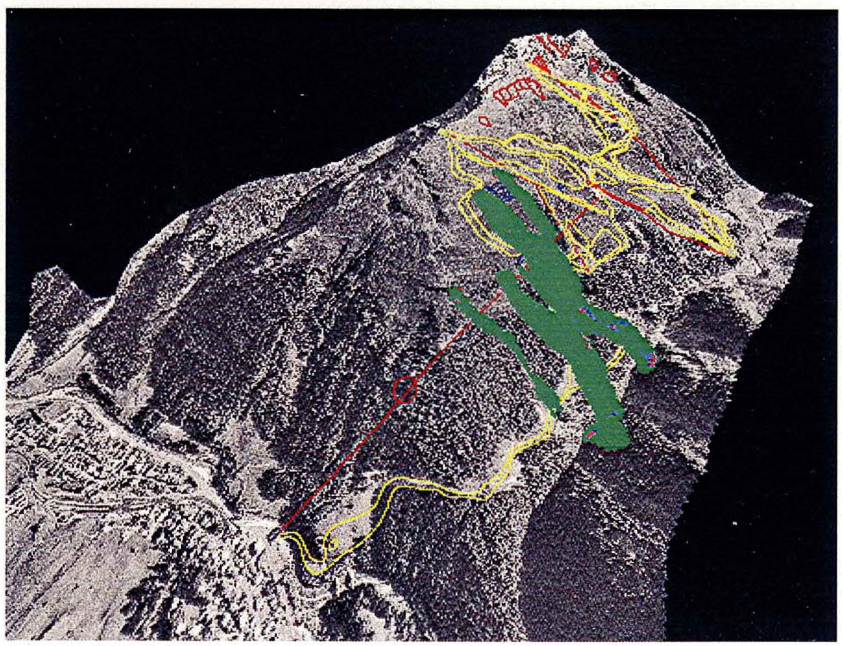
Universität für Bodenkultur
Institut für Wildbach- und Lawinenschutz
Peter Jordan Str. 82
A-1190 WIEN
Tel.: #43-1-47654-4350
Fax: #43-1-4789177

WLS REPORT 39

Risikoanalyse Moostal/Rendl in der Gemeinde St. Anton Bez. Landeck



Im Auftrag von:
Arlberger Bergbahnen
Moostal Fremdenverkehrs GmbH

Projektleitung: Kleemayr Karl
Mitarbeiter: Mayerl Markus

Wien, im Juli 1997

Studie RENDL

zum Ansuchen um
Ausnahmegenehmigung

für den Ersatz der Altanlage

Schlepplift Masslift

durch einen Sessellift

INHALTSVERZEICHNIS

PRÄAMBEL 5

1. PROBLEMSTELLUNG 5
2. ZIEL DER STUDIE 5
3. UNTERSUCHUNGSMETHODIK 5

KONZEPT ZUR MAXIMIERUNG DER LAWINENSICHERHEIT DER RENDLLIFTE 6

1.DARSTELLUNG DES GESAMTEN SCHIGEBIETES 6
1.1 GEOGRAPHISCHE LAGE UND GELÄNDE 6
1.2 KLIMA UND WETTER 6
1.3 VEGETATION 9
1.4 GEOLOGIE 9
1.5 BESIEDLUNG 9
2. GRUNDLAGENERHEBUNGEN IM PROJEKTSGEBIET RENDLLIFTE 10
2.1 LIFTANLAGEN UND SKIPISTEN 10
2.1.1. Erschließung 10
2.1.2. Liftanlagen im Gebiet Moostal-Rendl 10
2.1.3. Frequenzen der Anlagen 10
Jahresfrequenzen der Anlagen seit ihrem Bestehen: 10
Tagesfrequenzen der Anlagen der letzten zwei Saisonen: 11
2.3. Pisten im Gebiet Moostal-Rendl 12
2.4. Zufahrts- und Abfahrtsmöglichkeiten 12
2.2. LAWINEN 12
2.2.1. Lawinenabgänge 12
Lawinenabgänge im Bereich Moostal-Rendl 12
Meteorologische Daten an Lawinentagen 16
2.2.2. Tätigkeit der Lawinenkommission 17
2.2.2.1. Aufgaben 17
2.2.2.2. Örtlicher Wirkungsbereich 17
2.2.2.3. Zusammensetzung 17
2.2.2.4. Konstituierende Sitzung 17
2.2.2.5. Einberufung der Mitglieder 18
2.2.2.6. Zustandekommen der Beschlüsse 18
2.2.2.7. Protokollierung der Beschlüsse 18
2.2.2.8. Weitergabe der Beschlüsse 18
2.2.3. Bestehende Lawinenschutzmaßnahmen 19
2.2.3.1. Permanente Lawinenschutzmaßnahmen 19
2.2.3.2. Temporäre Lawinenschutzmaßnahmen 19
2.2.4. Chronologische Verbesserung der Lawinensicherheit im Gebiet Moostal-Rendl 20
3. BERECHNUNGEN UND ANALYSEN 23
3.1. GELÄNDEMODELLANALYSE 23
3.1.1. Import der Datengrundlagen 23
3.1.2. Die Geländemodellberechnung 23
3.1.3. Bewertung des Geländemodells 24
3.2. LAWINENANALYSEN 26
3.2.1. Anbruchsgebiete: 26
Digitales Geländemodell 26
Modellierung der Luv / Leebereiche 27

3.2.2. Lawinenstriche: 28
3.2.3. Schneehöhen: 29
Schneehöhenbestimmung nach HÖLLER (1987) 29
Schneehöhenberechnung nach LAUSCHER (1970) 29
Pegelablesungen 30
Sondierungen und Schneeprofile 30
Vergleich der Ergebnisse 30
3.2.4. Lawinenberechnungsmodelle: 32
a) Berechnung des Pauschalgefälles nach LIED/BAKKEHOI 32
b) Berechnung der Lawinenauslauflängen nach VOELLMY/GUBLER 34
c) Simulation der Lawinen mit dem ELBA-Modell von KLEEMAYR/VOLK (1996) 38
3.2.5. Variantenstudium 43
a) Maximallawinen ohne Beeinflußung 43
b) Schadlawinen mit geringer Jährlichkeit (Tr =10-50) 43
3.3. SCHIGEBIETSANALYSE 44
3.3.1. Frequenzen der Anlagen 44
Jahresfrequenzen der Anlagen seit ihrem Bestehen: 44
Tagesfrequenzen der Anlagen der letzten zwei Saisonen: 44
3.3.2. Frequenzen auf den Pisten 45
3.3. GEFAHRENBEURTEILUNG-RISIKOANALYSE 47
3.3.1. Ereigniswahrscheinlichkeit 47
3.3.2. Präsenzwahrscheinlichkeit 49
3.3.2.1. Prozentuelle Verteilung der Schifahrer auf den verschiedenen Pisten 49
3.3.2.2. Aufenthaltsdauer der Schifahrer in den Gefahrenbereichen 49
3.3.3. Schadausmaß 51
3.3.4. Aversionsfaktor 51
4. ERGEBNISSE, GEFAHRENBEURTEILUNG UND MAßNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER LAWINENGEFÄHRDUNGSSITUATION 52
4.1. HAUPTGEFÄHRDUNGSBEREICHE 52
4.1.1. Karrinnen 52
4.1.2. Große Rinne 52
4.1.3. Bereich oberhalb der Route 6 52
4.1.4. Gandhang 52
4.1.5. Nahbereich der Stütze 5 der Rendlbahn 52
4.1.6. Bereich oberhalb der Steilstufe der Talabfahrt 52
4.1.7. Roßtobel 53
4.1.8. Nordwesthangwaldlawine 53
4.2. VORGESCHLAGENE MAßNAHMEN 53
4.2.1. Karrinnen 53
4.2.2. Große Rinne 53
4.2.3. Bereich oberhalb der Route 6 53
4.2.4. Gandhang 53
4.2.5. Nahbereich der Stütze 5 der Rendlbahn 54

LITERATUR 55

ANHANG

ANHANG 1: FOTOBEILAGE

ANHANG 2: METEOROLOGISCHE DATEN AN LAWINENTAGEN
ANHANG 3: LAWINENSPRENGUNGEN
ANHANG 4: LIFTFREQUENZEN
ANHANG 5: PISTENFREQUENZEN
ANHANG 6: AUFENTHALTSZEITEN IN DEN GEFAHRENBEREICHEN
ANHANG 7: LAWINENBERECHNUNGEN NACH LIED/BAKKEHOI
ANHANG 8: LAWINENBERECHNUNGEN NACH VOELLMY/GUBLER

PRÄAMBEL

1. Problemstellung

Ein Teil der als Rendllifte bezeichneten Aufstiegshilfen im Moostal und vor allem die dazugehörigen Abfahrten sind nicht permanent lawinensicher oder lawinengesichert. Teilbereiche mit unterschiedlicher Lawinengefährdung werden durch temporäre Schutzmaßnahmen abgesichert. Seit 22.1.1975 ist der Bau von Anlagen mit weniger als einer permanent lawinensicheren Abfahrt durch den Lawinenerlaß Zl. EB 6403/8-II/3-1975 untersagt.
Der Masslift, ein Schlepplift mit Kurve, soll durch einen Sessellift ersetzt werden, der zwar in gerader Linie jedoch an der selben Stelle errichtet werden soll. Dies ist ein Ersatz im Sinne des Erlasses Zl. 238961/4-II/3-1996 vom 1.7.1996. Daher muß gemäß dem oben genannten Lawinenerlaß eine der Förderleistung der Anlage entsprechende permanent lawinensichere Schiabfahrt vorhanden sein oder ein Ausnahmeverfahren beantragt werden.
Gegenstand dieses Ausnahmeverfahrens ist die Prüfung, ob ein Abgehen von der Grundsatzforderung nach gänzlichem permanentem Lawinenschutz vertreten werden kann. Das ist jedoch nur dann vertretbar, wenn durch das Zusammenwirken von im einzelnen festzulegenden Maßnahmen eine deutliche Verbesserung der Lawinensicherheit gegenüber dem Status quo gegeben ist.
Dem Antrag um Durchführung eines Ausnahmeverfahrens ist ein detailliertes Konzept anzuschließen, das zur Maximierung der Lawinensicherheit führt und von einer beim BMLF eingerichteten Kommission zur Begutachtung vorzulegen ist.

2. Ziel der Studie

Erstellung eines Konzeptes zur Maximierung der Lawinensicherheit gemäß dem Erlaß Zl. 238961/4-II/3-1996 vom 1.7.1996.

3. Untersuchungsmethodik

Da eine absolute Sicherheit gegen Lawinen nicht erreicht werden kann, soll eine Optimierung der Gegenmaßnahmen auf der Basis einer möglichst objektiven, nachvollziehbaren Ermittlung des Lawinenrisikos bewerkstelligt werden. Die im gesamten Untersuchungsgebiet durchgeführte Risikoanalyse liefert Hinweise, wo die Lawinengefahr besonders groß ist, und kann somit für eine effiziente Sicherheitsmaximierung verwendet werden.
Grundlage ist der Avalanche Hazard Index von SHAERER (1989), der diesen für das Lawinenrisiko auf kanadischen Paßstraßen (Rogers Paß) entwickelte und anwendet, sowie die Überlegungen zum Risiko von GUBLER (1995). Im Avalanche Hazard Index gehen neben der Frequenz auf den Straßen und der Geschwindigkeit der Fahrzeuge noch verschiedene andere Faktoren, wie zum Beispiel die Verschüttungshöhe, oder die Wartezeit der Fahrzeuge, wenn die Straße gesperrt ist, ein. Bei den Überlegungen von GUBLER (1995) gibt es neben der Ereignis- und der Präsenzwahrscheinlichkeit noch den Begriff des Schadausmaßes, mit dem in monetären Werten der Schaden quantifizieret werden soll, sowie einen Aversionsfaktor, mit dem die Toleranz der Bevölkerung gegenüber unterschiedlichen Katastrophen bewertet wird. Da sich die Verhältnisse in Schigebieten etwas anders darstellen, wurden die oben geschilderten Ansätze entsprechend modifiziert. Die Verschüttungshöhe darf hier überhaupt nicht eingehen, da schon bei kleinen Verschüttungshöhen große Verletzungen auftreten können. Ebenso wurde das Schadausmaß nicht in die Bewertung einbezogen, da Skifahrer überhaupt nicht von Lawinen erfaßt und verletzt werden dürfen und der schwer bewertbare Aversionsfaktor wurde deshalb weggelassen, da man hier sowieso nur eine Katastrophenart, nämlich Lawinenunglücke betrachtet und vergleicht.

KONZEPT zur Maximierung der Lawinensicherheit der Rendllifte

1.Darstellung des gesamten Schigebietes

Die Rendlbahnen gehören zum Schigebiet Arlberg, daß 85 Seilbahn- und Liftanlagen sowie 260 km präparierte Pisten und 180 km Tiefschneeabfahrten umfaßt. Das Angebot reicht von gemütlichen Familienabfahrten für Anfänger, abwechslungsreichen Funparks für Snowborder, anspruchsvollen Steilhängen bis hin zu hochalpinen Touren als sportliche Herausforderung für Könner. Als besonderes Charakteristikum dieses Gebietes gelten Schirouten sowie zahlreiche Variantenmöglichkeiten, das bedeutet, daß das ständige Befahren des freien Schiraumes als Faktum anzusehen ist. Da der Großteil des Schigebietes oberhalb der Waldgrenze liegt, kommt dem Lawinenschutz, der hier als permanente aber zu einem großen Anteil auch durch temporäre Schutzmaßnahmen bewerkstelligt wird, eine große Bedeutung zu.

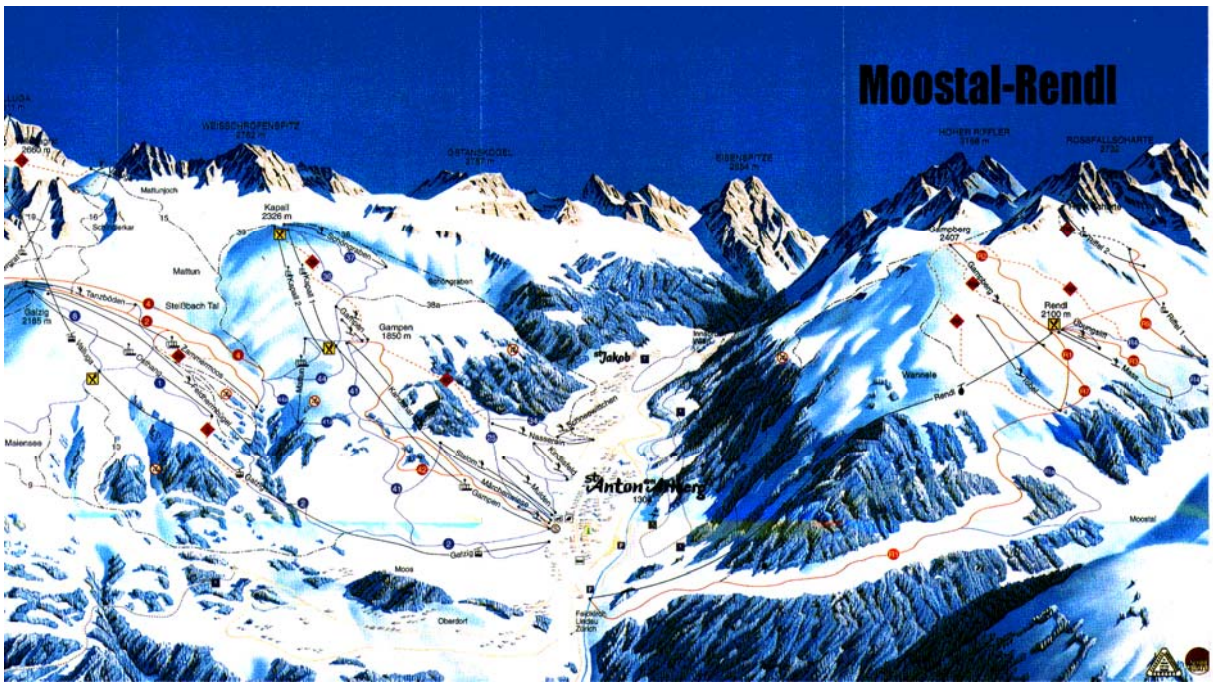


Abb.1: Übersicht

1.1 Geographische Lage und Gelände

Die Rendllifte liegen in der Gemeinde St. Anton am Arlberg südlich der Rosanna. Von St. Anton führt die Rendlbahn, eine Kabinenseilbahn als einziger Zubringer ins eigentliche Schigebiet. Die Rendllifte liegen am orographisch rechten Einhang des Moostales welcher nach Westen exponiert ist. Das Schigebiet wird vom Gampenberg (2401 m), Gampengrat mit einer 2699 m hohen Erhebung, der Riffelscharte (2640 m) und der Vorderen Rendlspitze (2816 m) umrahmt. Der höchste Punkt ist die Bergstation der Riffelbahn II mit 2639 m. Das Tal ist außer mit der Kabinenseilbahn über eine Talabfahrt erreichbar.

1.2 Klima und Wetter

Allgemeines:
Der Arlberg gehört zum inneralpinen Klimabereich, wird jedoch durch ozeanische Klimaeinflüsse beeinflußt. Die Basistation St. Anton (1.298 m Seehöhe) des Hydrographischen Dienstes weist eine Normalzahl von 1119 mm auf, wodurch sich die hygrische Kontinentalität nach GAMS(1931) mit 1,16 einstellt. Dies weist wiederum auf schwach kontinentales Klima hin.

Temperatur	∅=4,2 °C	
Jahresniederschlagsmenge	∅=1119 mm	
Niederschlagstagesmaximum	h_N=118,7 mm	19.01.1914
Niederschlagsmonatsmaximum	h_N=381 mm	02.1970
Niederschlagshäufigkeit	$∅_{1980-1990}$=178,5 Tage/Jahr	
Schneedeckendauer	$∅_{1980-1990}$=132,2 Tage/Jahr	

Windverhältnisse:

Der von W. Paulcke geprägte Begriff „Baumeister der Lawinen“ räumt dem Wind einen wichtigen Stellenwert in der Gesamtheit der lawinenbildenden Faktoren ein. Oberhalb der Waldgrenze, mit zunehmendem Einfluß von Groß- und Kleinrelief, ist der Wind für die große Unregelmäßigkeit der Schneedecke verantwortlich. Dabei erfolgt an exponierten Stellen eine Abtragung, die besonders an Rippen und Graten bis zur totalen Schneefreiheit führen kann und im Bereich von Mulden und ausgeprägten lokalen Leelagen eine Triebschneeablagerung und Verdichtung bewirkt, die eine erhebliche Erhöhung der Schneebrettgefahr mit sich bringt. Durch Windverfrachtung, die etwa ab 4 m/s wirksam wird, können Schneeteilchen bis auf 1/10 ihrer ursprünglichen Größe verkleinert werden und erreichen die 2-4fache Dichte des ruhig gefallenen Schnees (LACKINGER 1985). Dabei entspricht einer Verdoppelung der Windgeschwindigkeit eine achtmal größere Schneeverfrachtung (GABL 1985).

Grundsätzlich muß zwischen Höhen- und Talwinden unterschieden werden (FLIRI 1975). Höhenwinde, die von der Reibung an der Erdoberfläche nur gering beeinflußt werden, sind vor allem für das Wettergeschehen verantwortlich. Ihre Beobachtung erfolgt über Radiosonden. Für Tirol ist jene von München bedeutend (FLIRI 1975). Daraus läßt sich eine vorherrschende Weststrømung ableiten.

AULITZKY (1961) stellte für Nordtirol aufgrund von Wächtenkartierungen die Hauptwindrichtung fest. Diese sind in der folgenden Abbildung dargestellt.

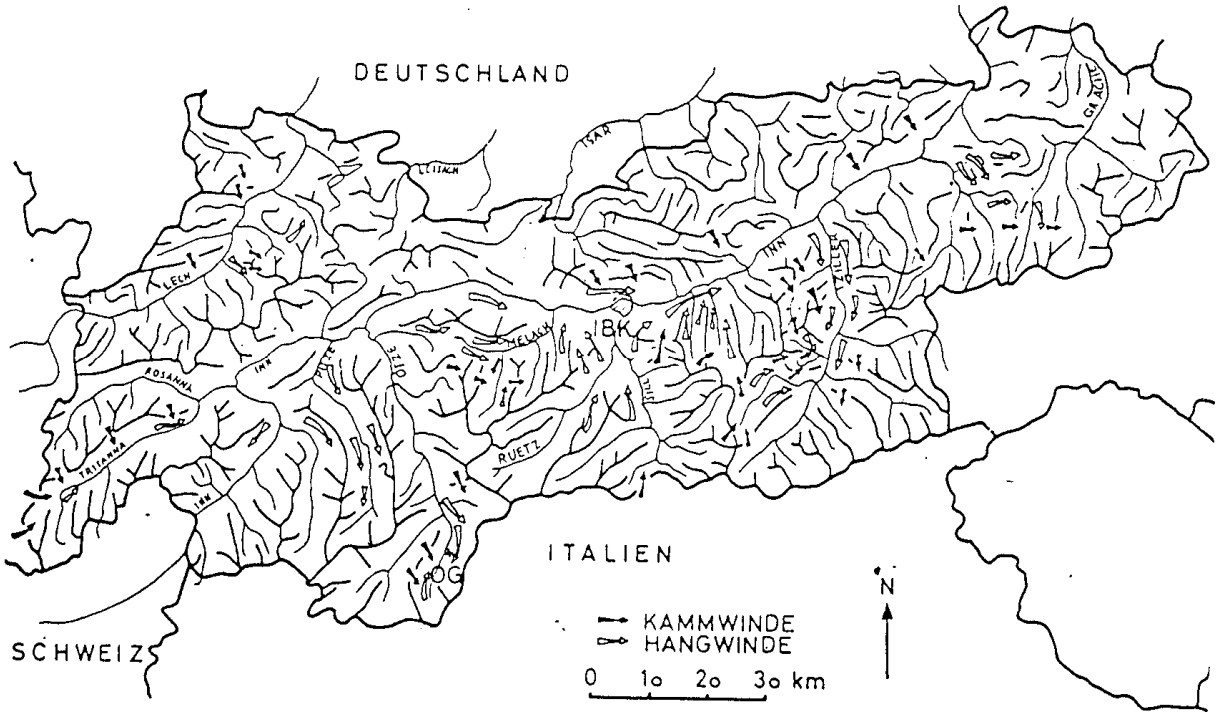


Abb. 2: Kamm- und Hangwinde in Nordtirol (AULITZKY 1961)

Entsprechend den reliefausgleichenden Winden unterscheidet man Kamm- und Hangwächten. Erstere kommen an den höchsten, dem nur gering abgelenkten Wind, ausgesetzten Geländeteilen vor, zweitere bilden sich kleinräumig im kupierten Gelände, beim sogenannten Hangausgleich. Das Unterrsuchungsgebiet ist zwar westseitig exponiert und daher eher im Luv, hinter den Rücken ergeben sich jedoch immer wieder kleinere Akkummulationsbereiche, während sich an den Osthängen des Hinterrendl größere Schneemengen ablagern.

Winterliche Niederschlagsverhältnisse:
Grundsätzlich kommen winterliche Niederschlagsformen vor allem aus westlicher Richtung (SW, W,NW). 77% der Niederschläge kommen von Westen. Die Großwetterlage setzt ein Hochdruckgebiet südlich der Alpen und ein ausgedehntes Zentraltief im Norden voraus, wobei maritime, warme Tropik- und Polarluft herangeführt wird. Der Kern des winterlichen Schlechtwettergebietes liegt im Bregenzerwald und in den Allgäuer Alpen, hier sind große Niederschlagsmengen zu verzeichnen (FLIRI 1962). Im Arlberggebiet machen sich Weststaulagen mit Extremniederschlägen bemerkbar. Eine solche Staulage führte auch im Jahre 1988 zu den bekannten Katastrophen in diesem Gebiet.
Als zweithäufigste Witterungslage wäre noch die Nordwestlage anzuführen (ca. 1/3 des Gesamtniederschlages): Das Niederschlagsmaximum der Nordwestlage ist im Winter. Ergiebige Schnee- und Regenfälle sind keine Seltenheit. Große Schneergiebigkeiten sind dann zu erwarten, wenn sich über der Biscaya ein Hochdruckgebiet und über dem gesamten Skandinavischen Raum ein Tiefdruckgebiet aufbaut. Durch die großen Temperaturunterschiede und die Feuchtigkeit, wobei polare Kaltluft auf subtropische Warmluftmassen trifft, gelangen Warmfronten bis tief in den Alpenraum und bewirken große Niederschlagsergiebigkeiten. Durch die enormen Druckunterschiede sind erhöhte Windverhältnisse und damit verbundene Schneeverfrachtungen zu erwarten.
Eine gänzlich andere Situation stellt der Südföhn dar, bei dem mit starkem Wind aus südlicher Richtung (verbunden mit Temperaturanstieg) und entsprechenden Schneeverfrachtungen zu rechnen ist.

Die Schneeverhältnisse werden mit folgenden Zahlen charakterisiert:

Schneedeckendauer	$\varnothing_{1980\text{-}1990}$=132,2 Tage/Jahr	
Schneehöhen auf präparierter Piste	$\varnothing_{1987\text{-}1997}$=109,5 cm	s_x=30,8 cm
Summe der Neuschneehöhen	$\varnothing_{1986\text{-}1996}$=329,2 cm	s_x=193,6 cm

Summe der NEUSCHNEEHÖHEN von 1986/87 bis 1996/97 in [cm]
laut Aufzeichnungen der Rendllifte

86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	∅	s_x
557	727	223	302	110	430	186	250	350	157	329,2	193,6

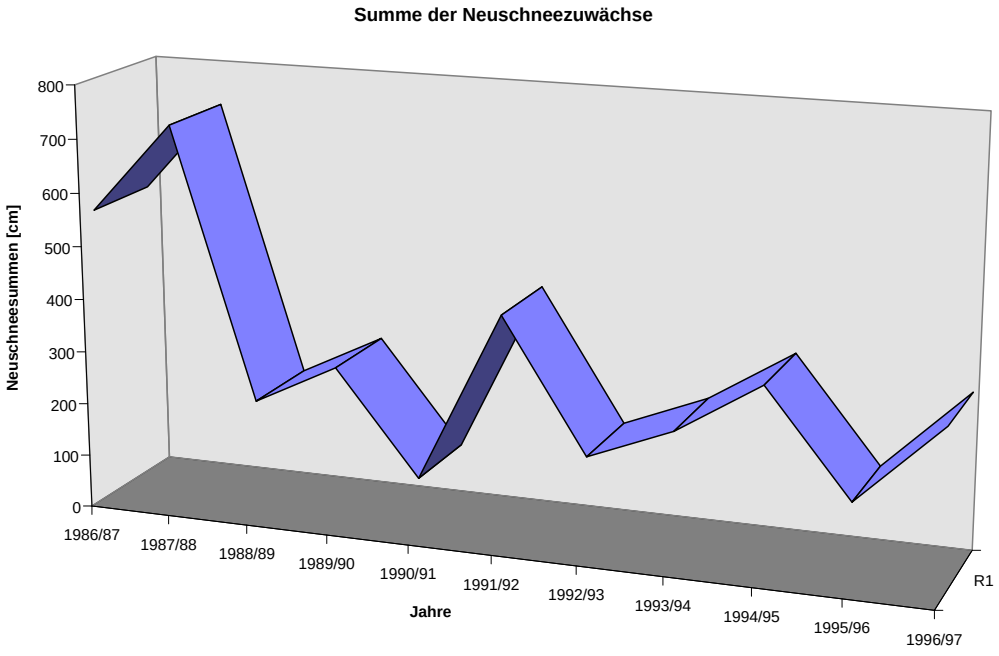


Abb. 3: Summe der Neuschneehöhen von 1986/87 bis 1996/97 in [cm]

SCHNEEHÖHEN auf präparierter Piste in [cm]
laut Aufzeichnungen der Rendllifte

Jahr	Dezember	Jänner	Februar	März	April
1997		95	80	130	140
1996	140	90	60	125	90
1995	40	130	150	200	190
1994	30	120	150	130	140
1993	90	90	120	130	130
1992	110	130	170	180	190
1991	140	80	90	50	30
1990	50	20	25	160	90
1989	30	65	60	85	70
1988	45	25	105	160	260
1987	30	190	160	180	210
$\varnothing_{1987\text{-}1997}$	**67.8**	**94.1**	**106.4**	**139.1**	**140.0**
s_x	**48.7**	**48.8**	**47.8**	**43.9**	**68.1**

1.3 Vegetation

Über einer Seehöhe von 2200 m sind vegetationslose Felsköpfe, Rinnen und Steilabstürze zu finden, während unterhalb dieser Bereiche Zwergsträucher und Rasengesellschaften und noch weiter unten teilweise Fichtenwald auftritt. Nach MAYER (1974) liegt das Gebiet im randlichen Wuchsbezirk des inneralpinen Fichtenwaldgebietes.

1.4 Geologie

Geologisch gesehen gehört das Gebiet der Rendllifte zur Verwallgruppe. Die Schiefergneise und Glimmerschiefer weisen ein Streichen von West nach Ost und ein mäßig steiles Einfallen nach Süden auf. Teilweise ist das Grundgestein durch Moränen von eiszeitlichen Lokalgletschern überdeckt.

1.5 Besiedlung

Das aus den drei Teilbereichen St. Anton, St. Jakob und St. Christoph bestehende Gemeindegebiet von St. Anton umfaßt 167 km^2, davon entfallen 2000 ha auf Wald und etwa 300 ha auf Siedlungsgebiet.
Den 2200 Einwohnern stehen ungefähr 8000 Fremdenbetten mit einer durchschnittlichen Auslastung von etwa 100 Tagen/Wintersaison gegenüber (ca. 800000 Nächtigungen pro Wintersaison).

2. Grundlagenerhebungen im Projektsgebiet Rendllifte

2.1 Liftanlagen und Skipisten

2.1.1. Erschließung

Das Schigebiet Moostal-Rendl wurde bereits 1974 durch die Rendlbahn, den Gampberglift und den Tobellift erschlossen. Eine Ausdehnung des Schigebietes Richtung Süden erfolgte durch den Bau des Massliftes 1975 und sowie des Übungsliftes 1979. 1988 kam es durch den Bau der beiden Riffelbahnen I und II auf die Riffelscharte nördlich der Vorderen Rendlspitze zu einer weiteren Ausweitung des Gebietes in südliche Richtung.
Die Abfahrt des Massliftes ist flach und wird daher von Anfängern gerne benutzt. Dem steht der relativ steile Schlepplift gegenüber, der ungeübten Schifahrern oft Probleme bereitet. Darum wäre der Ersatz dieses Schleppliftes durch einen Sessellift eine große Erleichterung. Dies ist allerdings bis jetzt durch die Anwendung des Lawinenerlasses gescheitert.

2.1.2. Liftanlagen im Gebiet Moostal-Rendl

Dieser Teilbereich des Skigebietes von St. Anton umfaßt insgesamt 7 Aufstiegshilfen, davon ist die Rendlbahn der einzige Zubringer ins eigentliche Schigebiet.

Lifte	**Rendl-bahn**	**Tobel-lift**	**Gamp-berglift**	**Mass-lift**	**Übungs-lift**	**Riffel-bahn I**	**Riffel-bahn II**
Baujahr	1974	1974	1973/74	1975	1979	1988	1988
Baufirma	Waagner-Biro	Doppel-mayr	Doppel-mayr	Doppel-mayr	Doppel-mayr	Doppel-mayr	Doppel-mayr
Type		CK 800 el	CK 940 el	CK 940 el	AP 470 k	2-CLF GPW 260	2-CLF GPW 235
Betriebslänge [m]	2231,10	590,00	1066,00	947,80	380,00	1100,00	750,00
Höhenunterschied [m]	717,70	262,00	406,00	344	94,00	543,50	351,75
mittlere Steigung [%]	32	44	38	36	25	50	47
Förderleistung [P/h]	1440	1208	1193	1215	1317	1436	1447
Fahrbetriebsmittel [Anzahl]	100	71	107	116	47	206	141
Fahrgeschwindigkeit [m/s]	3,50	3,10	3,55	3,20	2,80	2,40	2,40
Fahrzeit [min]	11,6	3,17	5,5	4,93	1,88	8,53	5,76

2.1.3. Frequenzen der Anlagen

Jahresfrequenzen der Anlagen seit ihrem Bestehen:

Seit dem Bestehen der Rendlbahn haben jährlich im Durchschnitt 164970 (Standardabweichung s_x=44229) Tagesgäste die Rendllifte besucht.

Anzahl der Bergfahrten pro Jahr seit Bestehen	Rendl-bahn	Gampberg-lift	Tobel-lift	Mass-lift	Übungs-lift	Riffel-bahn I	Riffel-bahn II
seit	1974	1974	1975	1975	1979	1988	1988
Summe der Bergfahrten	4857387	6660603	2037355	4003388	3534436	1413667	433990
Mittelwert	164970	302728	95867	190347	206337	175971	53854
Standardabweichung	44229	95313	37078	99867	42403	51221	12801

Mit dem Bau der Riffelbahnen 1988 sind die Frequenzen der anderen Lifte, im Speziellen die des Tobelliftes gesunken und es ist eine Verlagerung des Geschehens in Richtung Süden zu bemerken.

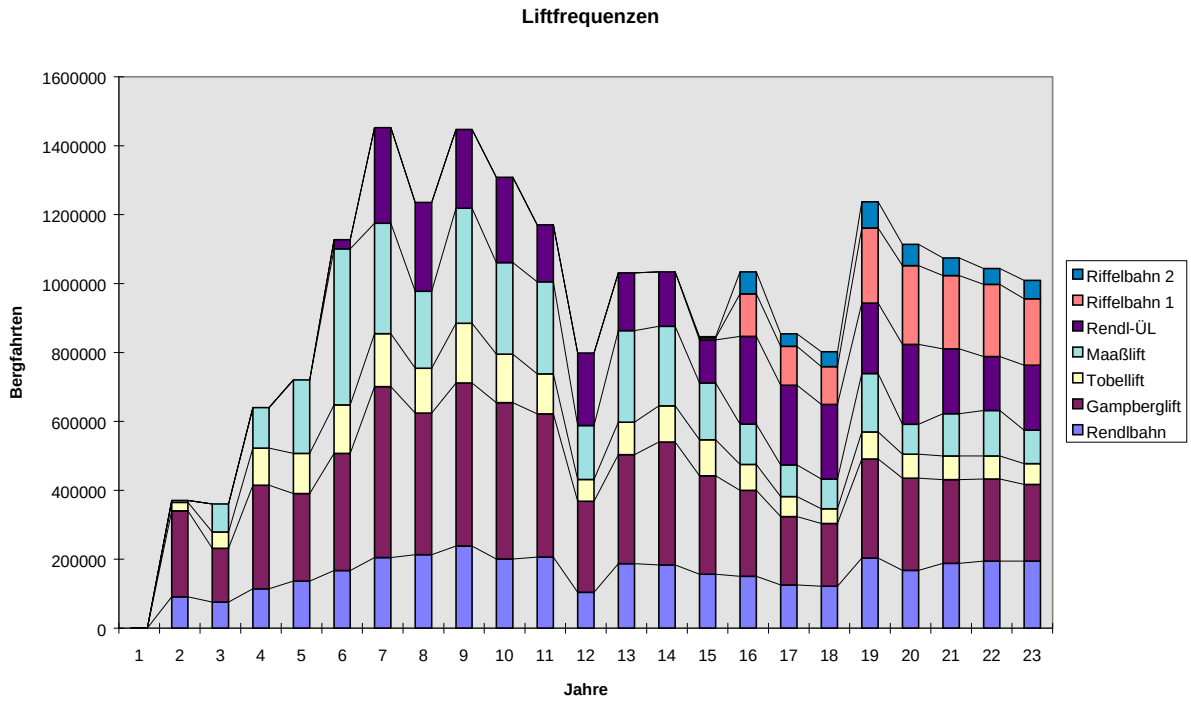


Abb. 4: Jahresfrequenzen der Lifte seit 1974

Tagesfrequenzen der Anlagen der letzten zwei Saisonen:

Diese Daten wurden aus den Betriebstagebüchern der Rendllifte entnommen.

Anzahl der Bergfahrten pro Tag 95/96 und 96/97	Rendl-bahn	Gamp-berglift	Tobel-lift	Mass-lift	Übungs-lift	Riffel-bahn I	Riffel-bahn II
Mittelwert	1676	1933	485	856	1545	1795	553
Standardabweichung	55,6	70,5	19,4	37,9	50,8	71,4	30,9

Der Gampberglift und die Riffelbahn I werden von den Besuchern offensichtlich am liebsten angenommen. Die große Anzahl der Bergfahrten am Übungslift ist wohl auch darauf zurückzuführen, daß er sehr kurz und sich im unmittelbaren Bereich des Restaurants befindet. Außerdem fungiert er als Zubringer zum Zentrum, der Bergstation der Rendlbahn, von der aus alle Anlagen zu erreichen sind. Der Masslift ist vermutlich deshalb relativ schlecht frequentiert, da eine gewisse Diskrepanz zwischen der leichten, für Anfänger geeigneten Abfahrt und dem schwierigen Schlepplift mit steilen Abschnitten und einer Kurve besteht. Die geringen Durchschnittstagesfrequenzen der Riffelbahn II erklären sich daraus, daß dieser Lift einerseits besonders bei ungünstigen Schneeverhältnissen nur für geübte Schifahrer geeignet ist, da die einzige Abfahrt eine Schiroute darstellt, die zum Teil unpräpariert ist und andererseits, daß die Anlage sehr windexponiert und aus diesem Grund oft außer Betrieb ist. Der Tobellift fungiert ebenfalls hauptsächlich als Zubringer zur Zentrale.

2.3. Pisten im Gebiet Moostal-Rendl

Der Rendl eignet sich aufgrund seiner breiten Pisten sowohl für den normalen Schifahrer und besonders nach Neuschneefällen für Variantenfahrer und Snowborder. Es gibt neben den Pisten noch mehrere Schirouten.

Bezeichnung		Schwierigkeit		Lage
R1	Standard	Piste	mittel	Talabfahrt
R1a	Standard	Piste	leicht	Talabfahrt-Variante
R2	Rendl	Piste	mittel	südlich des Gampbergliftes
R2a	Gampberg	Route		nördlich des Gampbergliftes
R3	Mass	Piste	mittel	knapp südlich des Mass- und Übungsliftes
R4	Salzböden	Piste	leicht	südlich des Mass- und Übungsliftes vorbei an der Talstation der Riffelbahn I
R5	Wannele	Route		nördlich des Gampbergliftes in Richtung Schimmeleck zur Talstation des Tobelliftes
R6	Rifflen	Route		zweigt von der Piste 2 südlich des Gampbergliftes ab und führt über den Kreuzungspunkt der Pisten 9 und 9a zur Piste 4
R7	Tobel	Piste	mittel	südlich des Tobelliftes
R8	Riffel Scharte	Route	extrem	im Bereich der Lifttrasse der Riffelbahn II
R9	Riffel I	Piste	mittel	im Bereich der Lifttrasse der Riffelbahn I

2.4. Zufahrts- und Abfahrtsmöglichkeiten

Die einzige Möglichkeit die Rendllifte zu erreichen stellt die Rendlbahn dar, die etwa 200 m westlich des Ortszentrums von St. Anton direkt vom Tal auf etwa 1300 m bis in eine Höhe von 2030 m führt. Von diesem Punkt sind sämtliche Liftanlagen (außer Riffelbahn Sektion II) erreichbar.
Als Abfahrtsmöglichkeit bietet sich neben der Möglichkeit die Rendlbahn zu benutzen noch eine mäßig steile Talabfahrt an, die sich von der Talstation des Tobelliftes durch fast zur Gänze bewaldetes Gebiet am Mittel- bis Unterhang des Gampberges nach Norden zieht und ebenso zur Talstation der Rendlbahn führt.

2.2. Lawinen

2.2.1. Lawinenabgänge

Lawinenabgänge im Bereich Moostal-Rendl

Die folgende Liste der Lawinenabgänge ist sicher nicht lückenlos, entspricht aber dem Stand der Aufzeichnungen, deren Qualität sich in den letzten Jahren stark verbessert hat.

Datum	Ort	Ursache	Auswirkung	Bemerkung
22.3.1997 ca. 10^{30}	Gampberg, Ostseite	1 Schifahrer	Schifahrer wurde nicht mitgerissen	freier Schiraum
22.3.1997 ca. 15^{00}	Gampberg, Ostseite	durch 2 Snowborder und 1 Schifahrer ausgelöst	1 Schwerverletzter wird mit Hubschrauber geborgen; Klimmer, Rofner, Strolz sind am Einsatzort.	freier Schiraum

Datum	Ort	Ursache	Auswirkung	Bemerkung
12.3.1997 ca. 17^{00}	Gandhang südlich der Werke	mit Pistenmaschine nach Regen losgefahren	Die Lawine geht bis auf die gesperrte Talabfahrt.	kontrollierte Auslösung am Abend
24.2.1997 ca. 15^{30}	Gampberg, Ostseite	durch Schifahrer ausgelöst (Spur)	Die Bergrettung St. Anton sucht mit 2 Lawinenhunden, keine Verschütteten	freier Schiraum
19.2.1997 ca. 16^{00}	Gampberg, Ostseite	Schifahrer	keine Folgen	freier Schiraum
16.2.1997 ca. 11^{45}	Gampberg, Ostseite	Schifahrer	keine Folgen, Suche mit Hund und Hubschrauber ist erfolglos.	freier Schiraum
5.1.1997 ca. 10^{30}	Gandhangrinne südlich der Werke	Snowborder	Suche mit Lawinenhund sowie Sondierungen sind erfolglos.	1 Ski gefunden, von Süden her eingeweht
4.1.1997	Hinterrendl, Hochkarspitz Westhang	Schifahrer, Kinder der Wienerin	Traxl Andrea wird mit einer Wienerin bis in Bauchhöhe verschüttet.	freier Schiraum
4.1.1997	Hinterrendl	selbst abgetreten	Schilehrer + Gast werden verschüttet.	freier Schiraum
25.4.1996	Riffelrinne	Naßschneelawine	Die Pisten bzw. Routen 6 und 9a werden teilweise verschüttet.	
20.4.1996	Riffelrinne	Naßschneelawine	Die Pisten bzw. Routen 6 und 9a werden teilweise verschüttet.	
10.4.1996 ca. 18^{00}	Große Rinne	Naßschneelawine	Die Lawine geht bis zum Kreuzungspunkt der Pisten 6 und 9a. Die Piste wird teilweise verschüttet.	abends
30.3.1996	Gampberglift, rechts oberhalb von Stütze 5 bis zur Stütze 4	Selbstauslösung	Die Lifttrasse wird auf 100 m verschüttet.	von Süden her eingeweht
26.3.1996 ca. 14^{30}	südlich des Tobelliftes	Naßschneerutsch vom Boden, Selbstauslösung	Die offene Route 7, wird teilweise verschüttet	
26.3.1996 ca. 13^{00}	nördlich der Stütze 2 der Rendlbahn	Selbstauslösung	keine	freier Schiraum in Pistennähe
26.3.1996 ca. 15^{00}	südlich der Talstation Tobellift, Zw. St. 2 u 3 Rendlbahn	Naßschneerutsch durch Schifahrer ausgelöst	offene Route 7 verschüttet	

Datum	Ort	Ursache	Auswirkung	Bemerkung
19.3.1996 ca. 14^{30}	südlich der unteren Werke südlich der Stütze 5 in der Mulde	Snowborder; Naßschneerutsch	Die Talabfahrt wird teilweise verschüttet, 2 m der Talabfahrts-breite bleiben übrig.	
19.3.1996 ca. 16^{30}	20 m südlicher von der Stütze 5	durch Lawinen-kommission abgetreten	Das nördliche Eck der Talabfahrt (5 m) wird verschüttet.	kontrollierte Auslösung
19.3.1996 ca. 17^{00}	nördlich der Stützwerke für Stütze 5 in der Waldschneise	abgesprengt	Die Lawine reicht 15 m in die Talabfahrt.	kontrollierte Auslösung, sehr warm
18.2.1996 ca. 12^{30}	Gampberg, Gstansböden	Schifahrer	1 Person wurde verschüttet, verletzt (Beinbruch), Hubschraubereinsatz	freier Schiraum
18.2.1996 ca. 14^{50}	Roßfall	Schifahrer	3 Personen wurden veschüttet, 2 davon konnten sich selbst befreien, 1 wurde verletzt ausgegraben (Armbruch), Hubschrauber-einsatz	freier Schiraum
28.12.1995 ca. 15^{00}	im Kar südlich der Riffelbahn II	durch Schifahrer ausgelöst	erfolglose Suche mit Hunden und Pieps	freier Schiraum
27.12.1995	Gampberg vorne Richtung Schimmeleck	durch Schifahrer abgetreten	wurde mitgerissen, konnte sich selbst befreien	freier Schiraum, Wannele war gesperrt
30.1.1994	westlich vom Schimmeleck Richtung Gstansböden	durch deutschen Schifahrer ausgelöst	konnte sich selbst befreien, erlitt leichte Verletzungen	freier Schiraum
27.01.1993	Klaustobel	Selbstauslösung	3 Skifahrer ins Tobel eingefahren, zwei davon konnten nur mehr tot geborben werden	freier Schiraum
22.02.1991	Hinterer Rendl	Selbstauslösung	3 Skifahrer wurden verletzt und mit Hubschrauber geborgen	freier Schiraum
17.02.1989	Gampberg Ostseite	Selbstauslösung	3 Skifahrer sind in eine steile Rinne eingefahren, 1 Toter und 1 Schwerverletzter	freier Schiraum
12.1989 vor Saison-beginn	Gandhang gesamt, nördlich, südlich und unterhalb der Werke	Selbstauslösung	Piste teilweise verschüttet	nach Regen bis in eine Höhe von 2200 m

Datum	Ort	Ursache	Auswirkung	Bemerkung
März.1989	Gandhang südlich und nördlich der Werke	Selbstauslösung Naßschneerutsche nach Regen	Piste teilweise verschüttet	
01.02.1988 12^{45}	Gampberggrat oberhalb Restauranthang	Auslösung durch Skilehrer	Skilehrer Falch Roman fuhr mit seiner Gruppe vom Gampberglift in südliche Richtung und löste unterhab des Gampberggrates eine Lawine aus, 3 Verschüttete, davon 2 tot geborgen	freier Schiraum
29.3.1988	Gampberggrat nördliche Rinne - vorbei an der Gaststätte in einer Schneise südlich des Klaustobels bis in den Moosbach	durch Hubschrauber-sprengung, beim letzten Schuß brach der ganze Bereich ab	Gaststube des Rendlrestaurant verschüttet, die Angestellten wurden jedoch vorher in den Keller geschickt, Übungslift Stütze 5, Maßlift Stütze 11 geknickt, Bergstation Maßlift über den Salzboden verstreut	kontrollierte Auslösung, innerhalb der vorangegangenen 10 Tage etwa 2 m Neuschnee; Abrißhöhe 2 m
13.3.1988	Wolfsgrubenlawine	Katastrophenlawine bis ins Tal von einem benachbarten Hang		freier Schiraum
12.3.1988	Klaustobel	durch Schifahrer ausgelöst	1 Toter	starker Schneefall mit Sturm
April.1980	nördlich der Riffelbahn II in der Höhe der Stützen 6, 7, 8	Schneebrett durch einen Schifahrer ausgelöst	keine	freier Schiraum
16.01.1977 ca. 13^{00}	unterhalb Millionenbühel	Auslösung durch Skilehrer	Ein Skilehrer fuhr über die Abfahrt hinaus und löste ein Schneebrett los, das ihn etwa 200 m bis in den Moosbach mitriß. Er konnte nur noch tot geborgen werden.	freier Schiraum
18.1.1976 ca. 13^{30}	Lahngang, nördlich vom Schimmeleck	durch eine Gruppe von Schifahrern unter Führung eines ortskundigen Schilehrers wurde eine Staublawine ausgelöst	Die Rennläuferin, Gertrud Gabl wird mitgerissen und getötet; Einsatz von Lawinenhunden, Hubschrauber sowie 80 Mann der Bergrettung	freier Schiraum, zu diesem Zeitpunkt waren sämtliche alpinen Schirouten im Gemeindegebiet gesperrt

Meteorologische Daten an Lawinentagen

Den Aufzeichnungen von HOLZKNECHT(1997) zufolge herrschten an Tagen mit großen Lawinenabgängen im Gebiet Arlberg im Zeitraum vom 1980 bis 1997 folgende meteorologische Bedingungen vor.

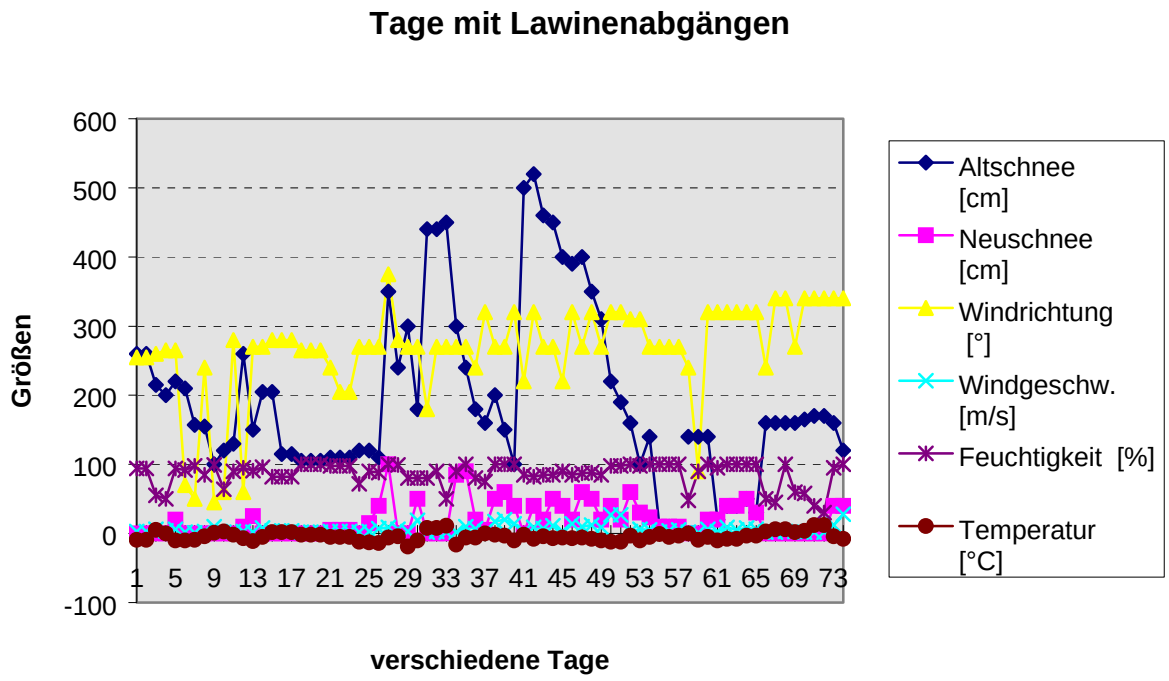


Abb. 5: meteorologische Daten an Tagen mit Lawinenabgängen nach HOLZKNECHT(1997)

Die Neuschneemengen beziehen sich dabei jedoch nur direkt auf die beobachteten Tage, die Schneefälle der Vortage sind hier nicht enthalten. Die vorherrschende Windrichtung ist in einer im Uhrzeigersinn von 0 im Norden bis 360 ° eingeteilten Rose gemessen, es zeichnet sich also an Tagen mit Lawinenabgängen eine deutliche NW-Strömung (270 °) ab.
Außerdem konnte für Tage mit großen Lawinenabgängen ein gewisser reziproker Zusammenhang zwischen hoher Luftfeuchtigkeit oder hoher Lufttemperatur beobachtet werden.

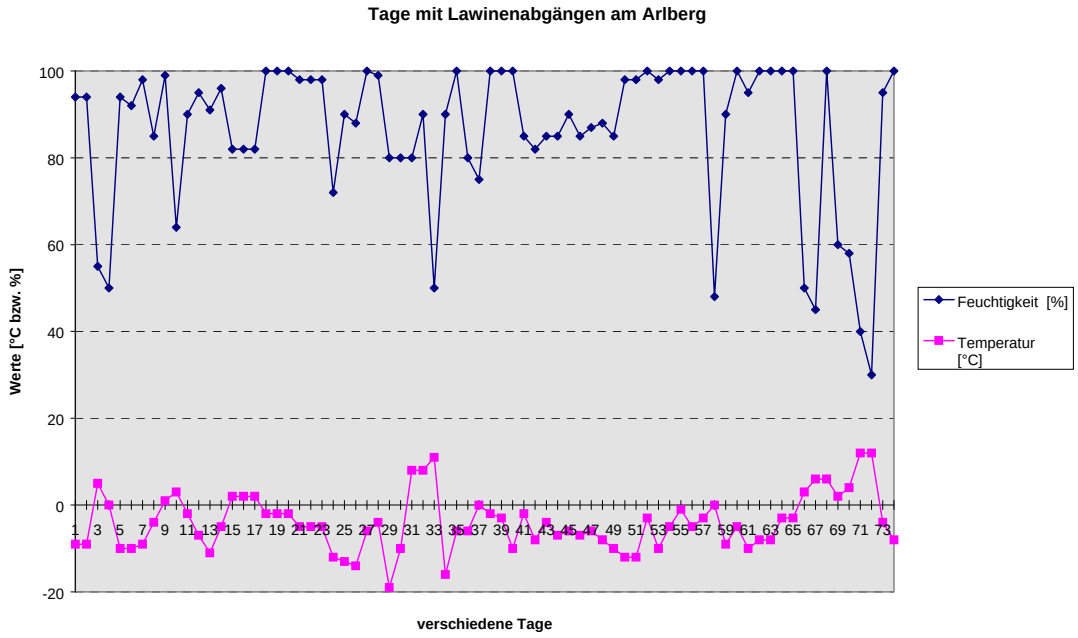


Abb. 6: Temperatur und Feuchtigkeit an Tagen mit Lawinenabgängen nach HOLZKNECHT(1997)

2.2.2. Tätigkeit der Lawinenkommission

Voraussetzung für das Funktionieren temporärer Lawinenschutzmaßnahmen ist die richtige Beurteilung der Lawinengefährdung. Die wichtigste Einrichtung zur Erfüllung dieser Aufgabe stellt die Lawinenkommission dar, deren Qualität sowohl hinsichtlich der Ausbildung und Erfahrung ihrer Mitglieder, als auch ihrer Organisation von größter Bedeutung ist.
Bis zum Jahr 1993 bestand die Lawinenkommission von St. Anton aus insgesamt etwa 30 Personen, wobei die Bergbahnen jeweils durch die Betriebsleiter vertreten waren.
Seit 1993 ist die Lawinenkommission neu organisiert, es befinden sich täglich mehrere Mitglieder der Lawinenkommission im Gelände und die Organisation arbeitet nun nach folgenden Gesichtspunkten:

2.2.2.1. Aufgaben

Aufgabe der Lawinenkommission ist es

1. den Bürgermeister im Sinne der §§ 3 und 4 des Katastrophen-Hilfsdienstgesetzes bei der Vorbereitung und Durchführung der Abwehr und der Bekämpfung von Lawinenkatastrophen zu beraten und zu unterstützen.
2. im Auftrag der Bezirkshauptmannschaft Landeck als Straßenpolizeibehörde sowie im Auftrag der Organe der Straßenaufsichten, des Straßenerhalters und der Feuerwehr im Zusammenhang mit der Anordnung von Verkehrsbeschränkungen infolge Lawinengefahr die Lawinensituation zu beurteilen.
3. auf Verlangen der Arlberger Bergbahnen AG, der Bergbahn AG St. Anton a. A., der Moostal Fremdenverkehrs-Ges.m.b.H & Co KG, der Schipisten ARGE Arlberg Ges.m.b.H., der Skilift Ges. m.b.H. St. Anton a. A. und des Tourismusverbandes St. Anton a. A. die Lawinensituation zu beurteilen.

2.2.2.2. Örtlicher Wirkungsbereich

Die Aufgabe der Lawinenkommission erstreckt sich auf das Gemeindegebiet von St.Anton am Arlberg.

2.2.2.3. Zusammensetzung

1. Für den Bereich der Straßen, Gemeindewege und Loipen besteht die Lawinenkommission aus dem Einsatzleiter und 4 weiteren Mitgliedern. Weiters sind Einsatzleiterstellvertreter und Ersatzmitglieder zu bestellen, welche die Mitglieder im Falle ihrer Verhinderung vertreten.
2. Für den Bereich Skipisten und Skirouten besteht die Lawinenkommission aus dem Einsatzleiter und zwei weiteren Mitgliedern, von denen eines, das für das zu beurteilende Gebiet zuständige Lawinenkommissionsmitglied einer der gemäß Punktes 2.2.2.1. Pkt. 3 angeführten Seilbahnunternehmen ist.

Die zu beurteilenden Gebiete gliedern sich in 3 Bereiche:

a) Galzig-Valluga-St.Christoph
b) Gampen-Kapall
c) Rendl

Weiters sind ein Einsatzleiter-Stellvertreter und Ersatzmitglieder zu bestellen, welche die Mitglieder im Falle einer Verhinderung vertreten.

2.2.2.4. Konstituierende Sitzung

Der Bürgermeister hat die Mitglieder der Lawinenkommission vor Aufnahme ihrer Tätigkeit im Herbst zu einer konstituierenden Sitzung einzuberufen. Bei dieser Sitzung werden die Arbeitsfähigkeit der Kommission und die Erreichbarkeit der Mitglieder überprüft, die Notwendigkeit etwaiger Änderungen in ihrer personellen Zusammensetzung festgestellt und die Mitglieder sowie deren allfällige Ersatzmänner namentlich festgehalten.

Weiters kann dem einzelnen Mitglied ein örtlicher Bereich zugewiesen werden, in dem es laufend die Schnee- und Wetterentwicklung unter Einbeziehung der Ergebnisse des Lawinenwarndienstes sowie allfällige Lawinenereignisse zu beobachten hat.

2.2.2.5. Einberufung der Mitglieder

1. Die Lawinenkommissionsmitglieder für den Bereich der Skipisten und Skirouten haben sich insbesondere bei Neuschneefällen oder starker Windeinwirkung während der Nacht zur Auffahrt mit der Seilbahn um 7.45 Uhr einzufinden und im Verhinderungsfall selbst dafür zu sorgen, daß das zuständige Ersatzmitglied erscheint. Sollten Zweifel über die Notwendigkeit der Beurteilung der Lawinensituation entstehen, haben die Kommissionsmitglieder mit dem Einsatzleiter Rücksprache zu halten, der dann darüber entscheidet, ob die Kommission einzuberufen ist. Zu diesem Zweck muß die Erreichbarkeit der Mitglieder in der Früh über Funk gegeben sein.
2. Für den Bereich der Straßen, Wege und Loipen erfolgt die Einberufung durch den Einsatzleiter. Bei Gefahr im Verzug hat jedoch jedes Mitglied von sich aus tätig zu werden.
3. Im übrigen ist die Lawinenkommission vom zuständigen Einsatzleiter jedenfalls dann einzuberufen, wenn
   a) der Bürgermeister die Lawinenkommission als Gemeindeeinsatzleitung um Beratung und Unterstützung ersucht;
   b) die Bezirkshauptmannschaft Landeck als Straßenpolizeibehörde, die Organe der Straßenaufsicht, des Straßenerhalters oder der Feuerwehr die Beurteilung der Lawinensituation beantragt,
   c) der Tourismusverband St.Anton a.A., die Arlberger Bergbahnen AG, die Bergbahn AG ST. Anton a.A, die Moostal Fremdenverkehrsges.m.b.H & Co KG, die Skilift Ges.m.b.H. St. Anton a. A, die Schipisten ARGE Arlberg Ges.m.b.H. bzw. deren Rechtsnachfolger um Beurteilung der Lawinensituation ersuchen;
   d) dies auch nur ein Kommissionsmitglied für notwendig erachtet.

2.2.2.6. Zustandekommen der Beschlüsse

1. Die Lawinenkommission für den Bereich Straßen, Gemeindewege und Loipen ist beschlußfähig, wenn die 4 oder 5 Mitglieder in direkter Beratung oder fernmündlich ihre Stimme abgeben.
2. Die Lawinenkommission für den Bereich Skipisten und Skirouten ist beschlußfähig, wenn die 3 Mitglieder in direkter Beratung oder fernmündlich ihre Stimme abgeben.
3. Bei Gefahr im Verzug kann, wenn eine ordnungsgemäße Einberufung im Sinne des Punktes 2.2.2.5. nicht mehr möglich ist, die Beschlußfassung unabhängig von der Zahl der anwesenden Mitglieder durch diese erfolgen.
4. Die Lawinenkommission schließt in jedem einzelnen Anlaß ihre Tätigkeit mit einem Sachverständigen-Vorschlag ab. Für den Vorschlag zur Abwehr von Lawinengefahr Straßen, Wegen, Loipen, Skipisten und Skirouten zu schließen, genügt bei ernstem Bedenken eine einzelne Stimme eines Kommissionsmitgliedes. Für den Vorschlag, nach Abwehr einer Lawinengefahr Straßen, Wege, Loipen, Skipisten und Skirouten wieder zu öffnen, ist die Einstimmigkeit der zuständigen Kommissionsmitglieder erforderlich. Im übrigen werden Sachverständigen-Vorschläge mit einfacher Stimmenmehrheit abgegeben.
5. Die Stimmen aller Kommissionsmitglieder haben gleiches Gewicht, auch die des Einsatzleiters. Stimmenthaltung ist unzulässig.

2.2.2.7. Protokollierung der Beschlüsse

Über das Zustandekommen der Beschlüsse der Lawinenkommission ist eine Niederschrift zu verfassen, in welcher insbesondere festzuhalten sind:

a) das Ergebnis der Beratung und der Sachverständigen-Vorschlag der Kommission;
b) die wesentlichen Gründe hiefür;
c) das Abstimmungsverhältnis.

2.2.2.8. Weitergabe der Beschlüsse

Die Lawinenkommission hat das Ergebnis ihrer Beratungen und der Sachverständigen-Vorschläge so rasch als möglich schriftlich, mündlich oder fernmündlich an den Ratnehmer weiterzugeben. Die mündliche oder fernmündliche Weitergabe ist in einem Aktenvermerk festzuhalten.

Im Bereich Rendl-Moostal werden die Aufgaben der Lawinenkommission zur Zeit von folgenden Mitgliedern wahrgenommen:

STROLZ Walter	Einsatzleiter der Lawinenkommission St. Anton; Bergführer
KLIMMER Martin	Staatlicher Schilehrer und Schiführer
ROFNER Harald	Bergführer; ehemaliger Rennläufer
KORBER Albert	langjähriger Mitarbeiter der Arlberger Bergbahnen im Gebiet Rendl-Moostal; Aufgabenbereich Lawinensprengungen
WOLF Julius	Pistenchef im Schigebiet Moostal-Rendl mit langjähriger Erfahrung im Gebiet

Noch bevor am Morgen die Lifte in Betrieb genommen werden, erfolgt die Beurteilung der Situation durch die Lawinenkommission, deren Mitglieder sich je nach Witterung oft den ganzen Tag im Gelände befinden und teilweise auch Empfehlungen für Lawinenauslösesprengungen abgeben.

2.2.3. Bestehende Lawinenschutzmaßnahmen

2.2.3.1. Permanente Lawinenschutzmaßnahmen

a) Anbruchsverbauung mit Stahlschneebrücken

Im Bereich nördlich des Gampberg- und des Tobelliftes bestehen zwei Anbruchsverbauungen (1. 2) zum Schutz der Talabfahrt und der Stütze 5 der Rendlbahn. Die Talstation der Riffelbahn I wird durch 3 Werke mit Zwischenbalken (3) und die Abfahrt im Bereich der Schibrücke durch 2 Werke (4) vor Schneerutschen gesichert.

Bereich:	Ort:	Ausdehnung:	Baujahr:
1	Gandhang	11 Werksreihen insg. 736 lfm	1988-1992 Fels- und Sprengtechnik
2	Stütze 5	7 Werksreihen insg. 116 lfm	1994 Fels- und Sprengtechnik
3	Riffelbahn I	1 Werksreihen insg. 32 lfm	1989
4	Schibrücke	1 Werksreihen insg. 10 lfm	

2.2.3.2. Temporäre Lawinenschutzmaßnahmen

a) Handsprengungen

Dabei werden vorrangig Lawinitladungen zu je 2,5 kg verwendet, die hier als Sicherung gegen Versager mit 2 Sprengkapseln versehen und mit etwa 40 cm langen Holzstäben gegen Abrollen gesichert werden.
Handsprengungen kommen vorangig im Kar südlich der Riffelbahn II bzw. im Bereich südlich zur Stütze 8 der Rendlbahn II zum Schutz der Schiroute 8 sowie unterhalb der Stütze 2 der Sprengseilbahn zur Sicherung der darunterliegenden Piste 9 vorgenommen.
Zur Sicherung der Talabfahrt werden im Bereich der Stütze 5 der Rendlbahn auch von der Gondel Sprengladungen abgeworfen.
Diese Arbeiten werden von der Lawinensprengbefugten der Rendllifte durchgeführt.

b) Hubschraubersprengungen

Nach extremen Schneefällen werden 2,5 kg Lawinitladungen, die mit zwei Sprengkapseln und zur Erleichterung der Wiederauffindung bei der Versagerbeseitigung mit einem RECCO versehen werden, vom Hubschrauber aus in die schwer erreichbaren Bereiche, vorrangig im Bereich des Kares südlich der Riffelbahn II, abgeworfen. Zusätzlich werden bei solchen Flügen je nach Möglichkeit die Nordosthänge der Vorderen Rendlspitze im Bereich der Einfahrt in den Hinterrendl (freier Schiraum)

mitgesprengt.

c) Sprengseilbahn

Seit 1988 gibt es oberhalb der Route 6 bzw. der Pisten 9 und 9a eine Sprengseilbahn mit 2700 m Seil. Fünf 6-9 m hohe Umlenkstützen und einem automatischem Zählwerk.Die Antriebseinrichtung hat 6.89 kW und die Nutzlast für das 12.5 mm starke Förderseil beträgt 100 N.

d) Einzelwurfeinrichtung (Lawinenpfeife)

Zur Verbesserung der Handsprengergebnisse wurde im Bereich Gandhang nordöstlich der Werksreihen 1996 eine Lawinenpfeife zur Erprobung aufgestellt. Durch Schwarzpulvertreibladungen kann eine Wurfweite für die 2,5 kg Lawinitladungen bis zu 200 m erzielt werden.

2.2.4. Chronologische Verbesserung der Lawinensicherheit im Gebiet Moostal-Rendl

ab 1975: Zu Beginn wurden vereinzelt Handsprengungen und nach extremen Schneefällen Hubschraubersprengungen mit jährlich steigender Häufigkeit durchgeführt, die in den letzten Jahren (seit der Umstrukturierung der Lawinenkommission) explosionsartig gestiegen sind.

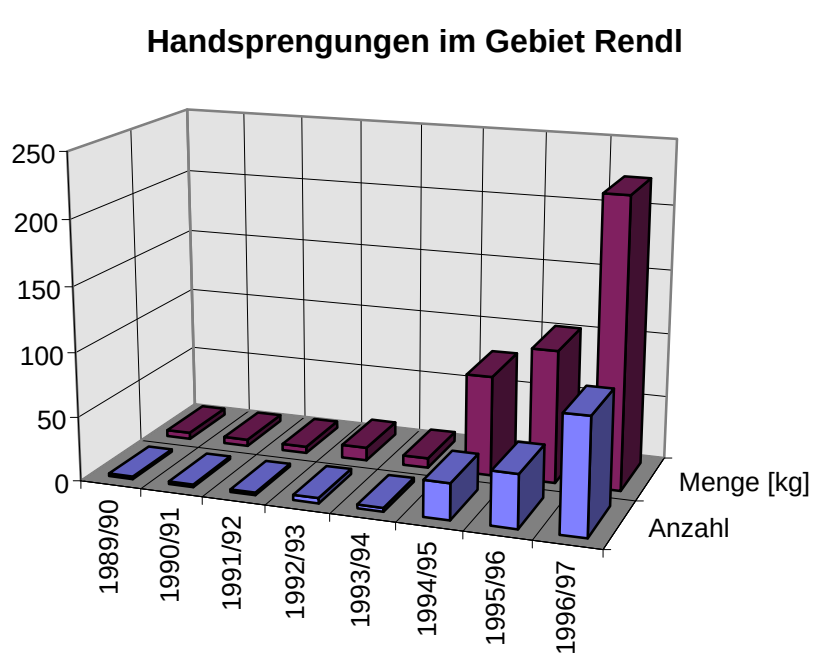


Abb. 7: Anzahl und Menge der Handsprengungen

Hubschraubersprengungen im Gebiet Rendl

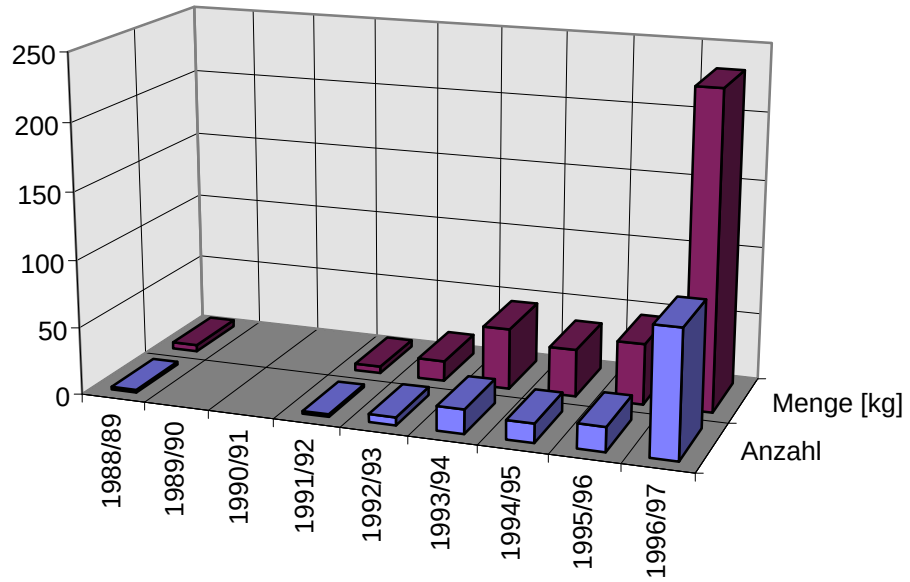


Abb. 8: Anzahl und Menge der Hubschraubersprengungen

ab 1988-1992: Errichtung einer Anbruchsverbauung am Gandhang mit 736 lfm Lawinenstützwerken in Stahl und im Bereich der Riffelbahn I-Talstation mit etwa 30 lfm Lawinenstützwerken in Stahl zum Schutz der Talabfahrt.

ab 1988: Errichtung einer Sprengseilbahn mit 2700 m Seil, mit der in 2 Strängen der Bereich oberhalb der Routen 6 und der Pisten 9 und 9a gesichert werden kann.

Sprengseilbahn im Gebiet Rendl

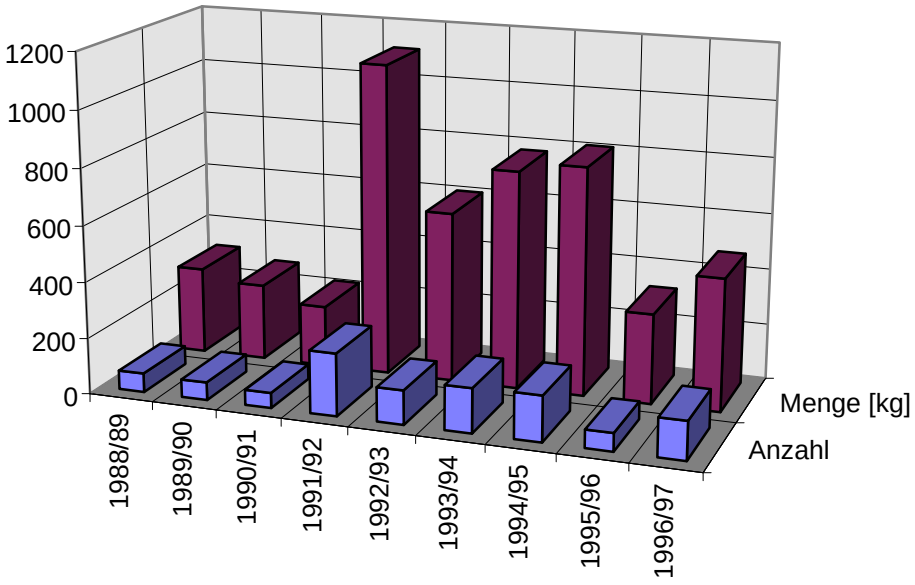


Abb. 9: Anzahl und Menge der Sprengungen mit der Sprengseilbahn

ab 1993: Umstrukturierung der Lawinenwarnkommission

ab 1994: Errichtung einer Anbruchsverbauung im Bereich der Stütze 5 der Rendlbahn mit 116 lfm Lawinenstützwerken in Stahl zum Schutz der Talabfahrt.

ab 1996: Errichtung einer Lawinenpfeife im Bereich Gandhang nordöstlich der Werksreihen (zur Erprobung) zum Schutz der Talabfahrt.

3. Berechnungen und Analysen

3.1. Geländemodellanalyse

3.1.1. Import der Datengrundlagen

Die Daten wurden von der Firma ECOSIGN/Whistler Mountain digitalisiert zur Verfügung gestellt. Der Import nach Arc/Info erfolgte durch ein in ACAD12 erzeugten DXF Datei. Dabei ergaben sich Probleme bei den Punktinformationen, da diese nicht den DXF Standard entsprechend als POINT sondern als INSERT-Feature abgespeichert wurden. Nach händischer Korrektur konnten aber alle für die Geländemodellgenerierung wichtigen Datenlayer importiert werden. Sie sind im Workspace anton1 folgend abgelegt:

Information	DGW-Layer	Dateiname	Dateityp
Punktinformation	DEM_SPOT	dem.gen	Punkt-Generate Datei für Arc/Info
	CTN_DEF		
	DEM_BRK_SHP		
	DEM_BRK_RND		
	HYD_RIVER		
positive Bruchkanten	DEM_BRK_RND	DEM_BRK_RND	Linien Coverage ohne Höheninformation
	DEM_BRK_SHP	DEM_BRK_SHP	
	GEO_MORAINE	GEO_MORAINE	
	RDS_GRAVEL	RDS_GRAVEL	
	RDS_PAVED	RDS_PAVED	
	RDS_VARIA	RDS_VARIA	
negative Bruchkanten	HYD_RIVER	HYD_RIVER	Linien Coverage ohne Höheninformation
	HYD_LAKE	HYD_LAKE	
	WALL_BASE	WALL_BASE	

3.1.2. Die Geländemodellberechnung

Da eine dichte, unregelmäßige Punktinformation mit regelmäßiger Bruchkanteninformation zur Verfügung steht, wurde das Geländemodell (DEM) durch den TIN-Algorithmus in Arc/Info erzeugt. Mit diesem Modul können 3-dimensionale Punktinformationen und 2-dimensionale Bruchkanteninformationen verarbeitet werden. In einem ersten Schritt wurde die 3-dimensioale Geländeinformation der gemessenen Punkte und Bruchkanten aus der DXF Datei als Punktinformation ausgelesen. Für diesen Vorgang wurde eine eigene Schnittstelle verwendet, welche die Geländepunkte als Arc/Info lesbares Generate Format abspeichert. In einem zweiten Schritt wurden alle Bruchkanten als Arc/Info-Coverages importiert.

Weiters wurden Clip Polygone definiert die das Geländemodell begrenzen. Diese Polygone umfassen:

DEM_CUT	gesamte gelieferte Geländeinformation
DEM_CUT1	nur das Bearbeitungsgebiet RENDL

Bei der Berechnung des TIN Geländemodells wurde für die Bruchkanteninformation eine minimale Vermaschungsdichte von 10 m und bei der Punktinformation ein minimaler Punktabstand von 2m definiert. Liegen Punkte innerhalb dieser Distanzen, so werden sie für die Berechnung nicht

herangezogen. Während der Berechnung erfolgt zuerst eine Dreiecksvermaschung der Punktinformation, danach werden die Bruchlinien in die Vermaschung eingerechnet. Abschließend wird der Geländeausschnitt entsprechend der Clip-Polygone definiert.

Der nächste Schritt ist die Umrechnung des TIN's in einen regelmäßigen Raster (Grid). Um dabei die Geländeform beizubehalten wurde eine quintische Interpolation verwendet. Dabei werden die Facetten der Vermaschung durch ein Polynom 5.Ordnung angeglichen. Dadurch werden unnatürliche Geländekanten (Vermaschungskanten) vermieden und natürliche Geländekanten entsprechend der Geländesituation berücksichtigt. Als Rasterauflösung wurden 10x10m gewählt, obwohl die Qualität des Schattierungsmodell eine kleinere Geländeauflösung möglich erscheinen läßt.

3.1.3. Bewertung des Geländemodells

Jedes Geländemodell ist mit gewissen Fehlern behaftet, welche sich aus Fehlern in der photogrammetrischen Auswertung, der Geländemodellberechnung und der Ableitung von Geländemodellparametern wie Neigung, Exposition oder Höhe ergeben. Um diese Fehler bewerten zu können wurde eine Monte Carlo Simulation durchgeführt. Prinzip dieser Simulation ist es, von den Ausgangsdaten (Geländepunkte und Bruchkanten) Kopien mit bewußt eingerechneten Fehlern zu erzeugen. Von diesen 100 fehlerbehafteten Datensätzen wird nun jeweils ein Geländemodell, Neigungsmodell und Expositionsmodell berechnet und die mittlere Abweichung der fehlerbehafteten Modelle von dem ursprünglichen Geländemodell berechnet.

Eingangsparameter für die Simulation:

Fehler der Geländemodellauswertung [m]	
maximaler Fehler	1.5m
durchschittlicher Fehler	0.7m

Ergebnis der Simulation:

	Geländemodell [m]	**Neigungsmodell [°]**	**Expositionsmodell [°]**
maximaler Fehler	1.003	3.148	32.143
durchschnittlicher Fehler	0.836	1.564	13.235
Die Fehler waren über das gesamte Gebiet gleichmäßig verteilt.			

Diese Fehlerabschätzung stellt eine wichtige Grundlage für die Abschätzung der Geländemodellauflösung und die minimal zulässige Klassengröße der Neigungs- und Expositionsmodelle dar.

Entsprechend dieser Bewertung wurde die Geländemodellauflösung von 10m beibehalten, für die Neigungsbewertung wurden folgende Grenzen gewählt:

Neigungsklasse	**Darstellung**	**Bemerkung**
0 - 8	grün	potentielle Auslaufbereiche
8 - 25	hellgrün	Verzögerungsbereiche
25 - 35	orangerot	potentielle Anbruchsbereiche
35 - 45	rot	potentielle Anbruchsbereiche
45 - 70	dunkelviolett	Schroffenbereiche mit häufiger Selbstentladung
70 - 90	blau	Felsregionen

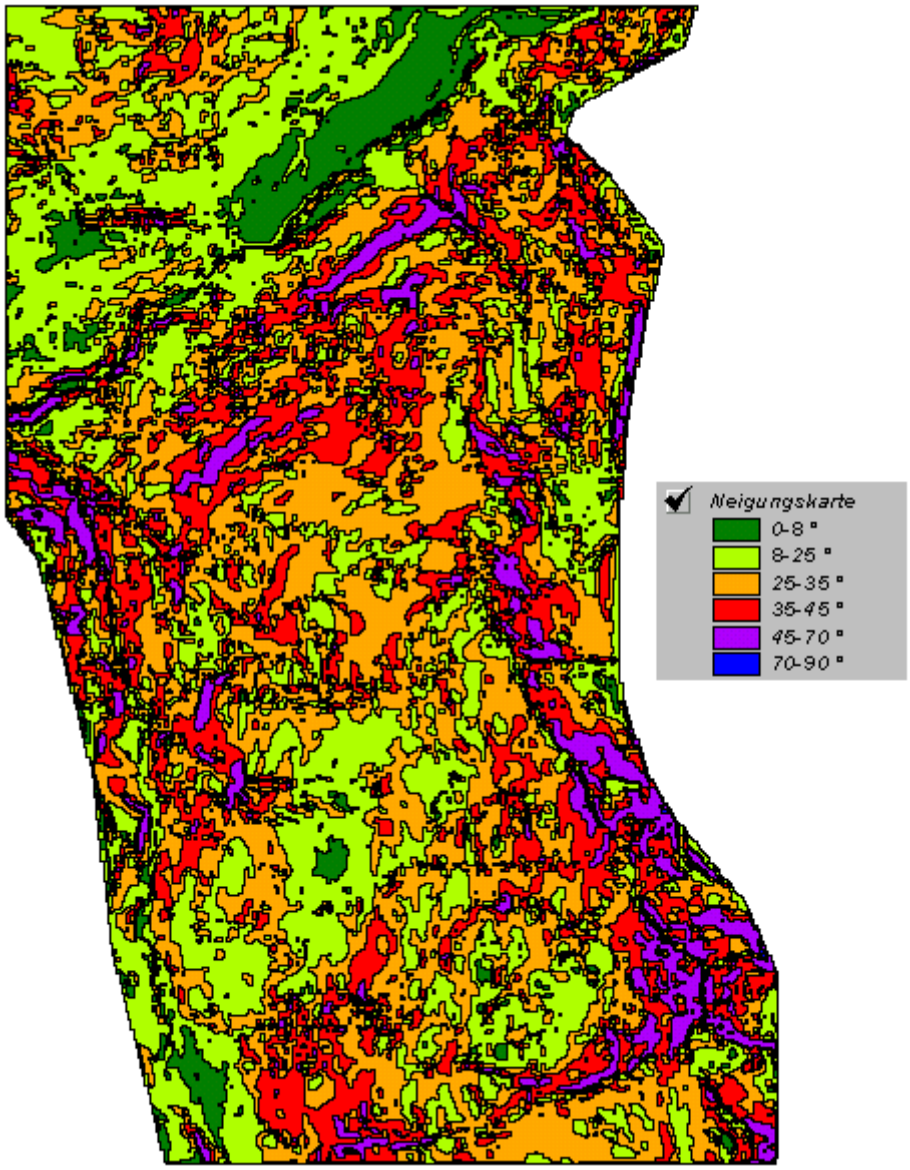


Abb. 10: Neigungskarte

3.2. Lawinenanalysen

3.2.1. Anbruchsgebiete:

Die Festlegung der Anbruchsgebiete erfolgte aufgrund einer Kartierung im Gelände unter Einbeziehung aller verfügbaren Erfahrungswerte in Form der vorhandenen Fotos und der Aussagen der ortsansässigen Lawinenkommissionsmitglieder bzw. Seilbahnbediensteten.

Digitales Geländemodell

Eine weitere Hilfe dabei stellte eine im GIS hergestellte Neigungskarte und die Darstellung sämtlicher vorhandener Linien- sowie Punktinformationen in Kombination mit dem Orthophoto und dem Höhenmodell dar. Zur besseren Vorstellung der Topographie eignen sich beispielsweise Beschattungsmodelle besonders gut, während für die genaue Abgrenzung und Lokalisiertung von Felspartien die Hinterlegung eines Orthophotos hinter andere Karteninhalte, wie zum Beispiel Höhenschichtlinien, sehr hilfreich ist.

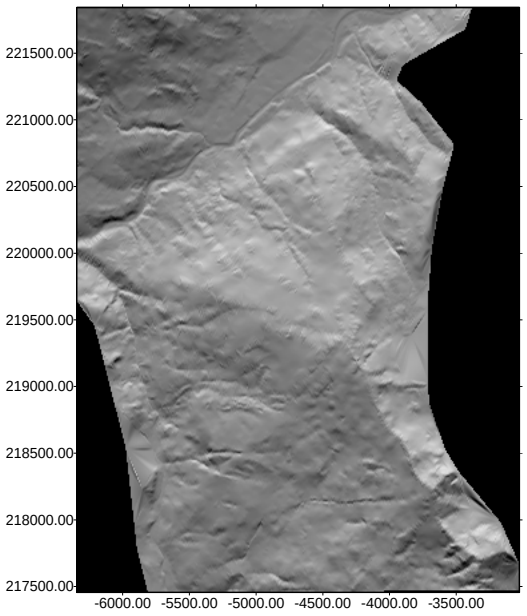


Abb. 11:Beschattungsmodell

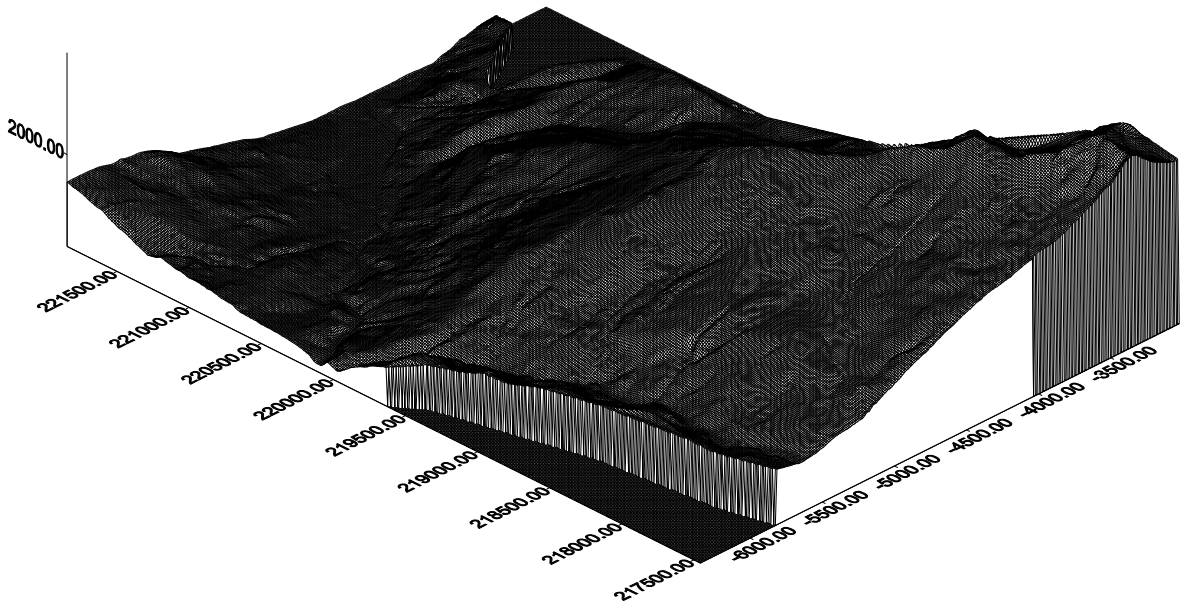


Abb. 12: digitales Geländemodell

Modellierung der Luv / Leebereiche

Weiters wurde auch versucht, die den beiden Hauptwindrichtungen entsprechenden Leebereiche mit dem Geoinformationssystem Arc/Info zu berechnen und darzustellen.

Unter Annahme der maßgebenden Hauptwindrichtungen NNW bzw. SSO wurde auf Basis des Geländemodells eine Berechnung der Leebereiche unternommen. Dieses einfache Modell scheidet Leebereiche auf Grund der Geländeexposition und der Hangneigung aus. Darüber hinaus ist die Überlagerung kleiner Leelagen durch die größeren der Kammlagen möglich. In einem weiteren Schritt ist geplant die Windgeschwindigkeit in unterschiedliche Höhenlagen sowie die Gelände bzw. Kammform zu berücksichtigen.

Leebereiche bei Wind aus Richtung NNW

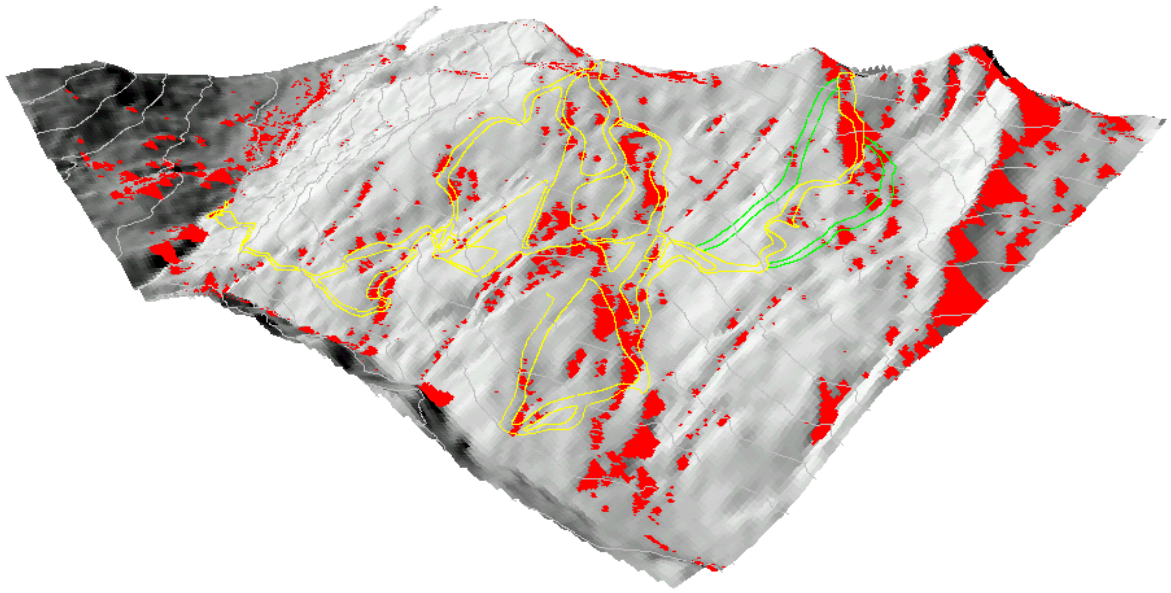


Abb. 13: dreidimensionale Darstellung des Gebietes mit den errechneten Leebereichen

Leebereiche bei Wind aus Richtung SSO

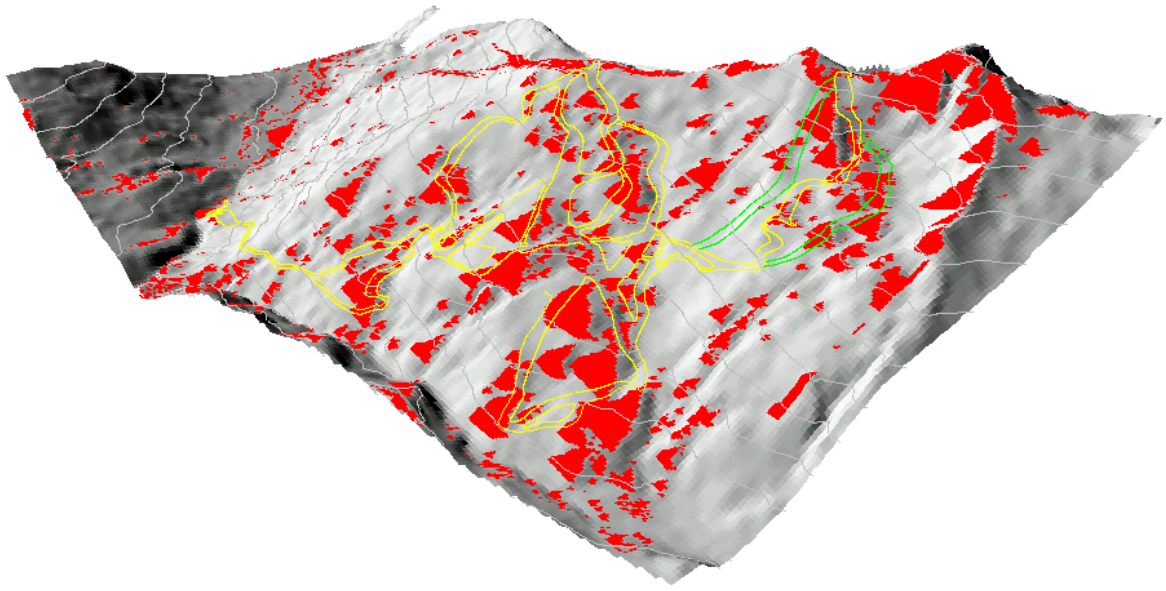


Abb. 14: dreidimensionale Darstellung des Gebietes mit den errechneten Leebereichen

Durch Überlagerung der Leebereiche mit den anbruchsgefährdeten Neigungen ist eine objektivere Festlegung der Anbruchsbereiche möglich.

3.2.2. Lawinenstriche:

Die grundsätzliche Festlegung der Lawinenstriche erfolgte ebenfalls aufgrund der Geländebegehungen und der Erfahrungswerte der Einheimischen, ebenfalls mit Unterstützung des digitalen Geländemodells und des Orthophotos.

Dabei wurden folgende Lawinenstriche ausgeschieden:

Nr.	Lage	Profil	Ort, Bemerkungen
1	Riffelkar	1a	Rinne knapp vor dem 1. Rücken südlich der Bergstation der Riffelbahn II
		1b	Rinne etwas südlicher der ersten, durch einen kleinen Felsrücken von dieser getrennt. Hier stimmt das Geländemodell nicht ganz, da die Lawine zuerst etwas mehr Richtung Süden geht, d.h. hier nicht in der Fallinie.
		1c	Rinne noch etwas weiter südlich, kleines Abbruchgebiet, da viele Felsen
		1d	Rinne noch etwas weiter südlich, kleines Abbruchgebiet, da viele Felsen
		1e	Bereich etwas weiter südöstlich, von hier kommt meist nur wenig Schnee, da das Anbruchsgebiet sehr felsig ist.
		1f	Bereich etwas weiter südöstlich, läuft ebenfalls in die Rinne 1e
		1g	Bereich etwas weiter südöstlich, läuft ebenfalls in die Rinne 1e
		1h	Bereich etwas weiter südöstlich, läuft ebenfalls in die Rinne 1e
2	Große Rinne	2	Bereich unterhalb der Stütze 2 der Sprengseilbahn, die obere Grenze ist etwa das obere Seil der Sprengseilbahn.
3	Sprengseilbahnrinne 1	3	südlich der Stütze 5 der Sprengseilbahn über die 3 „Gilfen“=Quererhebungen
4	Sprengseilbahnrinne 2	4	1. Rinne nördlich der Stütze 5 der Sprengseilbahn, Profil geht +/- gerade über die große Mulde in den Klaustobel
5	Sprengseilbahnrinne 3	5	2. Rinne nördlich der Stütze 5 der Sprengseilbahn, Profil geht +/- gerade über die große Mulde in den Klaustobel
6	Sprengseilbahnrinne 4	6	1. Rinne knapp südlich der Stütze 1 der Sprengseilbahn, Profil geht +/- gerade über die große Mulde in den Klaustobel
7	Sprengseilbahnrinne 5	7	Rinne nördlich der Stütze 1 der Sprengseilbahn, Profil geht +/- gerade über die große Mulde in den Klaustobel
8	Gandhang süd	8	Bereich knapp südlich der Werke
9	Gandhang nord	9	Bereich knapp nördlich der Werke
10	Stütze 5-Werke	10	Bereich unterhalb der Werke auf das Eck nach der flachen Querung der Lawinenstriche durch die Talabfahrt unmittelbar nach der Talstation des Tobelliftes
11	Stütze 5 Mulde	11	Bereich nördlich der Werksreihen knapp am Wald vorbei in die Mulde
12	Stütze 5 Millionenbichl	12	das Profil wurde über die südliche, steilere Rinne gelegt, obwohl sich die Lawine oberhalb des Rückens teilen kann und auch einen nördlichen Ast bilden kann
13	Roßtobel	13	das Anbruchgebiet beginnt in einer relativ kleinen Rinne knapp unterhalb einer Geländekante, wo Schnee eingeweht wird
14	Nordwesthanggrutsch	14	Waldlawine, Anbruchsgebiet unklar
13	Vordere Rendlspitze Nordhänge		freier Schiraum, kein Geländemodell mehr für diesen Bereich
14	Gampberggrat Osthänge		freier Schiraum, kein Geländemodell mehr für diesen Bereich
15	Schimmeleck Osthänge		freier Schiraum, kein Geländemodell mehr für diesen Bereich
16	Schimmeleck Nordhänge		freier Schiraum, kein Geländemodell mehr für diesen Bereich

3.2.3. Schneehöhen:

Falls zur Verhinderung der Lawinengefahr an technische Maßnahmen im Anbruchgebiet (Stützverbauung, Verwehungsverbauung) gedacht wird, ist eine genaue Kenntnis der dort herrschenden Schneeverhältnisse bzw. Schneehöhen unbedingte Voraussetzung zur Wahl der richtigen Werkstypen. Für andere Maßnahmen, wie beispielsweise einen Auffangdamm, ist wiederum der Neuschneezuwachs in Extremwintern von größter Bedeutung.

Schneehöhenbestimmung nach HÖLLER (1987)

Dies stellt eine einfache Möglichkeit dar, mit Hilfe von zwei Funktionen die Schneehöhe in jeder beliebigen Seehöhe zu ermittteln. Der Faktor f berücksichtigt dabei die Lage des betreffenden Standortes (Luv-, Leelage; Rand-, Inneralpen).

für: 200≤y≤1000 $$x = \frac{21{,}5}{(\ln f)^{1{,}12}} * \left[\sin\left(0{,}225 * y - 135\right) + 1\right] + 23$$

für: Y>1000 $$x = \frac{43}{(\ln f)^{1{,}12}} + 23 + \frac{40}{f} * \left(- f + \sqrt{f^2 + \frac{f}{2} * \left(\frac{v - 1000}{100}\right)^2} \right)$$

wobei:

x	Schneehöhe	[cm]	
v	Seehöhe	[cm]	=2500
f	Faktor zur Charakterisierung des speziellen Standortes (f=4⇒schneearme Gebiete; f=1,5⇒schneereiche Gebiete)		=2,0

Für den Faktor f wurde im Falle des Moostales 2,0 gewählt, da das Gebiet Arlberg im allgemeinen im Bereich der Nordstaulagen besonders schneereich ist, das Gebiet Moostal-Rendl im Vergleich zum Schigebiet nördlich der Rosanna jedoch bedeutend geringere Schneemengen aufweist. Für die Rendllifte mit einer Seehöhe von 2500 m ergibt sich daher eine durchschnittliche maximale Schneehöhe von **251,8** bis **418,3 cm.**

Schneehöhenberechnung nach LAUSCHER (1970)

Aus 927 langjährigen Durchschnittswerten der größten Schneehöhe des Winters konnte eine einfache Berechnungsmethode für die Ermittlung der durchschnittlich größten Schneehöhen aus dem Jahresniederschlag N [cm] und der Seehöhe [m] abgeleitet werden.

S=N*F(H)*f(N)

S	durchschnittlich größten Schneehöhen	[cm]
N	Jahresniederschlag	[cm]
F(H)	Faktor in Abhängigkeit von der Höhe	
f(N)	Faktor in Abhängigkeit vom Jahresniederschlag	

Der durchschnittliche Jahresniederschlag bei der Station St. Anton beträgt 1119 mm und die mittlere Seehöhe des Untersuchungsgebietes ist ungefähr 2300 m.

H [m]	0	200	400	600	800	1000		
F(H)	0,22	0,26	0,32	0,42	0,54	0,67		
H [m]		1200	1400	1600	1800	2000		
F(H)		0,82	0,99	1,17	1,38	1,60		
H [m]		2200	2400	2600	2800	3000		
F(H)		1,82	2,04	2,24	2,42	2,60		
H [m]		3200	3400	3600	3800	4000		
F(H)		2,76	2,92	3,06	3,20	3,30		

N [cm]	50	60	70	80	90	100	110	120
f(N)	1,36	1,23	1,13	1,05	1,03	1,01	1,0	0,99
N [cm]	130	140	150	160	170	180	190	200
f(N)	0,99	0,99	0,99	0,98	0,98	0,97	0,95	0,95
N [cm]	210	220	230	240	250 bis 300			
f(N)	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94		

Tabelle: Faktoren zur Berechnung der durchschnittlichen größten Schneehöhe des Winters aus dem Jahresniederschlag nach LAUSCHER (1970)

Das ergibt eine durchschnittlich größten Schneehöhe von S=112*1,93*0,99=**213,95 cm**.

LAUSCHER (1970) stellt außerdem ein Diagramm zur Abschätzung extremer Schneehöhen auf, welches in Abhängigkeit von S (=durchschnittlich größte Schneehöhe) den Wert S_{max} (=maximale Schneehöhe) liefert.

S	20	50	100	150	200	214
S_{max}	54	120	208	288	336	348

Die maximale Schneehöhe beträgt also in unserem Fall nach LAUSCHER (1970) 348 cm

Pegelablesungen

Im allgemeinen bieten Schneepegel eine ausgezeichnete Möglichkeit der Schneehöhenabschätzung im Gelände. Im benachbarten Einzugsgebiet Stockibachtal wurden in den Wintern 1994/95 und 1995/96 etwa auf vergleichbarer Seehöhe Schneepegel installiert und beobachtet. Dabei ergaben sich **280** und **320 cm** als Durchschnittswerte und **500 cm** Schneehöhe als Maximalwert.

Sondierungen und Schneeprofile

Zur Zeit der größten beobachteten Schneemächtigkeit im März und April 1997 wurden Begehungen durchgeführt und dabei die Schneehöhen im Bereich der Sprengseilbahn durch Sondierungen ermittelt. Außerdem wurden im Kar südlich der Bergstation Riffelbahn I Schneeprofile gegraben und Rutschblocktests gemacht. Die mittlere Schneehöhe betrug demnach **213 cm** (Standardabweichung 49 cm).

Vergleich der Ergebnisse

Methode	mittlere maximale Schneehöhe [cm]	Extreme Schneehöhe [cm]
HÖLLER	252 bis 418	
LAUSCHER	214	348
PEGEL	300 (max. 500)	
SONDE	213	

Tabelle: Vergleich von Schneehöhen

Die extremen Schneehöhen H_{ext} an den Werksstandorten sind maßgebend für die Dimensionierung einer Anbruchsverbauung, geben aber keinen direkten Aufschluß über die Anrißmächtigkeiten der Lawinen. Dafür sind die Neuschneemengen viel entscheidender.

Summe der NEUSCHNEEHÖHEN von 1986/87 bis 1996/97 in [cm]

86/87	87/88	88/89	89/90	90/91	91/92	92/93	93/94	94/95	95/96	∅	sx
557	727	223	302	110	430	186	250	350	157	329,2	193,6

Für Naßschneelawinen im Frühjahr, wenn die Schneedecke über ihre gesamte Höhe umgeformt ist und überall etwa 0°C hat, ist die Schneemächtigkeit jedoch von größter Bedeutung. Bei großen Schneemengen ist bei den oben genannten instabilen Verhältnissen, auch eine oberflächliche Harschschichte von einigen Zentimetern Stärke, die durch die nächtliche Ausstrahlung entsteht, nicht mehr in der Lage die Schneedecke zu stabilisieren. Das heißt, solche Lawinen können zu jedem Zeitpunkt abbrechen. Das wird in den Aufzeichnungen von STROLZ (1997) bestätigt, der Lawinenabgänge am Arlberg mit Temperatur und Strahlungsdaten verglich und feststellte, daß Naßschneelawinen auch in der Nacht bei Temperaturen unter 0 °C losbrechen.

SCHNEEHÖHEN auf präparierter Piste in [cm]

Jahr	Dezember	Jänner	Februar	März	April
$\varnothing_{1987\text{-}1997}$	**67.8**	**94.1**	**106.4**	**139.1**	**140.0**
s_x	**48.7**	**48.8**	**47.8**	**43.9**	**68.1**

3.2.4. Lawinenberechnungsmodelle:

a) Berechnung des Pauschalgefälles nach LIED/BAKKEHOI

THEORIE

Hierbei handelt es sich um ein rein statistischen Modell. Die Schwierigkeiten, physikalisch orientierte Lawinenmodelle mit Daten aus der Natur zu kalibrieren, veranlaßten LIED/BAKKEHOI (1980) ein Modell zu entwickeln, das ausschließlich auf der statistischen Analyse eindeutig nachvollziehbarer topographischer Parameter basiert. Folgende Parameter gehen in die Berechnung der Auslauflänge ein:

- Neigung des Anbruchsgebietes
- mittleres Gefälle der Sturzbahn
- Sturzhöhe
- Längsprofil (ausgedrückt durch die 2. Ableitung der Ausgleichsparabel)

Derartige Analysen erfolgten bis heute für Norwegen, Kanada und Amerika und Österreich.

Für die Gefahrenzonenplanung besitzen die statistischen Verfahren große Bedeutung, da sie auf einem Vergleich tatsächlich abgegangener Lawinen beruhen. In der Praxis zeigen sich nach KLEEMAYR jedoch gewisse Probleme :

- Ausscheidung der Gefahrenzonen auf Katasterebene wird nur schlecht unterstützt.
- Für Lawinenstriche, deren Form stark von der „durchschnittlichen“ Form des Modells abweicht, ist auch die Auslaufprognose mit einem nicht definierbaren Fehler behaftet.
- Viele Untersuchungen zeigen eine Abhängigkeit der Auslauflänge von der Masse des Ereignisses.

Dieses Modell zur Berechnung von Lawinenauslaufstrecken basiert auf topographischen Parametern. Da die Bestimmung der verschiedenen Eingangsparameter immer mit Ungenauigkeiten behaftet sein können, kann keine exakte Berechnung der Auslaufstrecken durchgeführt werden. Aus diesem Grund versuchten LIED/BAKKEHOI (1980) eine wahrscheinlichkeitstheoretische Annäherung durch die Entwicklung einer Gleichung, in die nur objektiv bestimmbare topographische Parameter eingehen.

Von 111 Lawinenbahnen wurde mit 8 Geländekennwerten eine Reggressionsanalyse durchgeführt.

Die 8 Geländekennwerte lauten:

1. Mittleres Gefälle der Lawinenbahn [°] α
2. Neigung des Anbruchgebietes [°] ψ
3. Mittleres Gefälle der Sturzbahn [°] β
4. Sturzhöhe [m] H
5. Längsprofil der Lawinenbahn, ausgedrückt durch die 2 Ableitung $y''=2*a$ einer quadratischen Parabel der Form $y = a*x^2 + c$ y''
6. Kanalisierung
- größte Anbruchbreite [m] R_{max}
- kleinste Sturzbahnbreite [m] T_{min}
- größte Ablagerungsbreite am unteren Ende in [m] D_{max}

Aus 26 unabhängigen Kombinationen dieser Parameter konnten die besten 4 ausgewählt werden: y'', ψ, H, und β

Daraus wurde die Formel

$\alpha = 0.62 * \beta + 19 * H * y'' - 0.29 * H * y'' * \beta + 0.12 * \psi - 2.3°$ entwickelt, und zwar mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.95 und einer Standardabweichung von 2.3°.

Der Winkel α beschreibt das mittlere Gefälle der Lawinenbahn. Er wird von der Horizontalen die die oberste Anrißkante schneidet nach unten hin abgetragen. An dem Punkt wo die Gerade das

Längssprofil schneidet, befindet sich die max. Auslauflänge. Damit wird also beschrieben, wie weit ein Ereignis im Katastrophenfall gehen kann.
Hierbei liegt eine Fehlerquelle vor, da nicht die Massenschwerpunkte der Lawine miteinander verbunden werden. Da man aber bei der Bestimmung der Massenschwerpunkte in der Praxis auf Schwierigkeiten stößt wurde diese Unsicherheit in Kauf genommen und mit dem oben genannten Verfahren weitergearbeitet.

Das Ausgangsmodell wurde von BAKKEHOI et al. (1983) durch Nachrechnung von 206 norwegischen Lawinen verbessert.
Ausgehend von der Gleichung

$y = a * x^2 + b * x + c$ die das Längsprofil beschreibt wurde eine neue Formel für α gefunden:

$$\alpha = 0.92 * \beta - 0.00079 * H + 0.024 * H * y'' * \psi + 0.04$$

und zwar mit einem Korrelationskoeffizienten von 0.92 und einer Standardabweichung von 2.28°.

Anwendung in Österreich:
Auf Basis dieses Modelles wurden in Österreich von LIED et. al. (1994) 80 ausgewählte Lawinen genauer untersucht. Die Mehrheit dieser Lawinen, von denen die Extremereignisse der letzten 100 Jahre dokumentiert sind, befinden sich in den Bundesländern Vorarlberg, Tirol, Salzburg und Kärnten.
Aus den Untersuchungen ergaben sich drei neue Berechnungsmöglichkeiten für α, klassifiziert nach Größe der mittleren Sturzbahnneigung β:

für $\beta < 25°$ $\alpha = 0.98*\beta-0.33*10^{-4}*y''-0.6*10^{-3}*H*y''+0.21*10^{-4}*H*y''*\Psi+0.79°$
S = 0.53°, R = 0.96
für $25° \leq \beta < 30°$ $\alpha = 1.22*\beta-0.32*\Psi-0.16*10^{-4}*H*y''*\beta+0.12*10^{-4}*H*y''*\Psi+2.83°$
S = 1.10°, R = 0.77
für $\beta \geq 30°$ $\alpha = 0.92*\beta-0.1*10^{-3}*H*y''-2.8*L_1/L_2+0.22*10^{-5}*H*y''*\beta+2.13$
S = 1.40°, R = 0.95
Für alle β gilt die Formel:

$\alpha = 0.97*\beta-0.7*10^{-1}*\Psi-0.32*10^{-1}*y''+0.6*10^{-6}*H*y''*\Psi+1.54°$
S = 1.3°, R = 0.97

ANWENDUNG

Für die Lawinen am Rendl wurden aus dem Geländemodell Längsprofile erstellt und die Ausgleichsparabel mittels einem von PLATZER/SIMMA (1996) erstellten Programm iterativ berechnet:
Eingangsdaten: siehe Anhang
Die Endresultate sind die Pauschalgefälle für die verschiedenen Lawinenstriche.

Profil	Neigung der Anbruchs-gebiete mit DH=150 m	Neigung der Anbruchs-gebiete angepaßt	**Profil**	Neigung der Anbruchs-gebiete mit DH=150 m	Neigung der Anbruchs-gebiete angepaßt
P-1a	33,12	33,12	P-6	28,89	29,19
P-1b	31,70	31,70	P-7	22,77	22,24
P-1c	33,14	33,14	P-8	25,42	25,42
P-1d	32,35	32,35	P-9	25,68	25,68
P-1e	44,35	44,35	P-10	29,34	28,98
P-1f	31,32	31,32	P-11	30,60	30,60
P-1g	29,41	29,41	P-12	29,49	29,19
P-1h	24,35	28,80	P-13	27,92	27,71
P-2	26,57	26,57	P-14	32,22	32,04
P-3	26,36	25,97	Summe	*647.29*	*648.75*
P-4	25,50	24,60	Mittelwert	**29.42**	**29.49**
P-4a	26,77	26,35	Standard	**4.47**	**4.44**
P-5	30,02	30,02			

b) Berechnung der Lawinenauslauflängen nach VOELLMY/GUBLER

THEORIE

Dieses nicht mehr rein statistische, heute vielfach verwendete Modell geht auf einen Berechnungsvorschlag von VOELLMY (1955) zurück. Die ursprüngliche Methode wurde mehrfach verbessert, ergänzt und kalibriert (u. a. durch SALM&BURKHARD&GUBLER 1990) und besitzt heute die Form $v^2 = d\xi(\sin\psi - \mu\cos\psi)\left(1 - e^{-\frac{2gx}{d\xi}}\right)$ mit $r = \mu\cos\psi + \frac{1}{\xi d}v^2$ als Widerstandsterm.

Damit kann auch die instationäre Bewegung der Lawine z.B. im Anrißgebiet berechnet werden (GUBLER 1995). Für die Parameter von μ und ξ werden vom EISLF Werte vorgeschlagen, die sich in der Schweiz bewährt haben.

Voellmy (1955) leitete aus der Chezy Gleichung (Berechnug der Geschwindigkeit einer gleichförmigen stationären Strömung in offenen Gerinnnen) eine Formel für die Berechnung der Geschwindigkeit von Fließlawinen ab. Diese Formel enthält zusätzlich einen Term der die trockene Reibung berücksichtigt.

Chezy Gleichung:

$$v = c * (R * J)^{0,5}$$

Nach Voellmy modifizierte Chezy Gleichung:

$$v = \sqrt{\xi * R(\sin\psi - \mu * \cos\psi}$$ für Runsenlawine

v...mittlere Geschwindigkeit
ξ...Faktor der turbulenten Reibung
μ...Reibungskoeffizient
ψ...Hangneigung
R...hydraulischer Radius =A/U
A..Durchflußquerschnitt
U..benetzter Umfang
d...Fließhöhe =Q/B
Q...Durchflußmenge
B...Breite der Lawine

Eingangsgrößen

Die wichtigsten Größen für die Berechnung der Lawinenauslauflänge sind:

- mittlere Anrißmächtigkeit d_0
- Faktor der turbulenten Reibung ξ
- Reibungskoeffizient μ

Methodik:

- Bestimmung der Durchflußmenge Q am unteren Ende der Anrißzone
- Geschwindigkeit und Fließhöhe am Anfang und am Ende der Auslaufstrecke v_p und d_p
- Berechnung der Auslauflänge s

Bei bestehenden Verbauungen (Ablenkdämme, Lawinenkegel) Berechnung der Geschwindigkeits- und Fließhöhe für den betreffenden Abschnitt der Sturzbahn .

Definitionen für die Koeffizienten μ und ξ nach Salm et. al. (1990):

„Die zwischen bewegten Schneeschollen und Bodenrauhigkeit auftretenden Stöße bewirken einen Verlust an kinetischer Energie, welche proportional zum Geschwindikeitsquadrat ist. Der Faktor ξ hängt also vorwiegend von der Geometrie der Gleitfläche ab“. Unter Geometrie der Gleitfläche wird dabei deren Stetigkeit bzw. Unstetigkeit verstanden bzw. wieviele Rauhigkeitsabschnitte diese besitzt.

„Der Faktor μ der trockenen Reibung hängt von den Schneeigenschaften (Temperatur, Dichte, Wassergehalt) und vom Druck senkrecht zur Bodenoberfläche ab.

Berechnungsvorgang und Formeln laut den Mitteilungen des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung nach SALM/BURKARD/GUBLER(1990)

1. Bestimmung der Anrißmächtigkeit

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

d_0^* Basiswert, abhängig vom örtlichen Klima (möglicher Neuschneezuwachs in 3 Tagen) und von der Wiederkehrsperjode T.
$f(\psi)$ Neigungsfaktor, gegeben durch Schneefestigkeit (erfahrungsgemäß wird angenomen, daß die Festigkeit mit d_0^* wächst.

2. Durchflußmenge:

$Q = B_0 * d_0 * v_0$

B_0 größte Breite des Anrißgebietes (gerade gemessen, also nicht entlang der Höhenschichtlinien) [m]
d_0 Fließhöhe Anrißgebiet (= Anrißmächtigkeit) [m]
v_0 Repräsentative Geschwindigkeit beim Austritt aus dem Anrißgebiet

3. Geschwindigkeit und Fließhöhe in der Sturzbahn

- Runsenlawinen

$$v = \sqrt{R * \xi(\sin\psi - \mu * \cos\psi)}$$

R Hydraulischer Radius [m]

- Flächenlawine

$$v = \sqrt[3]{\frac{Q}{B} * \xi(\sin\psi - \mu * \cos\psi)}$$

$$d = \frac{Q}{B * v}$$

B Lawinenbreite [m]
ψ Hangneigung über etwa 100-200 m hangaufwärts gemittelt

4. Geschwindigkeit und Fließhöhe am Anfangspunkt der Auslaufstrecke

Der Anfangspunkt P der Auslaufstrecke ist jener Punkt des Längsprofils wo die kritische Hangneigung erreicht wird und die verzögerte Bewegung einsetzt. Der Punkt P hängt nur vom gewählten Reibungskoeffizienten μ und der Geländeneigung ab.

Die verzögerte Lawinenbewegung beginnt, sobald für die Neigung gilt
$\tan\psi_k = \mu$ Definition Punkt P

Nach Punkt P muß für die mittlere Neigung der Auslaufstrecke ψ_s gelten:
$\psi_s < \mu$ Definition Auslaufstrecke

Geschwindigkeit und Fließhöhe in P:

- Oberhalb und unterhalb von P Flächenlawine:

$$v_P = \sqrt[3]{\frac{Q}{B_P} * \xi(\sin\psi_P - \mu\cos\psi_P)} \qquad \text{[m/s]}$$

$$d_P = \frac{Q}{B_P * v_P} \qquad \text{[m]}$$

B_p Lawinenbreite in P, abgeschätzt in der Sturzbahn oberhalb von P [m][

ψ_P Maßgebende Sturzbahnneigung oberhalb von P

Oberhalb von P Runsenlawine, unterhalb P Flächenlawine:

$$v_P = \sqrt{R_P * \xi(\sin\psi_P - \mu\cos\psi_p)}$$

R_P Aus maßgebendem Querprofil in der Sturzbahn oberhalb von P [m]

5. Auslaufstrecke

$$d_S = d_P + \frac{{v_P}^2}{10g}$$

d_s Mittlere Ablagerungshöhe [m]

$$v^2 = d_S * \xi(\mu\cos\psi_S - \sin\psi_S)$$

ψ_s Mittlere Neigung im Auslaufgebiet

$$s = \frac{d_S * \xi}{2g} * \ln\left[1 + \frac{{v_P}^2}{v^2}\right]$$

AUSFÜHRUNG

Programm LAWSIM von GUBLER (1992)

d_0^*	≈1,0 m	nach Vorschlägen von GUBLER für die entsprechende Seehöhe
ξ	=1000	für flächiges Gelände mit geringer Rauhigkeit
μ	=0,25 bis 0,30	für kleinere Lawinen aller Höhenlagen mit einer Kubatur $<10^4 m^3$
ψ_K	=10°	Beginn der Auslaufstrecke

Eingangsdaten: siehe Anhang

Die berechneten Daten respektive die Auslauflängen wurden wieder in Pauschalgefälle umgerechnet, die die entscheidensten Eingangsparameter für die ELBA.Modellierungen darstellen.

Profil	**VOELLMY 1**		**VOELLMY 2**	
	Wiederkehrwahrscheinlichkeit Tr=100 Jahre ξ=1000 μ=0.25: für kleinere Lawinen μ=0.30 im Auslaufbereich		**Wiederkehrwahrscheinlichkeit Tr=10 Jahre** ξ=1000 μ=0.3: für kleinere Lawinen	
	rechnerisch	durch Verschneidung mit dem Gelände	rechnerisch	durch Verschneidung mit dem Gelände
P-1a	26.3	26.5	28.5	28.9
P-1b	25.4	25.0	28.2	27.5
P-1c	27.7	27.8	29.7	30.0
P-1d	28.1	28.2	29.9	29.6
P-1e	27.7	27.2	29.0	28.7
P-1f	26.6	26.5	28.5	28.5
P-1g	25.1	25.1	26.0	25.6
P-1h	20.6	21.6	22.3	22.2
P-2	26.0	25.1	26.4	25.3
P-3	26.7	26.7	27.2	27.2
P-4	24.6	24.9	25.3	25.7
P-4a	26.1	26.2	26.9	27.0
P-5	25.5	28.0	27.8	27.9
P-6	24.3	26.8	27.0	27.0
P-7	20.5	21.7	21.7	22.5
P-8	keine Auslaufstrecke, Neigung stets über 20 °			
P-9	keine Auslaufstrecke, Neigung stets über 20 °			
P-10	22.6	28.1	23.9	27.2
P-11	26.6	27.0	28.0	27.8
P-12	20.7	30.5	29.4	29.5
P-13	keine Auslaufstrecke, Neigung stets über 20 °			
P-14	29.8	30.	32.9	33.0
Mittelwert	**24.40**	**26.30**	**27.29**	**27.43**
Standard	**3.00**	**2.45**	**2.69**	**2.53**

c) Simulation der Lawinen mit dem ELBA-Modell von KLEEMAYR/VOLK (1996)

THEORIE: Zur Modellierung schneller Massenbewegungen mit Rastermethoden; Bericht von VOLK (1996)

1 Einleitung:

Generell gibt es für dynamische Modelle zwei Ansätze. Beim ersten wird der Versuch unternommen, die Prozesse, die beschrieben werden sollen, genau auf ihre Gesetzmäßigkeiten zu untersuchen, funktionale Beziehungen herzustellen und diese in einem Modell zusammenzuführen. Dieser Ansatz kann als deterministisch bzw. physikalisch basiert bezeichnet werden. Die andere Möglichkeit ist die, daß man versucht, beobachtete Prozesse statistisch zu fassen und so funktionale Wirkungsbeziehungen herzustellen. Solche Modelle werden als empirisch, statistisch, oder im weiteren Sinne auch als Black-Box Modelle bezeichnet. Der Name Black-Box rührt daher, weil nicht versucht wird die Prozesse als solche zu erkennen, sondern aufgrund der statistischen Analyse von Koinzidenzen der mutmaßlichen Einflußfaktoren mit einem bestimmten Systemoutput das Systemverhalten vorauszusagen.

Es erscheint einsichtig, daß deterministischen Modellen gewisse Grenzen der Komplexität gesetzt sind, die vor allem bei scheinbar chaotischen Systemen manifest werden. Außerdem haben sie den Nachteil, relativ instabile Ergebnisse zu liefern, weil ab einem bestimmten Komplexitätsgrad die Ergebnisse des Modells unvorhersagbar werden. Demgegenüber besteht aber die Möglichkeit mit diesen Modellen Szenarien durchzutesten, die noch nicht aufgetreten sind.

Die Vor- und Nachteile von empirischen Modellen erscheinen dazu genau diametral. Sie beweisen ihre Stärke besonders bei komplexen Zusammenhängen, da mit ihrer Hilfe die Möglichkeit besteht, Beziehungen zwischen einzelnen Systemfaktoren herzustellen, auch wenn die funktionalen Zusammenhänge nicht bekannt sind. Sie sind überall dort gut einsetzbar, wo ein großer Erfahrungsschatz - günstiger Weise in Form von statistischen Daten - vorhanden ist. Kritisch sind allerdings Extrapolationen in Bereiche, die vom Datensatz nicht abgedeckt werden. Dagegen sind Simulationen im Referenzbereich meist sehr stabil.

Bei schnellen Massenbewegungen können nun, was den sinnvollen Modellansatz betrifft, zwei Prozeßregimes voneinander getrennt werden. Einerseits bewegen sich die Massen entlang einer vorgegebenen Oberfläche, der Geländeoberfläche, nach den oben beschriebenen Gesetzmäßigkeiten des Potentialausgleichs. Da die Geländeinformation leicht erhebbar ist, scheinen für diese Prozesse die Bedingungen für die Verwendung eines deterministischen Modells günstig. Die Reibungsvorgänge innerhalb der bewegten Massen und mit dem Umfeld sowie die Turbulenz der Massenbewegungen, mit einem Wort alle Energieverluste, sind für physikalische Modelle nur sehr schwer greifbar. Die Eingangsparameter, die diese Prozesse beeinflussen, sind weit unter der räumlichen Auflösungsfähigkeit derzeitiger Verfahren der Datenerhebung. Dementsprechend sind diese Vorgänge im physikalischen Sinne chaotisch und entziehen sich daher einer deterministischen Modellierung.

Die Konsequenz daraus ist die Anwendung eines kombinierten Konzepts, bei dem die Prozesse, die deterministisch beschrieben werden können, auch in dieser Form in das Modell eingeführt werden, während der „chaotische Rest“ statistisch gefaßt wird. Die beiden Prozeßteile sollen nun im Folgenden beschrieben werden.

2 Energielinienkonzept

Die potentielle Energie, die frei wird, wenn ein Massenteilchen eine Vertikalbewegung durchmacht kann entweder in Geschwindigkeit umgewandelt werden, oder geht in irgendeiner Form (Reibung, Turbulenz, Verformungen, Wärme) „verloren“. Ein Massenteilchen befindet sich vor einer Massenbewegung im Anbruchgebiet in Ruhelage und nach dem Abgang steht es im Ablagerungsgebiet ebenfalls still. Es hat also in beiden Fällen die Geschwindigkeit 0. Dazwischen wurde es beschleunigt und abgebremst und hat dabei einen gewissen Anteil seines Energieniveaus eingebüßt. Das Maß für diesen Energieverlust ist die Höhendifferenz zwischen dem Schwerpunkt des Anbruchgebiets und dem der Auslaufzone (Abbildung 1). Das Verhältnis dieser Höhendifferenz zur

zurückgelegten Horizontaldistanz gibt daher pauschal die mittlere Energie (in Höhenmetern) an, die bei einer Horizontalbewegung pro Längeneinheit verlorengeht. In der Literatur findet man dafür die Bezeichnung des Pauschalgefälles.

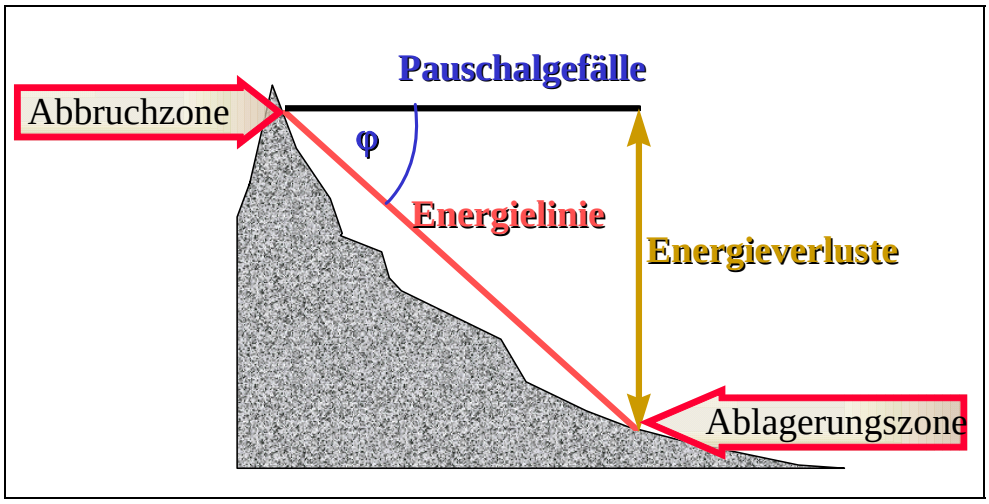


Abbildung 1: Konzept des Pauschalgefälles

Ist nun ein Hangstück steiler als das Pauschalgefälle, legt das Massenteilchen eine größere Vertikaldistanz zurück, als durch die Reibungsgrößen an Energie verloren geht. Dementsprechend wird das Massenteilchen beschleunigt. Die Geschwindigkeitshöhe des Massenteilchens erhöht sich um diesen Betrag. Die Gleichungen 1 bis 3 zeigen die physikalischen Zusammenhänge.

$$W_{pot} = m \times g \times h \qquad \text{(Gleichung 1)}$$

$$W_{kin} = m \times v^2 / 2 \qquad \text{(Gleichung 2)}$$

W_{pot}	*potentielle Energie [J]*
W_{kin}	*kinetische Energie [J]*
m	*Masse [kg]*
g	*Erdbeschleunigung [m/s²]*
h	*Höhe über Bezugsebene [m]*
v	*Geschwindigkeit [m/s]*

Setzt man die kinetische und die potentielle Energie gleich, läßt sich die Geschwindigkeitshöhe ermitteln (Gleichung 3):

$$h_E = \frac{v^2}{2g} \qquad \text{(Gleichung 3)}$$

h_E	*Geschwindigkeitshöhe [m]*

Die Abbildung 2 zeigt die Veränderung der Geschwindigkeitshöhe, wenn sich ein Massenteilchen über eine definierte Strecke bewegt.

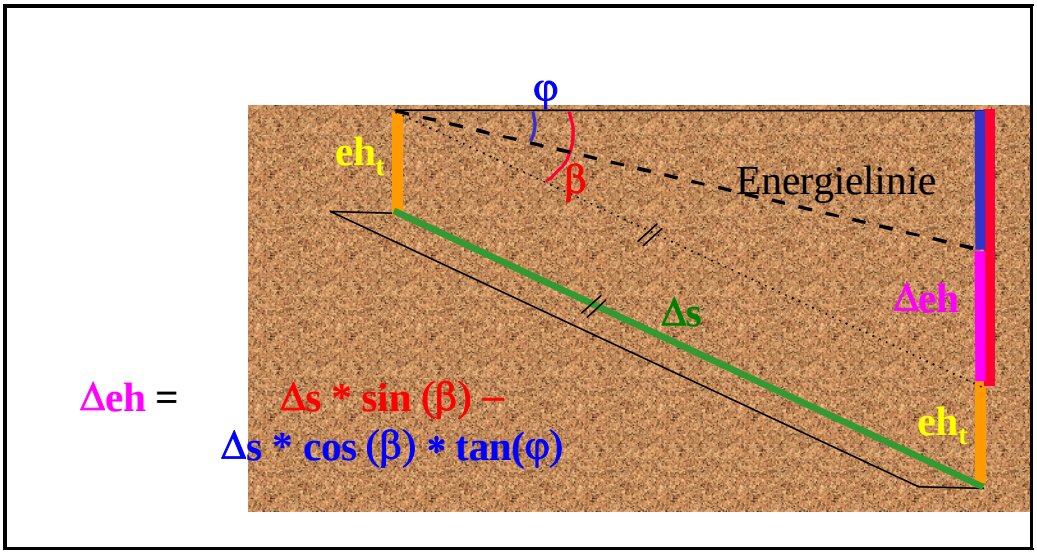


Abbildung 2: Veränderung der Energiehöhe bei einer zurückgelegten Schrägdistanz von ΔS

Abbildung 3 zeigt die Anwendung des Konzepts in einer zweidimensionalen Modellrechnung. Der Wall, den die bewegten Massen bei maximaler Geschwindigkeit überfahren, hat auf die Auslauflänge keinen Einfluß, da der Verlust von potentieller Energie im Mittel des gesamten Hanges gleich bleibt.

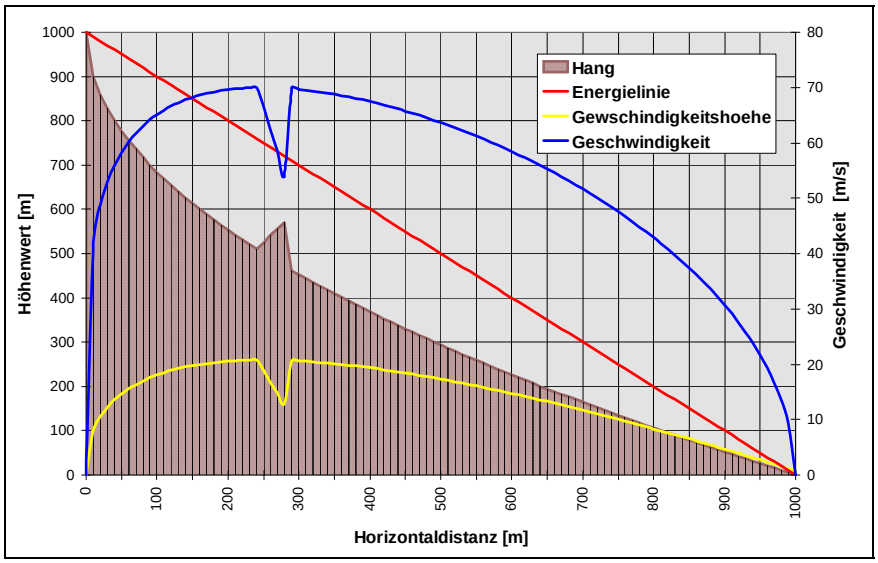
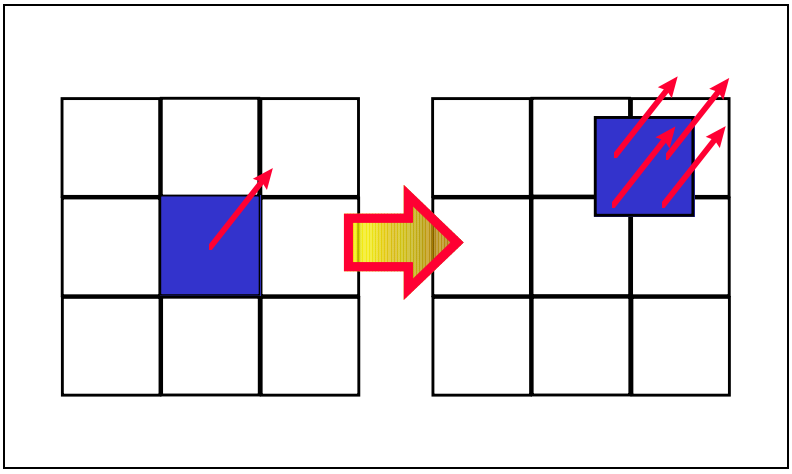


Abbildung 3 : zweidimensionale Modellrechnung unter Anwendung des Energielinienkonzepts; das Pauschalgefälle beträgt 45 Grad

Mit diesem Konzept des Pauschalgefälles ist es möglich, die physikalische Modellierung der Reibungs- und Turbulenzvorgänge in sich schnell bewegenden Massen zu umgehen, und über statistisches Material diesen Fragenkomplex einer Lösung zuzuführen. Daten von entsprechenden Ereignissen sind relativ leicht erhebbar. Bereits ein einziges Ereignis liefert Anhaltspunkte über die mögliche Größe des Pauschalgefälles. Stumme Zeugen in der Natur für solche Ereignisse sind meist längere Zeit sichtbar. Viele Ereignisse werden auch routinemäßig dokumentiert. Die potentielle Datenbasis für statistische Analysen ist daher sehr groß.

Erfolgreich wurde dieses Konzept schon von LAATSCH et al. (1981) auf die Dynamik von Lawinen angewandt.

3 Konzept der Impulsweitergabe:



Bewegt sich ein Massenteilchen im Raum hat es aufgrund seiner Masse und Geschwindigkeit einen Impuls. Dieser Impuls ist eine gerichtete Größe und kann als Vektor dargestellt werden. Wie schon erwähnt ist es daher notwendig, im Gegensatz zu hydrologischen Berechnungen, besonders diesen Impuls bei der Bewegung der Massenteilchen zu beachten. Aufgrund des Impulses können auch Aufwärtsstrecken von diesen Massenteilchen bewältigt werden.

Abbildung 4: Weitergabe von Massen und Impuls von einer Zelle auf die Nachbarzellen

Wie auch bei hydraulisch basierten Ansätzen zur Berechnung der Wasserbewegungen an der Oberfläche gilt auch für sich schnell bewegende Massen, daß die Geländeoberfläche nicht die einzig bestimmende Größe für die Trajektorien der Massen ist, aber diese doch maßgeblich beeinflußt. Durch das digitale Geländemodell ist für jeden Punkt im Gelände die Seehöhe bekannt und daraus abgeleitet auch die Geländeneigung und die Exposition.

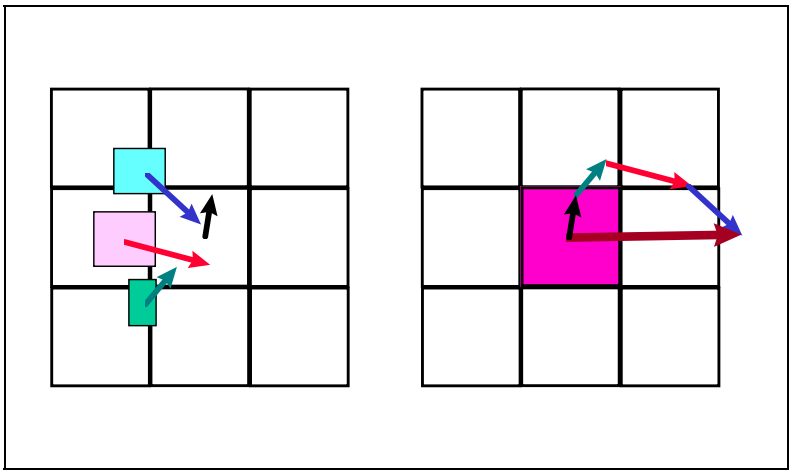


Abbildung 5 : Die Addition der Impulsvektoren der drei Massen, die in der Zelle zusammentreffen, sowie der Einfluß des Geländes auf die Massen (schwarzer Pfeil) ergeben die neue Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit der neuen Gesamtmasse.

Dementsprechend läßt sich bei gegebener Bewegungsrichtung aus diesen Größen die Vertikaldistanz errechnen, die ein Massenteilchen beim Durchtritt durch diese Zelle zu bewältigen hat. Gemäß den in den Gleichungen 1 - 3 angeführten Gesetzmäßigkeiten läßt sich somit die Beschleunigung, oder Verzögerung errechnen, die ein Massenteilchen beim Durchtritt durch eine bestimmte Zelle erfahren muß.

Bewegt sich nun ein Massenteilchen über einen Raster mit gegebener Zellweite, wird es in einem Modellierungsschritt von einer Zelle auf drei Nachbarzellen verschoben. Ein Teil der Masse bleibt in der Ausgangszelle zurück. Bei gegebener Geschwindigkeit lassen sich also die Massenanteile, die auf jeder der betroffenen Zellen am Beginn des nächsten Berechnungsschrittes zum Liegen kommen, über trigonometrische Funktionen ermitteln. Jedes dieser Massenteilchen behält seine Bewegungsrichtung und Geschwindigkeit bei (Abbildung 4).

Im Normalfall werden nun auf einer Zelle mehrere Massen aus verschiedenen Nachbarzellen mit unterschiedlichen Bewegungsrichtungen und Geschwindigkeiten zusammentreffen. Dazu kommt die Beschleunigung, beziehungsweise die Verzögerung, die die Massen beim Durchtritt durch diese Zelle

erfahren. Durch Addition dieser Vektoren läßt sich die neue Geschwindigkeit und Bewegungsrichtung ermitteln (Abbildung 5).
Die aus der Geschwindigkeit errechnete Energiehöhe muß nun noch um den Energiehöhenverlust aufgrund des Pauschalgefälles verringert werden. Durch Iteration dieses Prozesses kann der Einfluß des Geländes auf schnelle Massenbewegungen abgeschätzt werden.

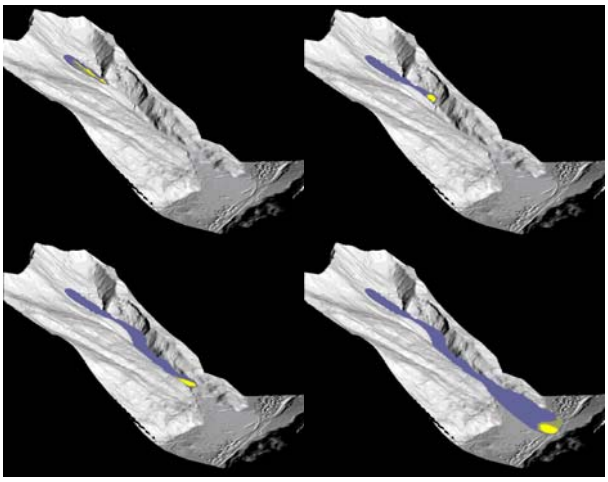


Abbildung 6: Simulationsergebnisse mit ELBA

Abbildung 6 zeigt den Verlauf eines Murabganges mit einem angenommenen Pauschalgefälle von 15 Grad. Die Annahmen des Ortes, der Größe und des Pauschalgefälles sind willkürlich und haben keinen direkten Bezug zur Realität. Vielmehr soll die prinzipielle Leistungsfähigkeit der oben beschriebenen Algorithmen illustriert werden. Erkennbar ist die Geländeanpassung der bewegten Massen, die sich vom Anbruchgebiet aus in einer Rinne konzentrieren und am Schwemmkegel wieder ausbreiten.

AUSFÜHRUNG

Das Elba-Modell wurde nun für die einzelnen Lawinen am Rendl angewendet. Als Pauschalgefälle wurden die, den mit LIED/BAKKEHOI und VOELLMY berechneten Alphawerten entsprechenden angenommen.
Alle anderen Parameter, wie die Schneehöhe und die Ausbreitungsfaktoren wurden für alle Lawinen bewußt gleich angenommen, um zu vergleichbaren Ergebnissen zu kommen.

Lawinenstrich	LIED α in [°]	VOELLMY α in [°]		ELBA α in [°]
1a-1c	32,7	26,4	28,8	29
2-7	26,4	25,6	26,1	26
8-9	25,6	kein Auslaufbereich		26
10-11	29,8	27,6	27,5	28
12-13	28,5	30,5	29,5	30
14	32,0	30,0	33,0	32

3.2.5. Variantenstudium

a) Maximallawinen ohne Beeinflußung

Dies wäre zum Beispiel bei sonst gleichen Eingangsparametern mit einem einheitlichen, flachem Pauschalgefälle von beispielsweise 22 ° der Fall oder man nimmt für die jeweiligen Lawinen jeweils ein um den selben Betrag flacheres Pauschalgefälle an. Da bei extremer Lawinengefahr das gesamte Gebiet durch die Lawinenkommission gesperrt werden muß, sind Katastrophensituationen für die nachfolgenden Untersuchungen nicht sehr aussagekräftig.

b) Schadlawinen mit geringer Jährlichkeit (Tr =10-50)

Damit sind die mit den oben angegebenen Pauschalgefällen ermittelten Lawinen gemeint, die bei ungünstigen Verhältnissen alle paar Jahre in ähnlicher Form abgehen können. Die Aufzeichnungen über Lawinenabgänge bestätigen im wesentlichen diese Modellierungsergebnisse.

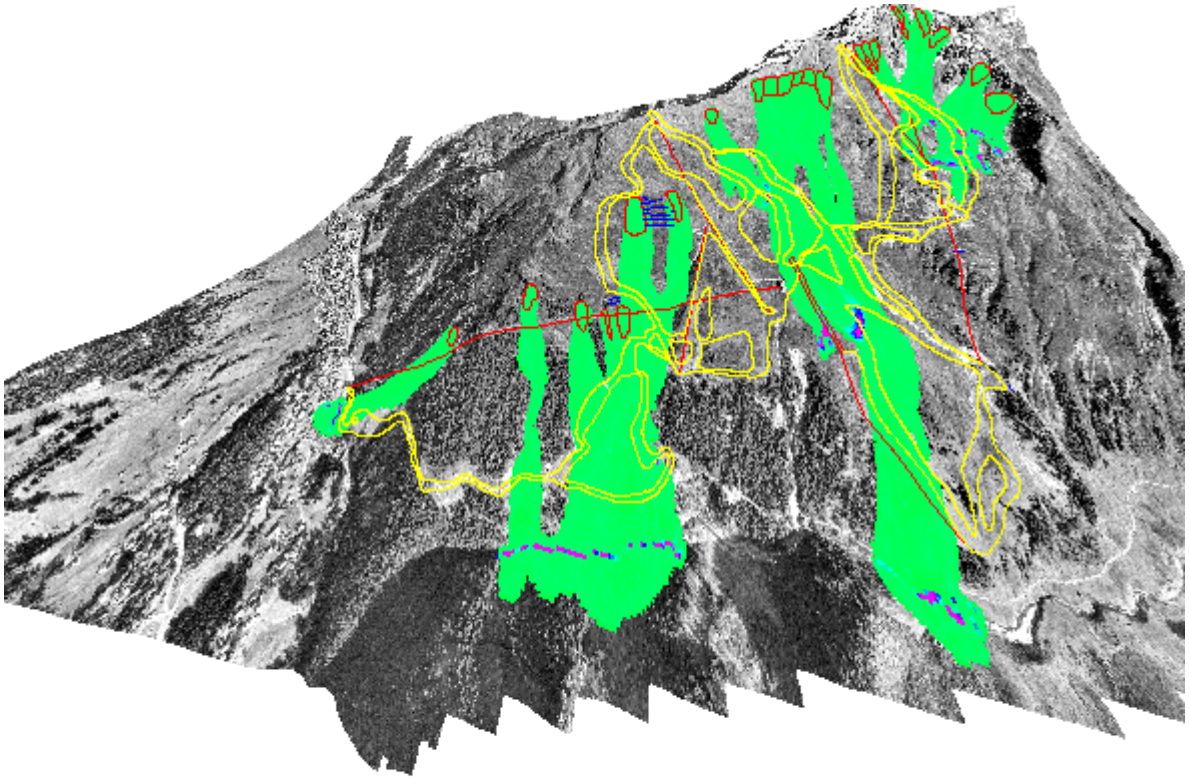


Abb. 15: Katastrophenlawinen mit einem Pauschalgefälle von 22 ° im Bereich Moostal-Rendl

3.3. Schigebietsanalyse

3.3.1. Frequenzen der Anlagen

Jahresfrequenzen der Anlagen seit ihrem Bestehen:

Seit dem Bestehen der Rendlbahn haben jährlich im Durchschnitt 164970 (Standardabweichung s_x=44229) Tagesgäste die Rendllifte besucht.

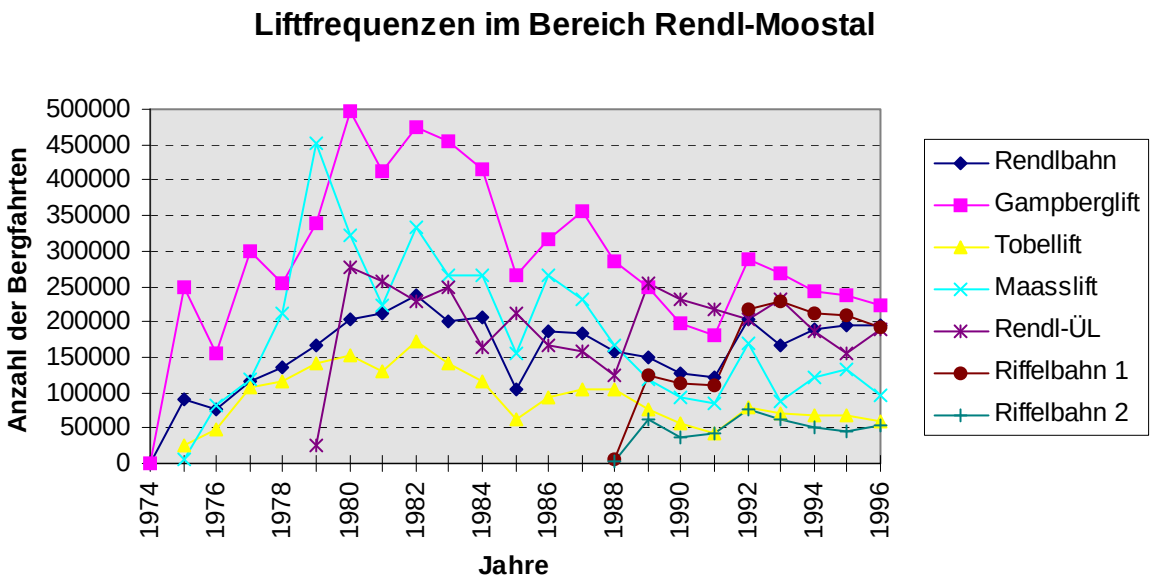


Abb. 16: Liftfrequenzen im Bereich Moostal-Rendl

Anzahl der Bergfahrten seit Bestehen	Rendl-bahn	Gamp-berglift	Tobel-lift	Mass-lift	Übungs-lift	Riffel-bahn I	Riffel-bahn II
Mittelwert	164970	302728	95867	190347	206337	175971	53854
Standardabweichung	44229	95313	37078	99867	42403	51221	12801

Für Korrelationsuntersuchungen reichen die Jahresfrequenzreihen (n=max. 23) nicht aus. Daher wurden auch noch die Zusammenhänge der Tagesfrequenzen der Anlagen untersucht.

Tagesfrequenzen der Anlagen der letzten zwei Saisonen:

Interessant ist nicht nur, wieviel Schifahrer sich im Schigebiet befinden, sondern auch wie sich diese Personen auf die einzelnen Lifte und Pisten aufteilen. Zwischen den Bergahrten der Rendlbahn und denen der einzelnen Lifte konnten aufgrund der Frequenzdaten der letzten zwei Saisonen (n=237) folgende Zusammenhänge fesgestellt werden.

Anzahl der Bergfahrten 95/96 und 96/97	Rendl-bahn	Riffel-bahn I	Riffel-bahn II	Gamp-berglift	Tobel-lift	Übungs-lift	Mass-lift
Mittelwert	1676	1795	553	1933	485	1545	856
Standardabweichung	55,6	71,4	30,9	70,5	19,4	50,8	37,9
Korrelation zur Rendlbahn							
Korrelationskoeffizient r		0,801	0,417	0,841	0,832	0,723	0,877
Bestimmtheitmaß B		0,642	0,174	0,707	0,961	0,522	0,767
Regressionsgleichungen		Y=1,0284x +71,217	Y=0,2316x +164,85	Y=1,0669x +145,09	Y=0,2909x -2,3427	Y=0,6595x +439,97	Y=0,5963x -144
Bergfahrten in % der Rendlbahn	**100**	**107,09**	**33,00**	**115,35**	**28,95**	**92,20**	**51,04**

Mit Ausnahme der Riffelbahn II bestehen straffe Zusammenhänge zwischen den Bergfahrten der Rendlbahn und den Bergfahrten der einzelnen Lifte. Das jeweilige Bestimmtheitsmaß gibt an, wieviel Prozent der entsprechenden Abweichungsquadratsumme durch die Regression erklärt werden können.

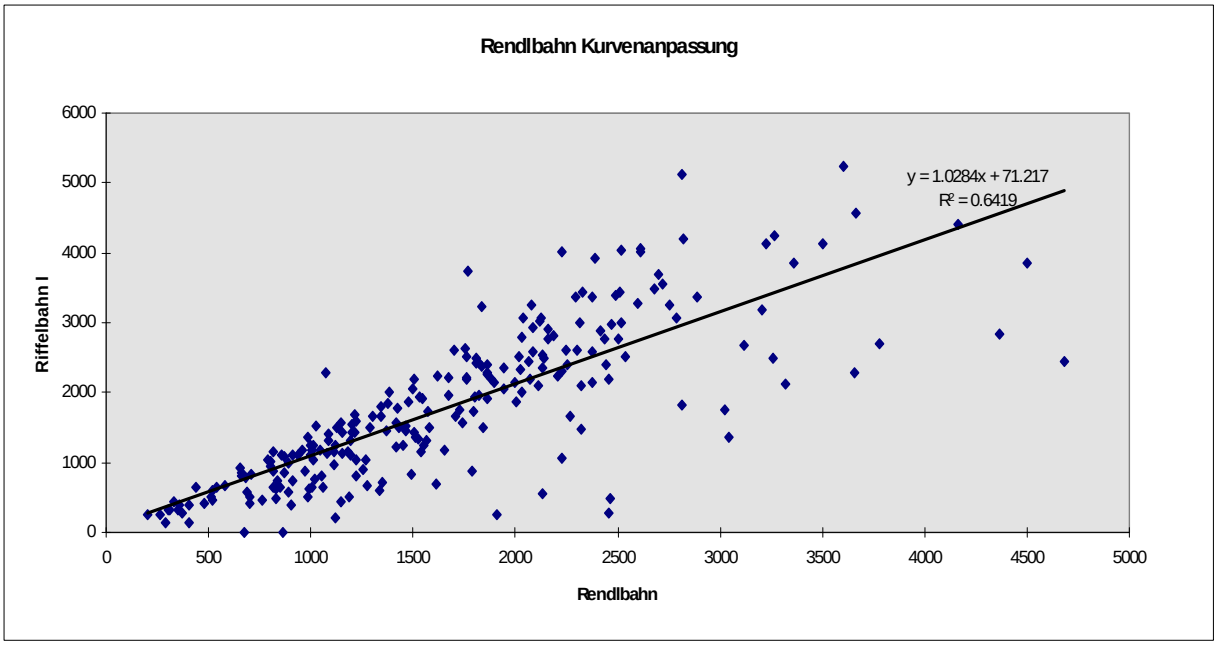


Abb. 17: Zusammenhang zwischen Rendlbahn und Riffelbahn I

3.3.2. Frequenzen auf den Pisten

Zwischen den Liftfrequenzen und den Frequenzen auf den Pisten bestehen gewisse Zusammenhänge. Deshalb wurden an insgesamt 8 Tagen mit unterschiedlichen Wetterverhältnissen und zwar in der Osterwoche und im April, an 11 verschiedenen Punkten die Frequenzen der Schifahrer erhoben. Die Aufnahmen wurden in Blöcken zu je 2 Stunden durchgeführt, jedoch erscheint eine genauere Auswertung wegen der Inhomogenität der Verhältnisse und der relativ geringen Anzahl der Aufnahmetage nicht zielführend.
Zwischen Schlechtwettertagen und solchen mit Sonnenschein waren die Unterschiede in der Verteilung auf den Pisten jedoch nicht allzu groß, lediglich bei den Variantenabfahrten (Hinterrendl und Schimmeleck) und bei den Schirouten (Wannele, Route 6) ergaben sich, zum Teil sicherlich auch durch Sperren der Lawinenkommission bedingt, gewisse Unterschiede.

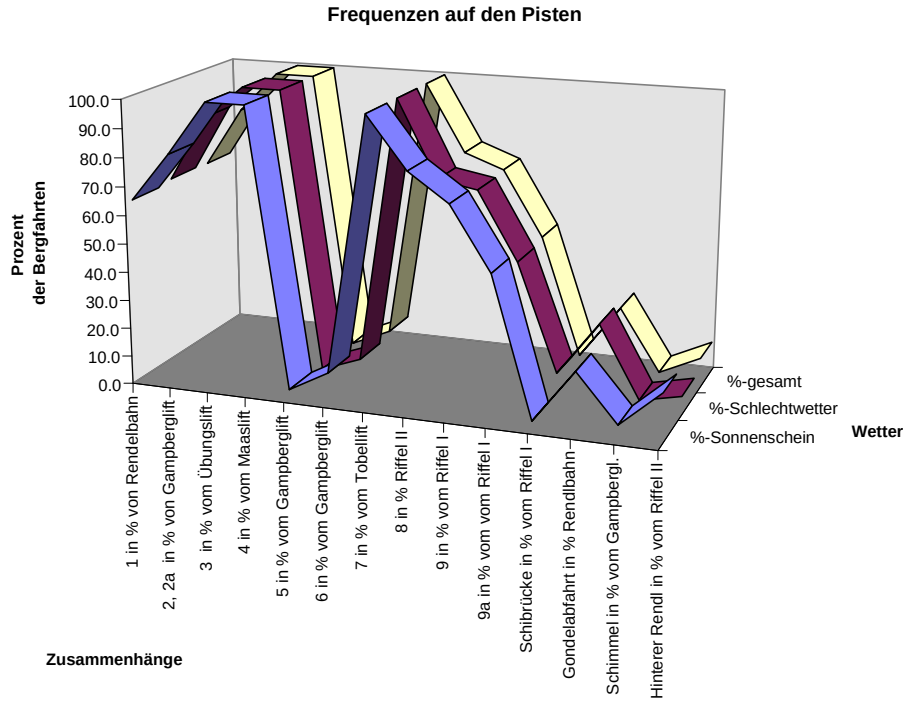


Abb. 18: Frequenzen auf den Pisten in Abhängigkeit der Bergfahrten der einzelnen Lifte

Die folgende Tabelle enthält die ermittelten Anhaltswerte zur Abschätzung der Frequentierung der Pisten aufgrund der Liftfrequenzen.

Ergebnisse	%-Sonnenschein	%-Schlechtwetter	%-gesamt
1 in % von Rendlbahn	64.3	65.4	65.0
2, 2a in % von Gampberglift	81.3	88.8	86.0
3 in % vom Übungslift	100.0	100.0	100.0
4 in % vom Masslift	100.0	100.0	100.0
5 in % vom Gampberglift	3.0	1.2	1.9
6 in % vom Gampberglift	10.7	6.4	8.0
7 in % vom Tobellift	100.0	100.0	100.0
8 in % Riffel II	82.3	73.2	76.6
9 in % vom Riffel I	72.7	70.8	71.5
9a in % vom vom Riffel I	51.0	47.2	48.6
Schibrücke in % vom Riffel I	2.7	9.8	7.1
Gondelabfahrt in % Rendlbahn	21.3	28.6	25.9
Schimmel in % vom Gampbergl.	5.0	3.6	4.1
Hinterer Rendl in % vom Riffel II	17.7	6.8	10.9

Grundsätzlich bleiben bei Schlechtwetter mehr Skifahrer auf den Pisten, während sich bei Sonnenschein viele in den freien Schiraum begeben, wie am Beispiel des Hinteren Rendls (17,7 bei Sonne und 6,8 % bei Schlechtwetter) deutlich wird.

3.3. Gefahrenbeurteilung-Risikoanalyse

Sicherheitsplanung hat nach GUBLER (1995) zum Ziel, für Schifahrer auf Schipisten oder im Tourengelände eine genügende Sicherheit zu erreichen. Das Risiko wird als Maß für die Sicherheit verwendet, wobei diese umso größer ist, je kleiner das Risiko ist. Verschiedenste Gefahrenpotentiale beeinflussen das Risiko und es ist durch unterschiedliche Schutzmaßnahmen möglich das Risiko zu vermindern.
Die Risikoanalyse ermöglicht den Vergleich verschiedenartiger Risiken und unterschiedlicher Schutzmaßnahmen.
Im speziellen Fall soll das Risiko bewertet werden, das im Schigebiet Moostal-Rendl Personen von Lawinen erfaßt werden. Das Risiko läßt sich grundsätzlich in drei voneinander unabhängige Wahrscheinlichkeiten aufspalten: die Gefahr oder *Ereigniswahrscheinlichkeit*, die Schadens- oder *Präsenzwahrscheinlichkeit* und die *Ausmaßwahrscheinlichkeit* oder das Schadausmaß. Dazu kommt noch die Einführung eines *Aversionsfaktors*, der einen Ausdruck über die gesellschaftliche Akzeptanz unterschiedlicher Katastrophenarten darstellt.

Risiko=f(Ereigniswahrscheinlichkeit, Präsenzwahrscheinlichkeit, Schadenswahrscheinlichkeit, Aversionsfaktor)

3.3.1. Ereigniswahrscheinlichkeit

Damit ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Lawine in einem vorgegebenen Gebiet, dem Gefährdungsbereich gemeint. Betrachtet wurden dabei die Verschneidungsbereiche der Summenlinien der Lawinengefährdung mit den Pisten.

Die Summenlinien der Lawinengefährdung ergeben sich aus den vorher behandelten Lawinenanalysen respektive als die Endergebnisse der Massenablagerungen des jeweils letzten Elba-Gridfiles.

Es wurden folgende Gefährdungsbereiche festgelegt:

Nr.	Gefahren-bereich	Lawinen-strich	Lage
1	R 8	1a-1c	südlich der Riffelbahn II
2	P 9-9a	2-4a	Kreuzungsbereich der Pisten 9, 6 und 9a
3	R 6	2-7	Route 6 von der Abzweigung von der Piste 2 bis zur Kreuzung mit den Pisten 9 und 9a
4	K 4	2-4a	Route 6 von der Kreuzung 9, 9a bis zur Einmündung in die Piste 4
5	QW		Wasserlochquerung auf der Piste 9a
6	Salz	2-4a	Bereich Salzboden von der Bergstation Maßlift bis zur ersten Kuppe
7	2-er-Sch	7	flache Ausweichschleife der Piste 2 im Süden
8	Gand	8-9	Flachstück der Piste 1 unmittelbar nach dem Tobellift
9	W	10	Rutsch unterhalb der Werke im Bereich der Stütze 5 der Rendlbahn
10	ST-5	11	Mulde unterhalb der Stütze 5 der Rendlbahn
11	Mio-g	12	Steilstück der Talabfahrt über die gesamte Länge der Gefährdung
12	Mio1	12	Steilstück der Talabfahrt bis zur ersten Kehre
13	Mio2	12	Steilstück der Talabfahrt von der ersten zur zweiten Kehre
14	Mio3	12	Steilstück der Talabfahrt von der zweiten Kehre bis zum Ende
15	Roß	13	Roßtobel
16	NW	14	Waldlawine aus dem Nordwesthangg oberhalb des letzten Flachstückes der Talabfahrt

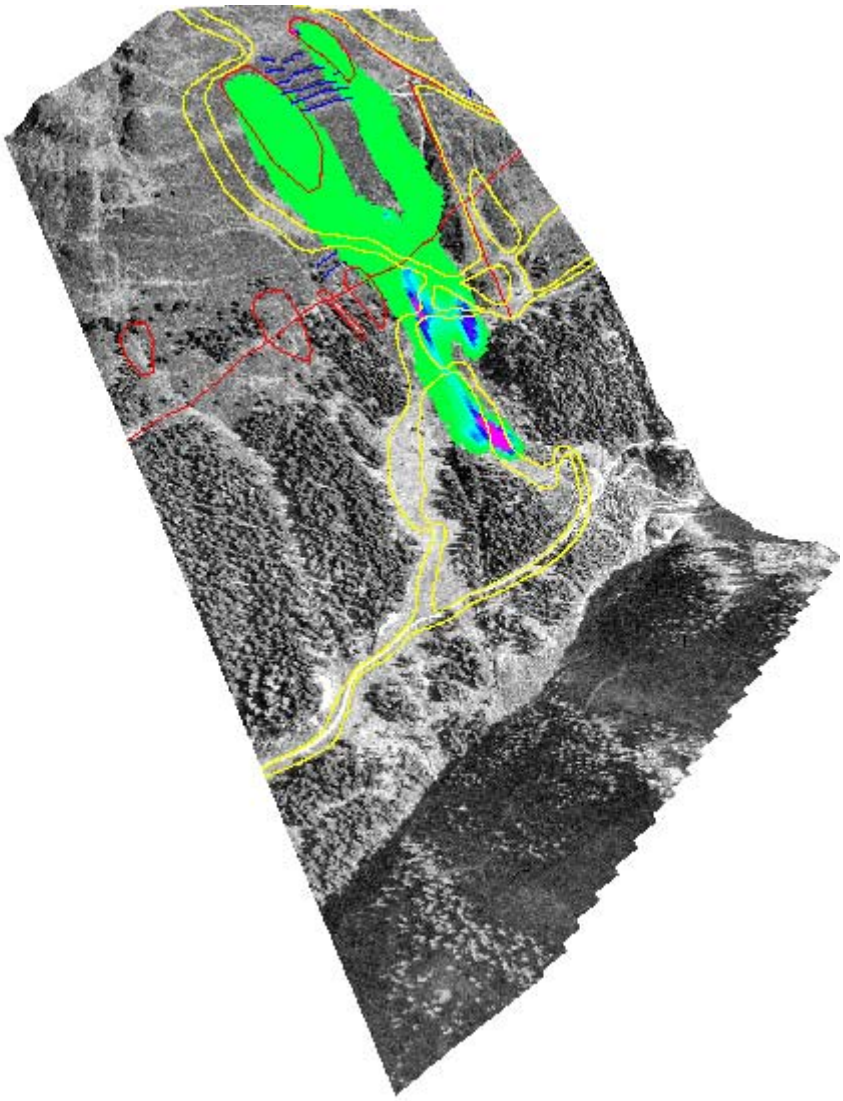


Abb. 19: Beispiel für den Gefahrenbereich 8, Gandhang

Die Jährlichkeit der Schadlawinen ist für alle berechneten Lawinen als vergleichbar zu betrachten, da das Pauschalgefälle aller Lawinen, als wichtigste Eingangsgröße für das Elba-Modell, auf die gleiche Weise ermittelt wurde.

Eine weitere Möglichkeit wäre, für verschiedene Verhältnisse (z.B.: für bestimmte Gebiete, bestimmte Expositionen und Seehöhen) Standardpauschalgefälle zu ermitteln und sämtliche Lawinen gleichen Charakters mit demselben Alpha zu berechnen.

3.3.2. Präsenzwahrscheinlichkeit

Die Präsenzwahrscheinlichkeit gibt an, mit welcher Wahrscheinlichkeit die Personen einer möglichen Lawinengefährdung ausgesetzt sind. Das hängt einerseits von der Frequentierung des Bereiches und andererseits von der Aufenthaltsdauer der einzelnen Person im Gefährdungsbereich ab.

3.3.2.1. Prozentuelle Verteilung der Schifahrer auf den verschiedenen Pisten

Mit Hilfe der Zusammenhänge der Frequentierung der Pisten in Abhängigkeit der Bergfahrten wurde versucht, die Anzahl der Personen abzuschätzen, die sich in einem Zeitraum z (z.B.: 1 Tag) in den jeweiligen Gefährdungsbereich begeben. In diesem Fall wurde von der mittleren Jahresfrequenz ausgegangen. Außer im Falle der Riffelbahn II besteht zudem die Möglichkeit, die Liftfrequenzen und damit auch die Pistenfrequenzen in Abhängigkeit der Rendlbahn-Bergfahrten zu setzen, da straffe Abhängigkeiten ($r \approx 0{,}8$) bestehen.

$\varnothing_{\text{Rendlbahn (95/96,96/97)}}$=1676 Personen/Tag
∗.....in diesem Fall wurde gleich direkt die $\varnothing_{\text{Rifflbahn II (95/96,96/97)}}$ verwendet

Nr.	Gefahren-bereich	Piste	Liftfrequenzen in % der Rendl-bahnfrequenz [%]	Pistenfrequenzen in % der Lift-frequenzen [%]	Anzahl der Personen in den Gefahren-bereichen
1	R 8	Route 8	korelliert nicht	76,6 d. Riffelbahn II	∗ 424
2	P 9-9a	Piste 9a	107,1 d. Riffelbahn I	48,6 d. Riffelbahn I	863
3	R 6	Route 6	115,4 d. Gampbergl.	8,0 d. Gampbergl.	155
4	K 4	Route 6	107,1 d. Riffelbahn I 115,4 d. Gampbergl.	22,9 d. Riffelbahn I + 8,0 d Gampbergl.	566
5	QW	Piste 9a	107,1 d. Riffelbahn I	48,6 d. Riffelbahn I	872
6	Salz	Piste 3	92,2 d. Übungslift 51,0 d. Maßlift 107,1 d. Riffelbahn I	100 d. Übungsliftes + 100 d Maßliftes + 48,6 d Riffelbahn I	2487
7	2-er-Sch	Piste 2	115,4 d. Gampbergl.	≈ 10 d Gampbergl.	193
8	Gand	Piste 1	100 d. Rendlbahn	65 d Rendlbahn	1089
9	W	Piste 1	100 d. Rendlbahn	65 d Rendlbahn	1089
10	ST-5	Piste 1	100 d. Rendlbahn	65 d Rendlbahn	1089
11	Mio-g	Piste 1	100 d. Rendlbahn	65 d Rendlbahn	1089
12	Mio1	Piste 1	100 d. Rendlbahn	65 d Rendlbahn	1089
13	Mio2	Piste 1	100 d. Rendlbahn	65 d Rendlbahn	1089
14	Mio3	Piste 1	100 d. Rendlbahn	65 d Rendlbahn	1089
15	Roß	Piste 1	100 d. Rendlbahn	65 d Rendlbahn	1089
16	NW	Piste 1	100 d. Rendlbahn	65 d Rendlbahn	1089

3.3.2.2. Aufenthaltsdauer der Schifahrer in den Gefahrenbereichen

Für jeden Gefährdungsbereich wurden die Aufenthaltszeiten von n Personen gestoppt. Dabei fährt ein gewisser Prozentsatz der Schifahrer durch, ohne abzuschwingen, während die anderen mehr oder weniger lange Pausen machen. Das ergibt oft mehr oder weniger zweigipfelige Verteilungen, wie im folgenden Beispiel zu sehen ist.

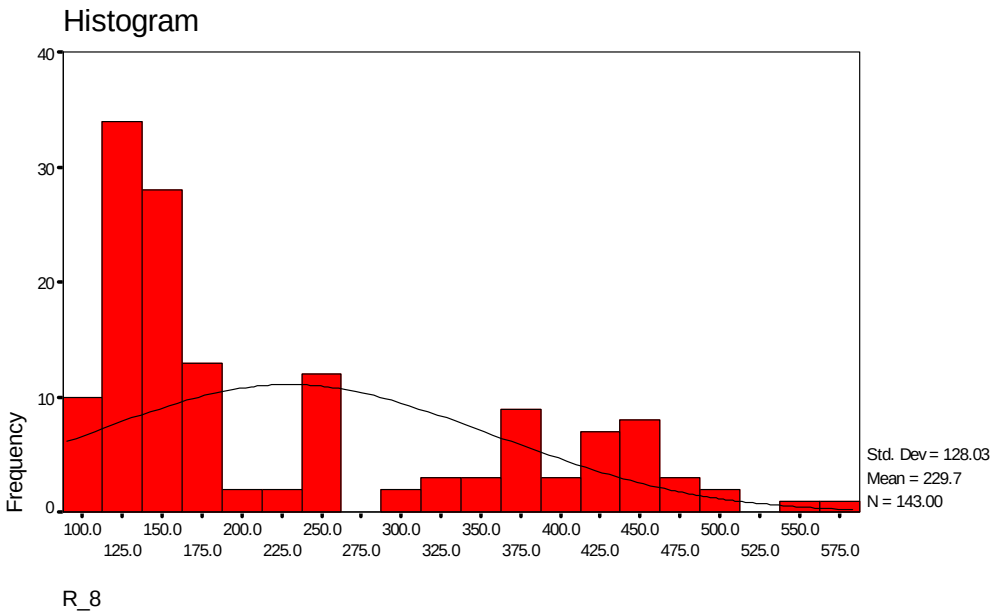


Abb. 20: Beispiel der Verteilung der Aufenthaltszeiten im Gefahrenbereich 1

Der Mittelwert der Aufenthaltszeit ist eine Möglichkeit, die Präsenzwahrscheinlichkeit zu beschreiben. Man könnte beispielweise jedoch auch die 90.Perzentile verwenden, um zwar langsamere Schifahrer zu berücksichtigen, aber die langen Pausen von Einzelnen auszuklammern.
Eine Korrektur der gestoppten Aufenthaltszeiten ist aus jenem Grund nötig, da zum Zeitpunkt der Aufnahmen eine genaue Abgrenzung der Gefährdungsbereiche mit dem Elba-Modell noch nicht möglich war.

Nr.	Gefahren-bereich	Piste	Anzahl der Personen im Gefahren-bereich [Personen]	∅ Aufent-haltsdauer der Personen im Gefahren-bereich [sec]	tatsächlich betroffener Anteil des prognos-tizierten Gefahren-bereiches [%]	korrigierte Aufenthalts-dauer [sec]	Dauer x Personen [Personen sekunden]
1	R 8	Route 8	424	229,7	50	114,9	48650
2	P 9-9a	Piste 9a	863	49,5	100	49,5	42738
3	R 6	Route 6	155	149,8	40	59,9	9271
4	K 4	Route 6	566	63,2	100	63,2	35757
5	QW	Piste 9a	872	3,89	100	3,9	3394
6	Salz	Piste 3	2487	60,4	25	15,1	37557
7	2-er-Sch	Piste 2	193	22,0	40	8,8	1702
8	Gand	Piste 1	1089	34,2	100	34,2	37257
9	W	Piste 1	1089	33,3	100	33,3	36277
10	ST-5	Piste 1	1089	3,48	150	5,2	5687
11	Mio-g	Piste 1	1089	73,0	0	0	0
12	Mio1	Piste 1	1089	28,3	30	8,5	9249
13	Mio2	Piste 1	1089	15,6	0	0	0
14	Mio3	Piste 1	1089	28,8	0	0	0
15	Roß	Piste 1	1089	9,2	0	0	0
16	NW	Piste 1	1089	26,4	0	0	0

Die Bereiche 2, 4 und 6 sind auf die selbe Lawine, und zwar auf den Lawinenstrich 2 im Bereich der großen Rinne zurückzuführen. Zusammen ergibt dies 43 % des hier bewerteten Gesamtrisikos, während auf den Bereich Gandhang 14 % und im Nahbereich der Stütze 5 der Rendlbahn 16 % entfallen. Die Karrinnen südlich der Riffelbahn II sind mit 19 % des Gesamtrisikos ebenfalls nicht ganz

unbedeutend und die restlichen Gefährdungsbereiche teilen sich auf die verbleibenden 8 % des Risikos auf.

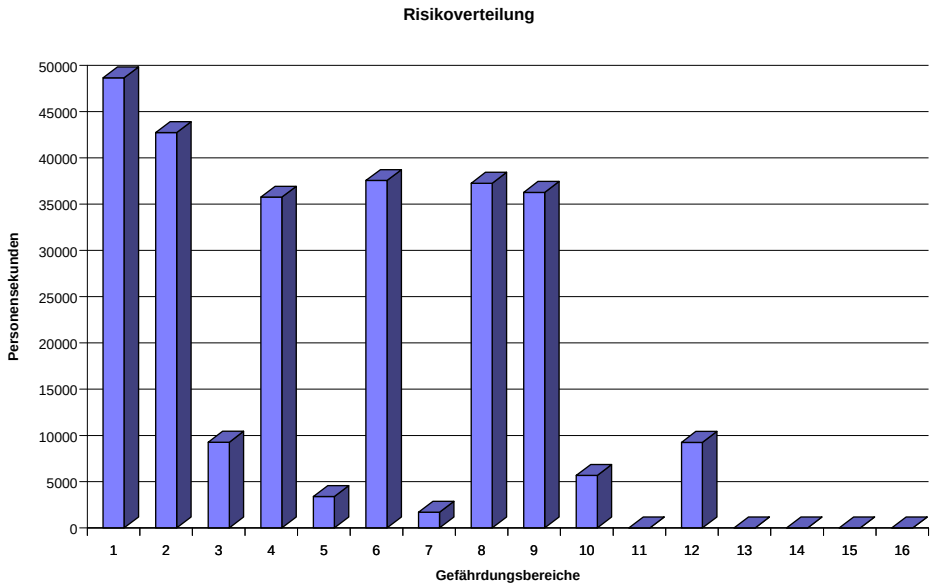


Abb. 21: Risikoverteilung auf die Gefahrenbereiche in absoluten Zahlen

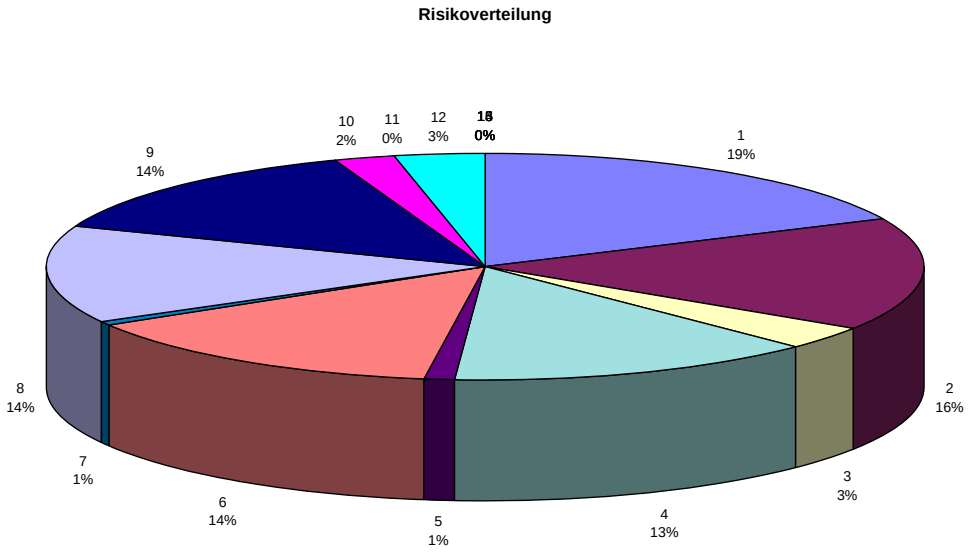


Abb. 22: Risikoverteilung auf die Gefahrenbereiche in relativen Zahlen

3.3.3. Schadausmaß

Schifahrer dürfen auf keinen Fall von Lawinen erfaßt werden. Darum wurde die Ausmaßwahrscheinlichkeit überhaupt nicht berücksichtigt.

3.3.4. Aversionsfaktor

Hier wurde der ohnehin schwer bewertbare Aversionsfaktor weggelassen, da nur eine Katastrophenart, nämlich Lawinenunglücke betrachtet wurde.

4. Ergebnisse, Gefahrenbeurteilung und Maßnahmen zur Verbesserung der Lawinengefährdungssituation

4.1. Hauptgefährdungsbereiche

Grundsätzlich ist im Untersuchungsgebiet Moostal-Rendl eine Gefährdung durch Lawinen aufgrund der Lage oberhalb der Waldgrenze und aufgrund der entsprechenden Geländeneigungen zwischen 25 und 35 ° in fast allen Bereichen gegeben. Stabilisierend wirkt neben der günstigen Exposition West, wodurch diese Hänge immer mehr oder weniger im Luv sind, die starke Befahrung der Hänge durch Variantenschifahrer sowie die ständige künstliche Auslösung der Schneemassen durch das Seilbahnunternehmen.

4.1.1. Karrinnen

Diese kleinen Schneerutsche südlich der Bergstation der Riffelbahn II bedrohen die Route 8 (19 % des Gesamtrisikos) im mittleren Bereich. Eine eigentliche Gefährdung der Route 8 ist nur durch die Lawinen 1a bis 1c gegeben, während die anderen Lawinen 1d bis 1g höchstens bis auf eine, nur hin und wieder präparierte Zusatzpiste südlich der Bergstation der Riffelbahn I treffen können.

4.1.2. Große Rinne

Die Hauptgefährdung (43 % des Gesamtrisikos) für den Kreuzungspunkt der Pisten 9, 9a und 6 stellt die Lawine 2 dar, die in einer ausgeprägten Rinne relativ gut kanalisiert ist. Im oberen Teil quert zwar eine Sprengseilbahn zweimal das Anbruchsgebiet, jedoch sind die beiden Seilstränge für normale Sprengladungen fast zu weit voneinander entfernt, sodaß in diesem Bereich keine optimale Wirksamkeit der Sprengseilbahn gegeben ist.

4.1.3. Bereich oberhalb der Route 6

Oberhalb der Route 6 und der Ausweichschleife der Piste 2 nach Süden gibt es 3 kleine Rinnen, in denen sich die Schneemassen der darüberliegenden relativ kleinen Abbruchgebiete konzentrieren können. Dieser Bereich wird durch eine Sprengseilbahn abgesichert (3 % des Gesamtrisikos).

4.1.4. Gandhang

In diesem Bereich gibt es bereits eine umfangreiche Anbruchsverbauung, die den steilsten und gefährlichsten Teil des Anbruchsgebietes sehr gut abdeckt. Jedoch sind daneben noch genügend große Flächen im Grenzbereich der Geländeneigung vorhanden, wo bei sehr ungünstigen Verhältnissen zwar durchaus Lawinen abgehen können, wo es aber sehr schwierig ist, mit künstlichen Lawinenauslösungen erfolgreich zu sein (14 % des Gesamtrisikos). Neben der Anruchsverbauung ist hier eine Einzelwurfeinrichtung (Lawinenpfeife) im Testbetrieb in Verwendung.

4.1.5. Nahbereich der Stütze 5 der Rendlbahn

In diesem Bereich gibt es einige Schneestützwerke, jedoch ist das Gelände schon im direkten Pistenbereich sehr steil und nur zum Teil bestockt, sodaß immer wieder kleinere Schneerutsche bis auf die Talabfahrt vorstoßen können, und zwar auf einen Bereich, wo sehr viele Schifahrer kurz abschwingen (16 % des Gesamtrisikos).

4.1.6. Bereich oberhalb der Steilstufe der Talabfahrt

Dieser Lawinenstrich hat im Längsprofil einen Flachbereich, und wird von Variantenschifahrern gerne befahren, wodurch eine gewisse Stabilisierung zu erwarten ist (3 % des Gesamtrisikos).

4.1.7. Roßtobel

Hier quert die Sturzbahn einer Lawine die Talabfahrt auf einem relativ eng begrenzten Bereich (0 % des Gesamtrisikos).

4.1.8. Nordwesthangwaldlawine

Aus dem schütteren Wald des Nordwesthangges in der Nähe der Talstation der Rendlbahn können bei besonders ungünstigen Bedingungen Waldlawinen abbrechen, die bis auf das letzte Flachstück der Talabfahrt gelangen können (0 % des Gesamtrisikos).

4.2. Vorgeschlagene Maßnahmen

4.2.1. Karrinnen

Dieser Bereich kann durch Handsprengungen am besten abgesichert werden. Die entscheidenden Rinnen sind relativ einfach von der Bergstation der Riffelbahn II zu erreichen und durch die Handsprengung kann eine gezieltere Plazierung der Sprengladungen, in diesem sehr kleinstrukturierten Gebiet, bewirkt werden. Außerdem kann man diesen Bereich relativ leicht absperren, wenn man an kritischen Tagen den Lift erst gar nicht in Betrieb nimmt.

4.2.2. Große Rinne

Der Bereich direkt unterhalb der Stütze 2 der Sprengseilbahn, kann durch diese nicht optimal erreicht werden. Außerdem ist der Abstand der beiden Seilstränge hier zu groß, um eine flächendeckende Wirkung der normalen Sprengladungen zu gewährleisten. Eine Möglichkeit den stark frequentierten Kreuzungsbereich der Pisten 9, 9a und 6 zu sichern, ist die Umleitung der Schifahrer über die Schibrücke und die Abfahrt in der Fallinie direkt nördlich davon, die als ziemlich lawinensicher anzusehen ist. Dazu sollte aber ein Zaun mit entsprechenden Hinweistafeln ganz bis auf den Salzboden aufgestellt werden, um zu Verhindern, daß sich die Schifahrer beim Versuch, doch noch das Restaurant zu erreichen, weiter unten wieder in den Gefährdungsbereich begeben. Eine bedeutende Verbesserung der Situation würde eine Gasexkanone etwa 50 m unterhalb der Stütze 2 der Sprengseilban bedeuten, mit der das mit der Sprengseilbahn nicht zu erreichende Gebiet abgedeckt werden könnte. Außerdem wäre auch die Sprengwirkung bedeutend höher und die Bedienung einfacher.

4.2.3. Bereich oberhalb der Route 6

Dieser Bereich kann durch die Sprengseilbahn sehr gut abgesichert werden. Der obere Seilstrang verläuft in den steilsten Bereichen der Anbruchgebiete relativ knapp unterhalb der Felsen, die den Gipfelaufbau des Gampberggrates bilden und der untere Strang geht einer Geländekante entlang, an der abermals eine Versteilung auftritt.

4.2.4. Gandhang

Die Einzelwurfeinrichtung (Lawinenpfeife) erscheint hier in Bezug auf den zu erwartenden Erfolg von künstlichen Auslösungen am vernünftigsten, da man damit einen sehr großen Bereich abdecken kann und es hier keinen ausgeprägten Standort für die Initiierung eines Lawinenanbruches gibt. Absperrungen, insbesondere im Bereich der Einfahrt in das Wannele und die ständige Beurteilung der Schneedecke durch die Lawinenkommission erscheinen hier besonders wichtig.

4.2.5. Nahbereich der Stütze 5 der Rendlbahn

Dieser Bereich liegt an der Waldgrenze und es sind vereinzelt Bäume vorhanden. Durch Aufforstungsmaßnahmen könnte hier langfristig eine bedeutende Verbesserung der Situation herbeigeführt und die Schneerutsche auf die Talabfahrt verhindert werden. Um in dem steilen Gelände einen geschlossenen Bestand aufzubringen, wären jedoch Gleitschneeschutzmaßnahmen erforderlich.

Literatur

AULITZKY, H. (1961): Über die Windverhältnisse einer zentralalpinen Hangstation in der subalpinen Stufe; Mitteilung der FBVA Mariabrunn, Heft 59; 1961

BAKKEHOI, S., DOMAAS, U., LIED, K.(1983): Calculation of snow avalanche runout distance, Annals of Glaciology 4, S. 24-29, 1983

FLIRI, F. (1962): Wetterlagenkunde von Tirol; Universitätsverlag Wagner, Innsbruck - München

FLIRI, F. (1975): Das Klima der Alpen im Raume von Tirol; Universitätsverlag Innsbruck - München

GABL, K. (1985): Meteorologie der Lawinen; Beitrag zum Lawinenhandbuch; Tyrolia Verlag, Innsbruck - Wien

GUBLER, H. (1995): Vorlesungsunterlagen anläßlich eines Vortrages am Institut für Wildbach- und Lawinenschutz: Risiko - Lawinenbildung - Lawinendynamik

GUBLER, H. (1992): Programm Lawsim zur Berechnung der Auslauflängen von Fließlawinen nach Voellmy, Salm, Gubler

HÖLLER, P. (1987): Ein Beitrag zur differenzierten Schneehöhenermittlung unter Berücksichtigung der Seehöhe und der Lage zu den wetterbestimmenden Niederschlagsfronten; Wetter und Leben 39, S. 139-142

HOLZKNECHT, H. (1997): mündliche Mitteilungen aus privaten Aufzeichnungen

KLEEMAYR, K., VOLK, G. (1996): Programm Energy Line Based Avalanche Model, Aufsatz auf das GIS-Programm Arc/Info

LAATSCH, W.,ZENKE, B., DANKERL, J. (1981): Verfahren zur Reichweiten- und Stoßdruckberechnung von Fließlawinen; Forstliche Forschungsberichte München Nr. 47

LACKINGER, B. (1985): Betrachtungen zum Bruchmechanismus von Lawinen; Festschrift o. Prof. R. Jelinek, Inst. f. Grundbau und Bodenmechanik, TU München (1979); Beitrag zum Lawinenhandbuch

LAUSCHER, F. (1970): Ein Diagramm zur klimatischen Abschätzung größter Schneehöhen; Wetter und Leben 21 5/6, S. 117-124

LIED, K., BAKKEHOI, S. (1980): Empirical calculations of snow avalanche runout distance based on topographic parameters, Jeurnal of Glaciology, Vol. 26, No. 94, S. 165-177, 1980

MAYER, H. (1974): Wälder des Ostalpenraumes; Gustav Fischer Verlag, Stuttgard 1974

PLATZER, M., SIMMA, S. (1996): Interaktives Programm für die Berechnung der Auslauflängen von Fließlawinen nach Lied et al. (1995), Aufsatz auf Matlab

SALM, B., BURKHARD, A., GUBLER, H. (1990): Berechnung von Fließlawinen, Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen, Mitteilungen des Eidgenössichen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Nr. 47, Weissfluhjoch/Davos, 1990

SHAERER, P. (1989): The Avalanche-Hazard Index, Anals of Glaciology 13, S. 241-247, 1989

STROLZ, W. (1997): mündliche Mitteilungen aus privaten Aufzeichnungen

VOELLMY, A. (1955): Über die Zerstörungskraft von Lawinen; Schweizerische Bauzeitung, Jahrgang 73, Hf 12m, S. 159-162

VOLK, G. (1996): Bericht über das Energy Line Based Avalanche Model