverfahren als wesentliche Voraussetzung für die beantragte Genehmigung zu prüfen ist.

2. Umbau von Anlagen

Ein Umbau im Sinne dieses Erlasses liegt vor, wenn bei unverändertem Anlagensystem die Förderleistung erhöht wird.

Beim Umbau einer Seilbahn oder eines Schleppliftes sind die in Punkt 1 enthaltenen Ausführungen analog heranzuziehen.

Die permanente Lawinensicherheit der Anlage selbst oder der zugehörigen, der Förderleistung der Anlage entsprechenden Skiabfahrt ist bei solchen Umbauten im eisenbahnrechtlichen

Wird daher eine Anlage (Seilbahn oder Schlepplift) ersetzt, die vor dem 22.1.1975 errichtet worden war, kann die Ersatzanlage demnach nicht als bestehende Anlage im Sinne des vorgenannten Lawinenerlasses bezeichnet werden und muß - so wie die nach dem 22.1.1975 errichteten Anlagen - dem Erfordernis der permanenten Anlagensicherung vor Lawinen entsprechen. Diese Lawinensicherheit ist bereits im Konzessionsverfahren als Voraussetzung für die beantragte Konzessionsverleihung zu prüfen.

Gleiches gilt für die zugehörige, der Förderleistung der Anlage entsprechende Skiabfahrt, auch wenn die neue Seilbahn selbst von Natur aus ständig lawinensicher oder auf Grund von bereits vorhandenen Verbauungen ständig lawinengesichert ist.

b) Ersatz durch einen Schlepplift

Ist die Ersatzanlage ein Schlepplift, gelten die vorstehenden Feststellungen mit der Maßgabe, daß die permanente Lawinensicherheit der Anlage selbst oder der zugehörigen, der Förderleistung der Anlage entsprechenden Skiabfahrt, im gewerberechtlichen Betriebsanlagengenehmigungsverfahren als wesentliche Voraussetzung für die beantragte Genehmigung zu prüfen ist.

2. Umbau von Anlagen

Ein Umbau im Sinne dieses Erlasses liegt vor, wenn bei unverändertem Anlagensystem die Förderleistung erhöht wird.

Beim Umbau einer Seilbahn oder eines Schleppliftes sind die in Punkt 1 enthaltenen Ausführungen analog heranzuziehen.

Die permanente Lawinensicherheit der Anlage selbst oder der zugehörigen, der Förderleistung der Anlage entsprechenden Skiabfahrt ist bei solchen Umbauten im eisenbahnrechtlichen

Baugenehmigungsverfahren (Seilbahn) bzw. im gewerberech-
lichen Betriebsanlagenehmigungsverfahren (Schlepplift)
als wesentliche Voraussetzung für die beantragte Genehmigung
zu prüfen.

3. Ausnahmeverfahren

a) Einleitung des Ausnahmeverfahrens

Ergibt sich bei der von der zuständigen Dienststelle des
Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinen-
verbauung vorzunehmenden Prüfung der Lawinensicherheit
von Ersatzanlagen gemäß Punkt 1 oder von umzubauenden
Anlagen gemäß Punkt 2, daß die geforderte permanente
Lawinensicherheit der Anlage oder der zugehörigen Ski-
abfahrt gemäß Lawinenerlaß des BMV vom 22.1.1975, Zl. EB
6403/8-II/3-1975, unter Einbeziehung lawinenfachlicher
Aspekte lawinenschutztechnisch nicht oder nicht zur
Gänze hergestellt werden kann, ist der Antragsteller
berechtigt, bei der Seilbahn- bzw. Schleppliftbehörde
ein Ausnahmeverfahren zu beantragen.

b) Gegenstand des Ausnahmeverfahrens

ist die Prüfung, ob ein Abgehen von der Grundsatzforde-
rung nach gänzlichem permanenten Lawinenschutz aus lawi-
nenschutztechnischer Sicht unter Einbeziehung lawinen-
fachlicher Aspekte vertreten werden kann.

Eine solche Vertretbarkeit wäre nur dann gegeben, wenn
das Zusammenwirken der im einzelnen festzulegenden Maß-
nahmen jenes Maß an deutlicher Verbesserung der Lawinen-
sicherheit der Anlage, der Skiabfahrt/en, erforderli-
chenfalls auch des sonst erschlossenen Skigebietes und
der Parkplätze im Bereich der Zubringeranlage/n erwarten
läßt, mit dem nachvollziehbar auch bei höherer Förder-
leistung ein überproportionaler Sicherheitszuwachs ge-
genüber dem status quo verbunden ist.

c) Erstellung eines Konzeptes

Dem Antrag um Durchführung eines Ausnahmeverfahrens hat der Antragsteller ein detailliertes Konzept anzuschließen, das der Grundsatzforderung nach Maximierung der Lawinensicherheit der ggstl. Anlage und/oder der zugehörigen Skiabfahrt unter Ausschöpfung sämtlicher lawinentechnisch und lawinenfachlich möglicher permanenter Schutzmaßnahmen zu entsprechen hat.

Das Konzept hat insbesondere alle jene permanenten und temporären Schutzvorkehrungen zu beinhalten, die

- bisher gehandhabt wurden,
- sich auf die ggstl. Anlage samt zugehöriger Skiabfahrt beziehen,
- sich auf die im erschlossenen Skigebiet (inklusive Parkplätze im Bereich der Zubringeranlage/n) bestehenden weiteren Anlagen und Skiabfahrten erstrecken,
- die im Zusammenhang mit der Lawinensicherheit für die Erreichbarkeit und das Verlassen der ggstl. Anlage im erschlossenen Skigebiet getroffen werden.

d) Prüfung des Konzeptes

Die Seilbahn- bzw. Schleppliftbehörde hat das vom Antragsteller erstellte Konzept einer beim BMLF eingerichteten Kommission zur Begutachtung vorzulegen.

Die Kommission hat die Prüfung gemäß Punkt 3b vorzunehmen und das Prüfungsergebnis der Seilbahn- bzw. Schleppliftbehörde mitzuteilen.

Das Prüfungsergebnis ist den Entscheidungen der Seilbahn- bzw. Schleppliftbehörde zugrundezulegen.

II.

Es ergeht die Einladung, diesen Erlaß den für die Genehmigungen von Kleinseilbahnen zuständigen da. Abteilungen sowie hinsichtlich der Schlepplifte den nachgeordneten Bezirksverwaltungsbehörden zur Kenntnis zu bringen.

Das BMLF wird die Amtssachverständigen des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung im gleichen Sinne informieren.

Wien, am 1. Juli 1996
Für den Bundesminister:
Dr. Bauer e.h.

Für die Richtigkeit
der Ausfertigung:

Weidinger