Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung
Institut fédéral pour l'étude de la neige et des avalanches
Istituto fédérale per lo studio della neve e delle valanghe

Weissfluhjoch-Davos

meinem lieben
Arbeitskollegen Stefan

Interner Bericht Nr. 668

André Bur.
23.4.92

Die Bestimmung der mittleren Anrissmächtigkeit d_o zur Berechnung von Fliesslawinen

Der Institutsleiter:

W. Good

(W. Good)

Die Autoren:

A. Burkard / B. Salm

(A. Burkard) / (B. Salm)

Davos Dorf, 20. Februar 1992/Fei

32672/5

INHALTSANGABE

		Seite
1.	Einleitung	1
2.	Annahme und Beurteilung der Anrissmächtigkeit d_o	1
3.	Ausgangsdaten	5
3.1	3-tägige ΔHS-Zuwachswerte (klimatisch möglicher Schneehöhenzuwachs)	5
3.1.1	Bestimmung des Faktors F(30/300)	5
3.2	Festlegung der Basiswerte d_o* für Hangneigung ψ = 28°	7
3.3	Die Festlegung der Neigungsabhängigkeit	8
3.4	Regionen der Schweiz Alpen, geordnet nach abnehmendem Schneehöhenzuwachs in drei Tagen für eine Wiederkehrdauer T = 100 Jahren	12
4.	Die Bestimmung der Anrissmächtigkeit in den letzten 15 Jahren	12
4.1	Vorlesung de Quervain (1979/80)	12
4.2	Kurs für Lawinengefahrenkartierung 1984	14
4.3	Berechnung von Fliesslawinen - Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen	15
5.	Bemerkungen	15
6.	Literatur	16

1. EINLEITUNG

Der Grad der Lawinengefährdung wird in besiedelten Gebieten durch die Druckwirkung (30 kN/m²-Linie) und Wiederkehrdauer (bis zu 300 Jahren) von Lawinen bestimmt. In einem bestimmten Lawinenzug sind Lawinen mit einem grossen Ausmass seltener als solche mit einem kleinen. Aus einer gegebenen Wiederkehrdauer kann damit das zugehörige Ausmass abgeschätzt werden. Lawinentechnische Berechnungen führen vom Ausmass direkt auf den entsprechenden Lawinendruck. Der an einem bestimmten Ort auftretende Druck ist daher mit der Wiederkehrdauer gekoppelt. Für die seltenen und massgebenden Niedergänge - die in der Regel (noch) nicht beobachtet wurden - müssen die Drücke und Frequenzen daher meist rechnerisch bestimmt werden. Dazu wird im Institut das deterministisch-statistische Voellmy-Salm Modell verwendet. In diesem sind die Auslaufstrecken und Druckwirkungen etwa proportional zur mittleren Anrissmächtigkeit d_o des anreissenden Schneebrettes. Andererseits ist d_o mit der Wiederkehrdauer verknüpft, was die Auslaufstrecken zu einer statistischen Grösse mit einer bestimmten Eintretenswahrscheinlichkeit macht.

De Quervain schrieb 1974 [1] zur Problematik der Bestimmung der Anrissmöglichkeiten: *"Die ganze Betrachtung wurde weitgehend auf fiktive Zusammenhänge aufgebaut, und es stellt sich die berechtigte Frage, wie man zu konkreten Unterlagen gelangen kann. Auf lange Frist wird die Statistik der Schneefalldaten und der Anrisshöhen Werte zu den gesuchten Funktionen beisteuern. Auch schneemechanische Experimente können Beiträge erbringen. Für die Gegenwart muss man sich weiterhin auf Erfahrungswerte von Anrissmächtigkeiten aus Katastrophengebieten stützen, oder solche aus extremen Auslaufstrecken rückwärts berechnen. Wesentlich ist zunächst, dass man zwischen schneereichen und schneearmen Gebieten eine vernünftige Abstufung in der Anrissmächtigkeit von Lawinen gleicher Häufigkeitskategorie vornimmt, oder innerhalb einer Klimaregion eine solche Variation berücksichtigt, wenn Lawinen verschiedener Häufigkeit zu behandeln sind."*

Heute ist man in der Lage, zwischen schneearmen und schneereichen Klimaregionen eine quantitative Abstufung vorzunehmen. Die Grundlagen und Annahmen, die zu dieser quantitativen Bestimmung der Anrissmächtigkeit d_o beitragen, werden im vorliegenden Bericht aufgezeigt.

Durch die angemessene Wahl der Anrissmächtigkeit d_o in verschiedenen Klimaregionen der Schweizer Alpen kann die gleiche Gefahrenskala in allen Gefahrenkarten und baulichen Lawinenschutzmassnahmen erreicht werden. Dies manifestiert sich in der Berechnungsanleitung von Fliesslawinen für Praktiker [2].

2. ANNAHMEN UND BEURTEILUNG DER ANRISSMÄCHTIGKEIT d_o

Die hauptsächlichen Einflussfaktoren von d_o sind nach [3]:

<u>Neuschnee</u>: Hier wird das innerhalb von drei aufeinander folgenden Tagen klimatisch mögliche Niederschlagsangebot berücksichtigt (siehe Figur 1). Die Berücksichtigung längerer Niederschlagsperioden hat sich als unwesentlich erwiesen. Es wird also

angenommen, dass grosse Lawinen - im Gegensatz zu sog. Skifahrerlawinen - immer durch Niederschläge verursacht werden und dass im wesentlichen nur der Neuschnee abgleitet. Untersuchungen haben dies im wesentlichen bestätigt, obschon gelegentlich auch Anrisse im Altschnee möglich sind. Im weiteren werden die Wiederkehrperioden der Neuschneezuwächse denjenigen der entsprechenden Lawinen gleichgesetzt (konservative Annahme).

Hangneigung: Die Scherfestigkeit begrenzt die an einem Hang abgelagerte Neuschneemenge. Bevor also das klimatisch mögliche Niederschlagsangebot erreicht wird, gleitet der Schnee ab. Die Festigkeit wird gemäss Coulomb-Mohr (siehe Abschitt 3.3) angenommen, wobei sie aber bei grösseren Niederschlägen ebenfalls grösser sein soll. Anderenfalls wären - bei einer immer gleichen Festigkeit - die Anrissmächtigkeiten bei gleicher Hangneigung immer gleich, unabhängig von der Wiederkehrdauer und vom Klima.

Triebschnee: An Leehängen sind die Neuschneemengen und damit d_o durch Windtransport örtlich erhöht (man beachte die vorherrschenden Windrichtungen bei Niederschlägen).

Die mittlere Anrissmächtigkeit d_o (gemittelt über das ganze potentielle Anrissgebiet, entspricht in der Regel nicht einer mittleren Anrissmächtigkeit entlang einer beobachteten Anrisslinie) senkrecht zum Hang wird bestimmt aus:

$$d_o = d_o^* \; f(\psi_o) \qquad [m]$$

base value dependent from regional climate, meaning possible increase of snow cover thickness in 3 days and its RI

d_o^* Basiswert, abhängig vom regionalen Klima, d.h. möglicher Zuwachs der Schneemächtigkeit in drei Tagen und dessen Wiederkehrperiode T.

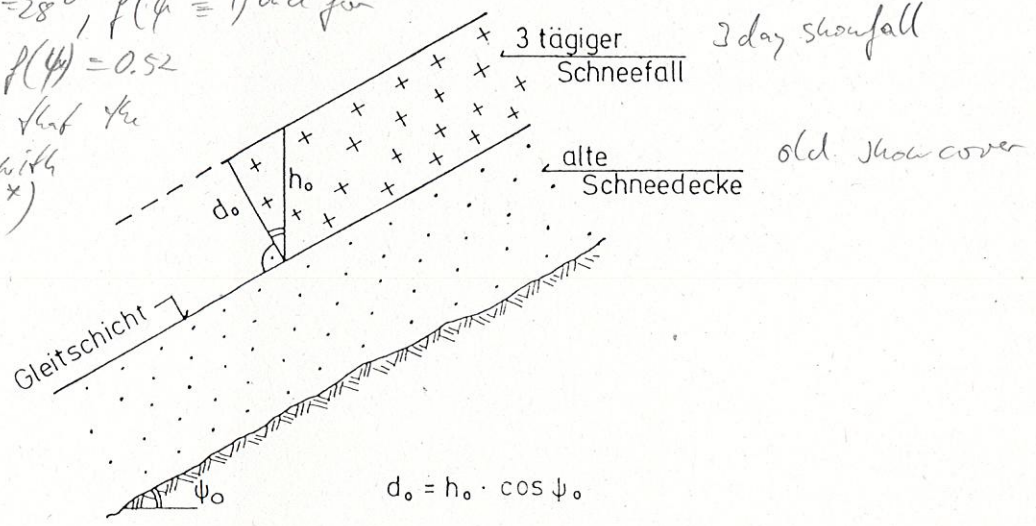
$f(\psi)$ Neigungsfaktor, gegeben durch die Abnahme der Stabilität (Verhältnis der Scherfestigkeit zur Scherspannung) mit der Zunahme der Hangneigung. Für $\psi = 28°$ ist $f(\psi) \equiv 1$ und für $\psi = 45°$ ist $f(\psi) \equiv 0.52$ (erfahrungsgemäss wächst die Festigkeit mit der Zunahme von d_o^*, siehe Kap. 3.3).

slope factor, given by the stability (ratio of shear strength to shear stress) and with the increase in slope.

For $\psi = 28°$, $f(\psi = 1)$ and for $\psi = 45°$, $f(\psi) = 0.52$

(experience shows that the strength increases with an increase in d_o^*)

Figur 1

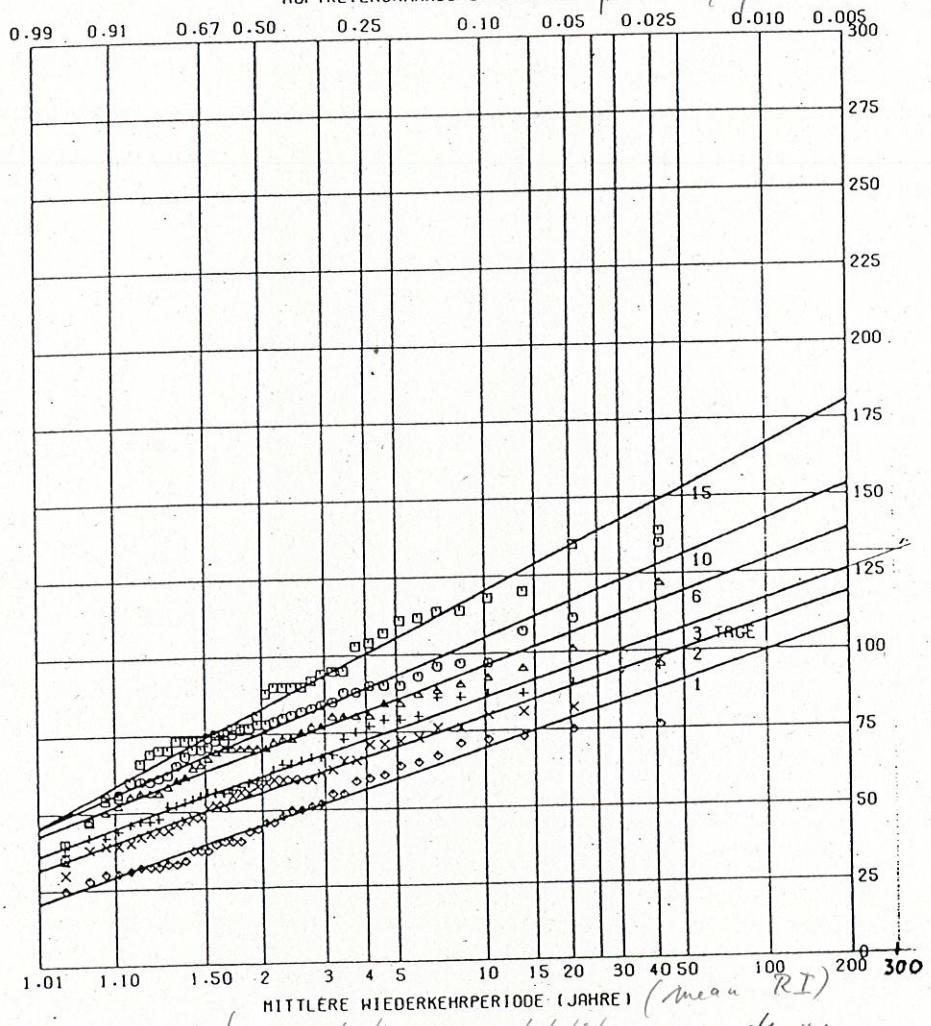


Figur 2 nach [4]

ULRICHEN (place) 41/42 - 81/82
(40 JAHRE)

MAXIMALE SCHNEEDECKEN-ZUWACHSWERTE IN 1 - 3. 6. 10. 15 TAGEN
snow cover - increase days

1. EXTREMALVERTEILUNG
extreme distribution



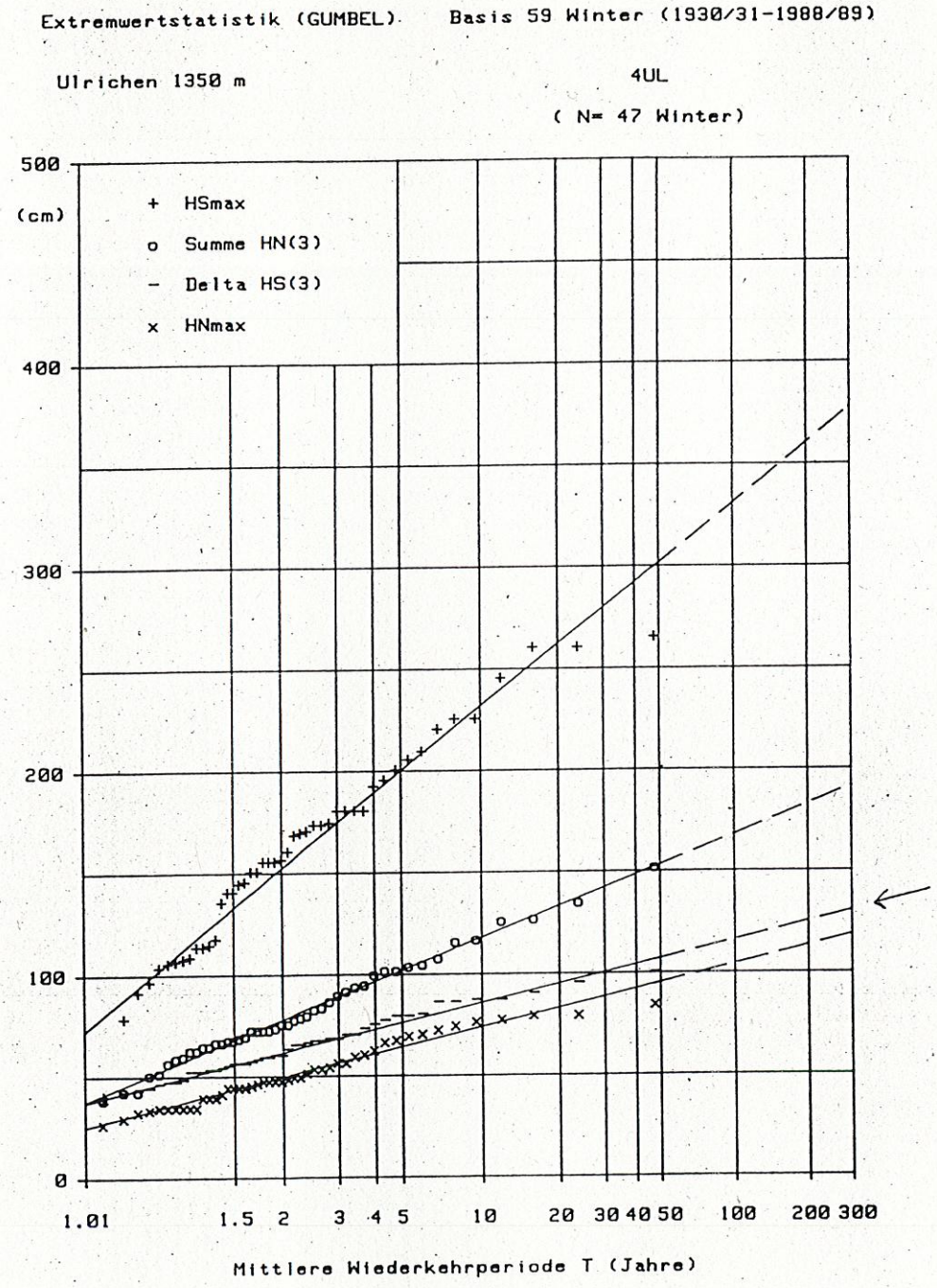
increase values with probability during
HS-ZUWACHSWERTE, DIE MIT X % WAHRSCHEINLICHKEIT WAEHREND
years during/day at least once
100 JAHREN AN 1 TAG MINDESTENS EINMAL AUFTRETEN KOENNEN:

95.0 %:	85 CM	10.0 %:	129. CM
63.2 %:	100 CM	5.0 %:	138 CM

can happen

GIUB. PF/WT 27.08.85

Figur 3 [SLF, Sektion I, R. Meister]



mean RI

Die Anrissmächtigkeit d_o ist zusammenfassend eine kombinierte Grösse aus Klima, Schneemechanik und Topographie.

3. AUSGANGSDATEN

Die wichtigsten Grundlagen bilden die gesammelten und seit einigen Jahren ausgewerteten Schneedaten der Vergleichsstationen und Messstellen (SLF-Beobachternetz) in den Schweizer Alpen. Die Schneedaten weisen Messreihen zwischen 20 und 60 Jahren auf. Die Ausgangsdaten stammen von horizontal angelegten Messfeldern (Höhenlage 1'100 ÷ 2'800 m ü.M.). Wie gelangt man nun von den Ausgangsdaten zu den Anrissmächtigkeiten unterschiedlicher Wiederkehrdauer und Klimaregion?

3.1 3-tägige ΔHS-Zuwachswerte (klimatisch möglicher Schneehöhenzuwachs)

Die Daten der jeweiligen Vergleichsstationen und Messstellen wurden vom Geographischen Institut der Uni Bern [4] (unter der Führung vom Institut SLF) bis 1982 bearbeitet (Figur 2). Ab diesem Jahr werden sie von der SLF-Sektion I (Sekt. Föhn) stationsweise nachgeführt und aktualisiert (Figur 3).

Die ΔHS-Ausgangswerte entsprechen einem 3-tägigen Zuwachs der Schneedecke auf horizontalen Feldern. Die Extrapolation der 30 ÷ 60-jährigen Zuwachswerte ermöglicht hier die Extremwertstatistik (Gumbel).

Im weiteren ist noch ein ΔHS-Höhengradient zu berücksichtigen: Die mittlere Höhenlage der Messfelder und Vergleichsstationen liegt zwischen 1'100 und 2'800 m ü.M., im Mittel auf etwa 1'600 m ü.M. Andererseits liegen die Lawinen-Anrissgebiete höher, so dass eine ΔHS-Höhengradient berücksichtigt werden muss. Nach [5] Seite 155 ff. beträgt dieser etwa zwischen 3 ÷ 7 cm/100 Höhenmeter je nach Region. Wir schlagen einen Wert von 5 cm/100 Höhenmeter vor. Zudem schlagen wir eine Referenzhöhe von 2'000 m ü.M. vor, weil bei höher gelegenen Gebieten die Windwirkung dominiert und daher Triebschneeablagerungen berücksichtigt werden müssen (das dabei zur Berechnung massgebende d_o* ist der Mittelwert über das ganze Anrissgebiet).

3.1.1 Bestimmung des Faktors F(30/300)

Der 3-tägige ΔHS-Zuwachswert mit einer Wiederkehrdauer T = 30 Jahre ist ein gesicherter Messwert. Die Extrapolation anhand der Extremwertstatistik (Gumbel) auf einer Wiederkehrdauer T = 300 Jahre ist natürlich mit einer zunehmender Streuung verbunden. Es stellt sich hier die Frage, ob aus 30 ÷ 60-jährigen Messreihen auf 300 Jahre extrapoliert werden darf und wie zuverlässig diese Werte sind. Allgemein gilt die Regel, dass höchstens über etwa die dreifache Messperiode extrapoliert werden darf. Trotz der etwas knappen Messperiode sind wir gezwungen die Extrapolation durchzuführen. Die Auszählung (über 66 Stationen) der 3-tägigen ΔHS-Zuwachswerte T = 30 Jahre und T = 300 Jahre ergibt ein Verhältnis F der 300- zu den 30-jährigen

Werten zwischen 1.30 und 1.45 ($F_{mittel} \cong 1.37$). Im übrigen sind keine regional signifikante Unterschiede erkennbar. Für unsere weiteren Betrachtungen berücksichtigen wir **F = 1.4**. In den beiden folgenden Tabellen A und B werden die grössten und kleinsten Zuwachswerte sowie die stationsweise Berücksichtigung der Höhenlage (siehe 3.1) für T = 30 Jahre zusammengefasst. Diese Werte werden dann mit dem Faktor 1.4 auf 300-jährige Werte extrapoliert.

Tabelle A

ΔHS-Zuwachs: gross (increase) / Stationen	m (ü.M.) (above sealevel)	Anzahl (number of) Winter bis (until) 88/89	ΔHS T=30 J. [cm]	Korrektur Höhenlage 5 cm/ 100 m [cm]	ΔHS-Referenzwert (value) 2000m ü.M. T=30 J. [cm]
Tessin:					
- Campo Blenio	1193	37	150	40	190
- Bosco-Gurin	1490	39	150	25	175
- Ritom-Piora	1800	32	140	10	150
- Bedretto*)	1400	36	160	30	190
- St.Gotthard**)	2095	40	200	-5	195
andere (others):					
- Braunwald	1340	38	135	35	170
- Grimsel	1970	40	165	-	165

*) SLF-Station nicht mehr in Betrieb: 1945-1981 (station not longer in service)

**) SLF-Station nicht mehr in Betrieb: 1931-1971

gemittelt: $\Delta HS_{30} \cong 170$ cm (mean)

Tabelle B

ΔHS-Zuwachs: klein Stationen	m ü.M.	Anzahl Winter bis 88/89	ΔHS T=30 J. [cm]	Korrektur Höhenlage 5 cm/ 100 m [cm]	ΔHS-Referenzwert 2000m ü.M. T=30 J. [cm]
Engadin:					
- Samedan	1710	39	70	15	85
- Bever*)	1710	50	85	15	100
- Zuoz	1710	46	80	15	95
- La Drossa	1710	39	80	15	95
- Pontresina	1840	39	95	8	108
andere:					
- Bivio	1770	36	95	7	102
- Innerferrera	1480	40	80	25	105
- Grimentz	1570	36	85	20	105

*) SLF-Station 1989 nicht mehr in Betrieb: 1931-1981

gemittelt: $\Delta HS_{30} \cong 100$ cm

Mit dem Faktor 1.4 und ΔHS(gross) und ΔHS(klein) für T = 30 Jahre erhalten wir unsere 300-jährigen Werte zu:

ΔHS-gross	(schneereich):	ΔHS (T = 300 Jahre) = 170 · 1.4 = 238 cm
ΔHS-klein	(schneearm):	ΔHS (T = 300 Jahre) = 100 · 1.4 = 140 cm

3.2 Festlegung der Basiswerte d_o* für Hangneigung ψ = 28°

Die ΔHS-Zuwächse sind lotrecht (auf horizontale Felder) gemessene bzw. extrapolierte Werte. Für die lawinentechnischen Berechnungen sind aber Werte senkrecht zum Hang einzusetzen (Figur 1). Mit der Festlegung des potentiellen Anrissgebietes zwischen 28 ÷ 50°, legen wir zuerst den Basiswert d_o* für ψ = 28° fest, indem wir annehmen, dass sich auf 28° ebensoviel Schnee wie auf ebenem Gelände ansammeln kann. Mit zunehmender Hangneigung ist dann eine Neigungsabhängigkeit f(ψ) zu berücksichtigen (Kapitel 2).

$$\Rightarrow \quad d_o^* (\psi = 28°) = \Delta HS \cos 28°$$

RI

base value

Wiederkehrdauer Tr (Jahre)	Basiswert d_o* (ψ = 28°)	
	klein, small [cm]	gross — large
30	88	150
100	107	182
300	123	210

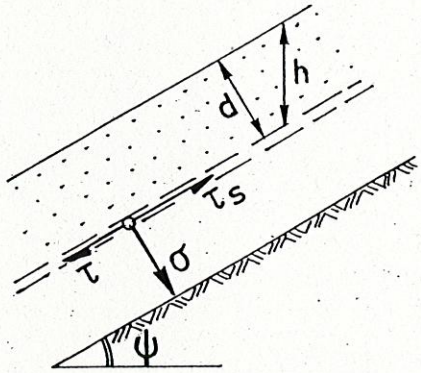
3.3 Die Festlegung der Neigungsabhängigkeit

Die Neigungsabhängigkeit wird durch den Neigungsfaktor $f(\psi)$ berücksichtigt. Ein allgemeines Kriterium für die Bestimmung der Stabilität ist (noch) nicht bekannt. In Anlehnung an die Bodenmechanik wird in der Schneemechanik das einfache Kriterium nach Coulomb-Mohr verwendet. Ein Bruch entsteht, wenn die Stabilität $s \leq 1$, wobei s das Verhältnis zwischen der Festigkeit einer schwachen Zwischenschicht und der Scherspannung ist.

Zum erwähnten Neigungsfaktor $f(\psi)$ gelangen wir wie folgt:
the slope factor $f(\psi)$ we obtain by

abgelagerte Schicht
deposited layer

glide layer given by
Gleitschicht gegeben
a weak thin layer
durch schwache, dünne
Schicht



$$\textit{Bruch bei } \frac{\tau_s}{\tau} \leq 1$$

shear strength
Scherfestigkeit $\tau_s = c + \sigma \, tg\varphi$ (Coulomb-Mohr)
Scherspannung $\tau = \rho \, g \, d \, \sin\psi$
shear stress

wobei: Normalspannung $\sigma = \rho \, g \, d \, \cos\psi$
normal stress
φ = Winkel der inneren Reibung (angle of internal friction)
c = Kohäsion
d = Anrissmächtigkeit (allgemein) (d_o). in general

$$\frac{\tau_s}{\tau} = 1 = \frac{c + \sigma\, tg\varphi}{\rho\, g\, d \sin\psi} = \frac{c}{\rho\, g\, d \sin\psi} + \frac{\rho\, g\, d \cos\psi}{\rho\, g\, d \sin\psi}\, tg\varphi$$

$$d = \frac{c}{\rho\, g \sin\psi} + \frac{tg\varphi}{tg\psi}\, d$$

$$d\,(1 - \frac{tg\varphi}{tg\psi}) = \frac{c}{\rho\, g \sin\psi}$$

$$d = d_o = d_{kr} = \frac{\frac{c}{\rho \cdot g}}{\sin\psi - tg\varphi \cos\psi}$$

critical do

d_{kr} = kritische Anrissmächtigkeit

Der Neigungsfaktor f(ψ) ergibt sich zu:
The slope factor is obtained as:

$$f(\psi) = \frac{d_o}{d_o^*} = \frac{\frac{1}{\rho g}\,\frac{c}{d_o^*}}{\sin\psi - tg\varphi \cos\psi}$$

Für die beiden Werte c und φ wird gemäss Erfahrungswerten von Anbruchhöhen folgendes angenommen:
Für die **Kohäsion** wird postuliert, dass

$$\frac{1}{\rho\, g}\,\frac{c}{d_o^*} = konst. = 0.291, \; also \;\; c = 0.291\, \rho\, g\, d_o^*.$$

Sie wächst also proportional zu d_o*. Allgemein hängt sie vom zeitabhängigen Sintern der Körner ab (Verstärkung der Bindungsstellen zu Nachbarkörnern). Ganz grob gesehen wird mit d_o* der Sinterungsprozess gefördert (grössere Auflast auf die Gleitschicht und allgemein grösserer Zeitbedarf bis eine mächtigere Schneeschicht aufgebaut ist).

Für den **Winkel der inneren Reibung** soll gelten

$$tg\varphi = konst. = 0.202 \qquad (\varphi = 11.4°).$$

Er wird also als unabhängig von d_o* betrachtet, da er wahrscheinlich vor allem von der Kornform in der Gleitfläche ("Rauhigkeit" der Bruchfläche) abhängt.

Als Vergleich zu gemessenen Werten stehen nur diejenigen von Roch (1966) [8] zur Verfügung. Er hat Scherrahmenmessungen mit veränderlicher Auflast durchgeführt. Im massgebenden Spannungsbereich von etwa 1 bis 2 kN/m² wurden folgende Werte erhalten.

type of snow

new snow

fine grained sn.

Schneeart	tgφ φ	c
Neuschnee	0.35 19.3°	0.8 kN/m²
feinkörniger Schnee	0.65 33.0°	2.2 kN/m²
Neuschnee	0.45 24.2°	0.45 kN/m²

Im Vergleich dazu betragen die angenommenen Werte:
In comparison the assumed values are:

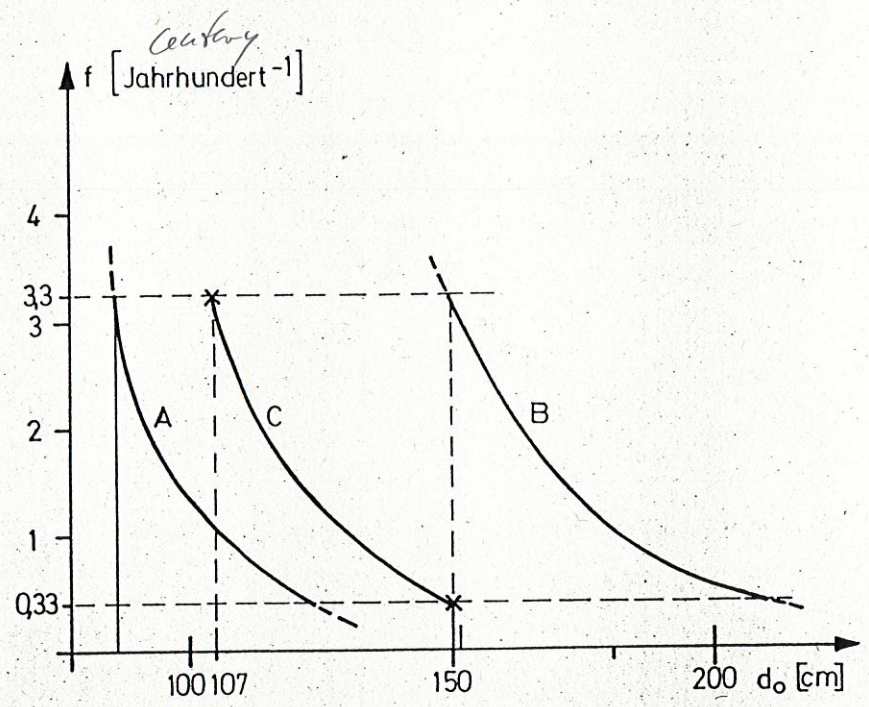
ρ	d_o*	c
150 kg/m³	1 m	0.43 kN/m²
	2 m	0.86 kN/m²

Sie liegen also im Bereich der Messwerte.
The are within the measured values

Der angenommene Wert für tgφ = 0.202 liegt hingegen tiefer. Die Werte von Roch scheinen aber eher gross. Da Schneebrettlawinen bereits bei 25° anbrechen können, muss in gewissen Fällen φ < 25° sein. Es wurde also eine glatte und feinkörnige Bruchfläche angenommen. Aus den Messungen von Roch ist eine steigende Tendenz von φ mit zunehmender Korngrösse ersichtlich.

ψ_{om}	28	30	32.5	35	37.5	40	45	50
$f(\psi)$	1.00	0.90	0.79	0.71	0.65	0.60	0.52	0.46

ψ_{om}: Hangneigung [°] slope
$f(\psi)$: Hangneigungsfaktor [1] slope factor



number of 3-day snowfall periods/century which yield an increase of d_o^* at slope $\psi_o = 28°$ in climatic regions A, B and C and more

Figur 4 Anzahl der 3-tägigen Schneefallperioden pro Jahrhundert, die in einem Anrissgebiet einer Hangneigung $\psi_o = 28°$ einen Zuwachs der Schneemächtigkeit d_o^* und mehr in den Klimagebieten A, B und C erbringen.

Für $\psi_o = 28°$ gilt: $d_o^* = d_o$; f = Frequenz

<u>Klimaregion A</u> (z.B. Teil des Engadins)

f = 3.3 (T = 30 Jahre): d_o^* = 90 cm
f = 0.33 (T = 300 Jahre): d_o^* = 125 cm

<u>Klimaregion B</u> (z.B. Gotthardgebiet)

f = 3.3 (T = 30 Jahre): d_o^* = 150 cm
f = 0.33 (T = 300 Jahre): d_o^* = 210 cm

3.4 Regionen der Schweizer Alpen, geordnet nach abnehmendem Schneehöhenzuwachs in drei Tagen für eine Wiederkehrdauer T = 100 Jahren

Schneehöhenzuwachs	Region
gross	Nordtessin/Simplon
	Gotthardgebiet
	Glarner Alpen
	Oestliches Wallis
	Zentralschweiz
	Prättigau (Rätikon)
	Mittleres Wallis
	Oestliches Berner Oberland
	Säntisgebiet
	Nordbünden (ohne Prättigau/Rätikon)
	Südbünden
	Mittelbünden
	Freiburger- und Waadtländeralpen
	Westliches Berner Oberland
	Westliches Wallis
klein	Engadin

4. DIE BESTIMMUNG DER ANRISSMÄCHTIGKEIT IN DEN LETZTEN 15 JAHREN

4.1 Vorlesung de Quervain (1979/80) [6]

Gemäss Skript S. 145 und 146:

Primäre Anrisshöhe d_o

Abhängig von Klimaregion, Hangexposition, Wiederkehrdauer und Neigung (statistisches Problem)

Es sei:

$d_o = d_o^* \cdot f(\psi)$ $\quad d_o^*$ Basiswert für $\psi = 35°$

$f(\psi)$ Neigungsabhängigkeit

scarp slope

d_o* Basiswert für Anrissneigung ψ = 35° (m)

RI Snow poor snowrich

Wiederkehrdauer T	schneearm	d_o*	schneereich
30 Jahre	0.6 m	bis (until) or up to	1.0 m
300 Jahre	1.5 m	bis	1.8 m
vorläufige Empfehlung!			

preliminary recommendation

Neigungsabhängigkeit: (slope dependance)

cond. of similar boundary stability (similar cohesion for all slopes according to equ.

Bedingung gleicher Grenzstabilität, d.h. gleicher Kohäsion, für alle Neigungen liefert nach Gl. 82 S. 99.

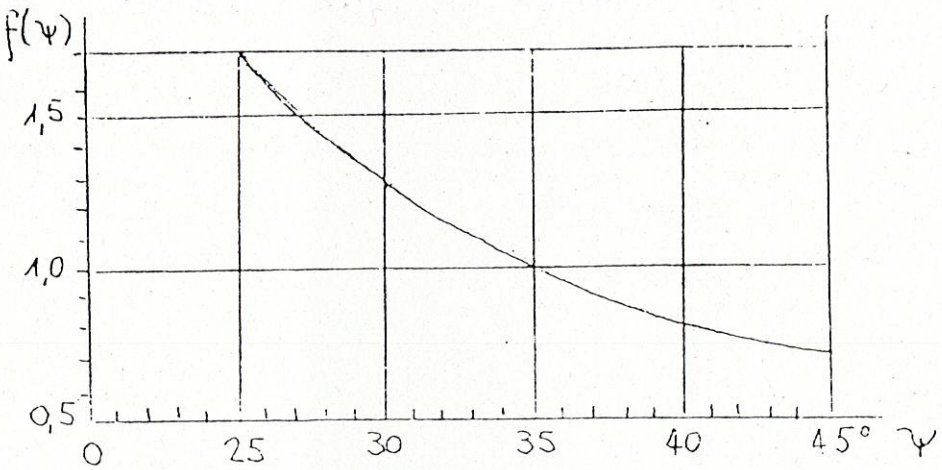
young snow normalized that it follows

$f(\psi) = k(\sin\psi + \nu \cos\psi)$.

Mit ν = 0.2 (junger Schnee) und k so normiert, dass f(35°) = 1, folgt k = (sin35 - 0.2 cos35) = 0.41

ψ =	25	27	29	31	33	35	37	39	41	43
$f(\psi)$ =	1.70	1.49	1.32	1.19	1.09	1.00	0.93	0.87	0.81	0.7

ψ = 45
$f(\psi)$ = 0.72



4.2 Kurs für Lawinengefahrenkartierung 1984 - Lawinentechnische Berechungen von B. Salm [7]

according to pages

Gemäss Seiten 1 und 2:

d_o is given by climate (extreme snowpack), predominant winds) and slope (at given snow strength)

Anrissmächtigkeit ist durch Klima (extreme Schneeniederschläge, vorherrschende Winde) und Hangneigung (bei festgelegter Schneefestigkeit) gegeben.

Sie ist sorgfältig festzulegen, da die Auslaufstrecken ungefähr proportional mit ihr zunehmen. proportional to d_o

$d_o = d_o^* \; f(\psi)$

- d_o Anrissmächtigkeit $d_o = h_o \cos\psi$
- h_o Anrisshöhe (lotrecht) scarp height (perpendicular)
- d_o^* klimaabhängiger Basiswert für $\psi = 35°$ (climate dependent basis value)
- $f(\psi)$ Neigungsabhängigkeit (slope dependency)

orientation values

Richtwerte für d_o^*

Wiederkehrdauer [Jahre] (RI)	Basiswert d_o^* ($\psi = 35°$) in [m] schneearm (snowpoor)	schneereich (snowrich)
30	0.6	1.0
300	1.0	1.6

Neigungsabhängigkeit $f(\psi)$

slope dependency — probability of occurrence — order of magnitude RI

Hangneigung (slope) [°]	$f(\psi)$ [1]	Häufigkeit des Auftretens	Grössenordnung Wiederkehrdauer [Jahre]
28 30	1.40 1.25	sehr selten – very rare	300
32.5 35	1.11 1.00	selten – rare	
37.5 40	0.91 0.84	relativ häufig – relatively frequent	≤ 30
45 50	0.72 0.64		

Zunahme der Lawinenhäufigkeit mit Hangneigung vor allem deshalb, weil bei grösseren Neigungen schon kleinere Zunahmen der Schneehöhe zu Lawinen führen (kleinere Neuschneefälle häufiger als grössere).

Increase of av. occurrence ~~but~~ with slope because at ~~larger~~ steeper slopes small increases in snowheight can lead to avalanches (small new snow falls more often than large ones)

4.3 Aktuelle Berechnung von Fliesslawinen - Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen

Die nun gültigen Werte sind in der SLF-Mitteilung Nr. 47 [2] mit obigem Titel detailliert angegeben und sind Gegenstand dieses Internen Berichtes.

5. BEMERKUNGEN

Untenstehende Tabelle zeigt die Differenzen zwischen den nun gültigen Basiswerten d_o* bzw. Anrissmächtigkeiten d_o und denen von Salm (1984) bzw. von de Quervain (1979/80).

basic value — tendency of

Tr [Jahre] (yrs)	ψ_o [°]	Basiswert d_o* (shallest / largest)		Anrissmächtigkeit d_o [cm]			Tendenz von d_o: +: steigend (increasing) -: abnehmend (decreasing)
		kleinst	grösst	1979/80	1984	1990	
30	28	x		84	84	88	+
			x	140	140	150	+
	45	x		43	43	46	+
			x	72	72	78	+
300	28	x		210	140	123	-
			x	252	224	210	-
	45	x		108	72	64	-
			x	130	115	109	-

Die teilweise grossen Unterschiede in der Bestimmung der Anrissmächtigkeit könnten zum Schluss führen, alle damals ausgearbeiteten Lawinengefahrenkarten müssten revidiert werden. Dem ist aber im allgemeinen nicht so. Der geneigte Leser hat nämlich zu berücksichtigen, dass die lawinentechnischen Berechnungen auch stets verbessert wurden und noch werden. Neben der zuverlässigen Bestimmung einer mittleren Anrissmächtigkeit d_o wurden die Reibungsparameter ξ [ms^{-2}] und μ [1] nach Feldversuchen angepasst. Der Faktor der turbulenten Reibung ξ [ms^{-2}] wurde von etwa 500 auf nun 1'000 erhöht. Daraus ergibt sich eine erhöhte Lawinengeschwindigkeit, die die Abnahme der 300-jährigen d_o-Werte etwa kompensiert. Zusammenfassend stellen wir fest, dass heute die Bestimmung der 30-jährigen Lawinengrenze etwas strenger ist und dass bei der Festlegung der 300-jährigen Lawinengrenze keine wesentlichen Unterschiede vorhanden sind.

6. LITERATUR

consideration of av. occurrence in the av. hazard map

[1] De Quervain, M.: "Die Berücksichtigung der Lawinenhäufigkeit in der Lawinengefahrenkarte. Eine grundsätzliche Betrachtung." Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Winterbericht Nr. 37, 1974, S. 157-162.
A basic consideration

calculation of flow avalanches. Manual for practitioners with examples

[2] Salm, B.; Burkard, A.; und Gubler, H.: "Berechnungen von Fliesslawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen." Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Mitteilung Nr. 47, 1990, 37 S.

lecture snow, av., and av. mitigation

[3] Salm, B.; Zarn, B. und und Brigger, V.: Vorlesung, Schnee, Lawinen und Lawinenschutz. ETH Zürich, August 1990, 284 S.

snow data in Switzerland

[4] Witmer, U.; Filliger, P.; Kunz, S. und Kueng, P.: Bearbeitung von Schneedaten in der Schweiz. Extremwertstatistik der Höchstwerte der Schneehöhenzuwächse. Geographisches Institut der Universität Bern, Prof. B. Messerli, Bern, 1986.
extreme value statistics of max. values in snow thickness increase

data gathering, working with and cartography of snow data in Switzerland

[5] Witmer, U.; u.a.: Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. Geographisches Institut der Uni Bern. Geographica Bernensia G 25, 1986, 215 S.

Snow (knowledge of) and av. mitigation

[6] De Quervain, M.: "Schneekunde und Lawinenverbau." ETHZ Vorlesung Zürich. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 1979.

av. technical calculations. Course for av. danger cartography

[7] Salm, B.: Lawinentechnische Berechnungen. Kurs für Lawinengefahrenkartierung, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Okt. 1984, 15 S.

[8] Roch, A.: Les variations de la résistance de la neige. Symposium sur les aspects scientifique des avalanches de neige. Davos 1965. Publication No. 69 de l'AIHS 1966, pp. 86-99.