

**Schweizerischer Nationalfonds**

Rekonstruktion eines sehr ungewöhnlichen  
Lawinenereignisses

**KANDERSTEG, ÜSCHENE, FEBRUAR 1999**

<b>1. EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
1.1. MOTIVATION FÜR DIE UNTERSUCHUNG.....	1
1.2. QUALITÄT DER EREIGNISDOKUMENTATION.....	1
1.3. FRAGESTELLUNGEN.....	1
<b>2. EREIGNISBESCHRIEB.....</b>	<b>1</b>
2.1. FAKTEN AUS DEN UNTERLAGEN.....	1
2.2. VORGEHEN.....	2
<b>3. SZENARIEN .....</b>	<b>3</b>
3.1. FLIESSLAWINE.....	3
3.2. STAUBLAWINE.....	3
<b>4. LAWINENBERECHNUNGEN.....</b>	<b>3</b>
4.1. FAZIT.....	5
<b>5. BEDEUTUNG DIESES PHÄNOMENS.....</b>	<b>5</b>
<b>6. GRUNDLAGEN.....</b>	<b>5</b>
6.1. ALLGEMEINE UNTERLAGEN.....	5
6.2. NATURGEFAHREN-SPEZIFISCHE UNTERLAGEN.....	6

## 1. EINLEITUNG

---

### 1.1. Motivation für die Untersuchung

Vom kantonalen Waldamt (KAWA) des Kantons Bern wurden wir auf ein ganz aussergewöhnliches Lawinenereignis in Kandersteg aufmerksam gemacht. Am „Vorder Loner“ im Üschinental ist im Februar 1999 eine sehr grosse Lawine angebrochen. Sie stieg am Gegenhang auf, wurde um 90° abgelenkt und zerstörte „Uf der Egge“ Alpgebäude und floss bei extrem geringem Gefälle noch weitere 700 m talwärts.

Die Problematik abgelenkter Lawinen ist im Rahmen unseres Projektes zu untersuchen.

### 1.2. Qualität der Ereignisdokumentation

Es stehen ungewöhnlich gute Unterlagen von diesem Ereignis zur Verfügung.

Auf einem Orthofotoplan sind die Lawinenspuren sichtbar. Im Lawinenkataster sind die Schäden umschrieben.

### 1.3. Fragestellungen

Welche lawinendynamischen Abläufe sind für die Ablenkung verantwortlich ?

Wie ist es zu erklären, dass eine um 90° abgelenkte Lawine noch derart weit mit sehr geringem Gefälle vorstossen kann ?

Lässt sich das Phänomen mit Hilfe von lawinendynamischen Berechnungen nachvollziehen ?

Welchen Einfluss hat die Ablenkung auf die Wahl der Parameter ?

## 2. EREIGNISBESCHRIEB

---

Quelle: Kataster KAWA, Orthofoto, mündliche Angaben

### 2.1. Fakten aus den Unterlagen

#### Anriss

Auf Grund von bruchstückhaften Anrisslinien kann die Anrissfläche angenähert abgegrenzt werden.

Sie ist nordöstlich des Gipfels des „Vorder Loner“ gelegen. Die mittlere Höhenlage beträgt 2'900 m.ü.M.. Die Anrisskubatur umfasst ohne Entrainement 150-200'000 m<sup>3</sup>.

#### Sturzbahn

Die sehr steile Sturzbahn mit, je nach Ort, 2 oder 3 Felsabsätzen begünstigt die Staubentwicklung sehr stark.

Lawinenspuren südlich der Katastergrenze lassen vermuten, dass auch die Alp „Leimere“ von der gleichen Staublawine randlich betroffen war (gemäss Kataster Nr. 4533 geringfügiger Schaden). Staubanteile haben vermutlich die Felskuppe Kote 2445.9 übersprungen.

Die nördliche Hälfte des Prozessraumes weist deutlich geringere Lawinenspuren auf.

#### Ablenkung

Die Lawine prallt bei Kote 1780 praktisch rechtwinklig auf den Gegenhang und steigt bis zur Kote 1860 auf.

Sehr bedeutende Schneemassen von Fliess- und Staubanteil fließen, nach einer Richtungsänderung von ca. 90° und mehr, in der Talachse um einen km nach Norden weiter. Interessant sind die deutlichen Fliessspuren, die nach der Wende am Gegenhang in Richtung „Uf der Egge“ weiterführen. Es muss sich auch um Teile der langsameren Fliesslawine gehandelt haben, die die Spuren der voraus fließenden Staublawine überlagert haben.

Ein weiterer Teil des im Aufprallbereich abgelagerten Schnees ist, vermutlich sehr langsam, in einer Gleitbahn von 150 m Länge auf den Talboden zurückgeflossen. Vermutlich waren in der mächtigen Schneeablagerung die Böschungen zu steil, weshalb Teile des Schnees abrutschten. Auch diese Erscheinung ist sehr ungewöhnlich, wenn man weiss wie hart der Lawinenschnee bereits beim Anhalten der Lawine normalerweise ist. Der Schnee wurde ja im vorliegenden Fall mit ungeheurem Druck an den Gegenhang gepresst, er müsste eigentlich noch härter gewesen sein als normal. Es stellt sich hier die Frage, wie viele Sekunden es dauert bis der Schnee nicht mehr fließfähig ist.

Die am Wendepunkt dieser Lawine beobachteten Phänomene geben viele Rätsel auf.

### **Auslauf**

Sehr grosse Schneemengen des Fliessanteils sind zwischen dem Aufprallbereich und der Alp „Uf der Egge“ auf dem Talboden abgelagert worden. Der Fliessanteil hat die Alpgebäude höchstwahrscheinlich nicht erreicht und ist mit Sicherheit auch nicht weiter talwärts geflossen (Abgrenzung siehe Kataster).

Der wahrscheinlich von der Staublawine durchflossene Talboden hat auf einer Länge von 1'180 m ein mittleres Gefälle von nur knapp 8°. Im unteren Teil weist er zudem ein Runsenprofil auf. Die Länge der Auslaufstrecke nach der Ablenkung ist unerklärlich lang und für eine Staublawine auch extrem schmal.

Nach gängiger Erfahrung müsste mindestens die Fliesslawine beim Aufprall auf den Gegenhang eigentlich stehen bleiben.

### **Art der Lawine**

Der Schnee war auf dieser Höhenlage zwischen 2900 und 1700 m.ü.M. mit Sicherheit trocken. Es hat sich um eine Fliess- und Staublawine gehandelt. Der vorausseilende Staubanteil war vermutlich sehr gross.

### **Bewaldung**

Der gesamte Prozessraum ist unbewaldet.

### **Schadenwirkung**

Höchstwahrscheinlich durch den Staubanteil sind 3 näher beim Bach gelegene Alpgebäude schwer beschädigt oder ganz zerstört worden. 2 oberhalb der Kote 1788 gelegene Alpgebäude wiesen geringere Schäden auf.

Teile der Gebäuderümmen wurden mit der Staublawine bis unterhalb der Kote 1700 transportiert (Aussage U. Ryter, KAWA Interlaken).

## **2.2. Vorgehen**

- Visualisieren der Lawinenspuren auf der Orthofoto, Anrisse, Sturzbahnen und Ablagerungen.
- Abgrenzung der wahrscheinlichen Anrissflächen.
- Bestimmen der wahrscheinlichen Lawinenbahnen für Darstellung und Berechnung.
- Verschieden Ablaufszenarien/Hypothesen aufstellen.
- Berechnungsversuche mit AVAL 1d, 1.3 durchführen.
- 3-D Modellierung der Staublawine?
- Erklärungsversuch der Lawinendynamischen Abläufe

### 3. SZENARIEN

---

#### 3.1. Fliesslawine

##### Fragestellungen

Wie kommt die seitliche Ablenkung nach Norden über eine Distanz von 350 m zu Stande ?

Warum erfolgt dieses Umlenken im praktisch ebenen Talboden nur nach Norden und gar nicht nach Süden ?

Die Lawine wurde am Gegenhang vermutlich fast vollständig angehalten. Von woher stammt die Energie für das Weiterfliessen in einer ganz anderen Richtung ?

##### Hypothese 1

.....

##### Hypothese 2

.....

#### 3.2. Staublawine

##### Fragestellungen

Wie kommt die seitliche Ablenkung über eine Distanz von 1150 m zu Stande ?

Warum erfolgt dieses Umlenken im praktisch ebenen Talboden nur nach Norden und gar nicht nach Süden ?

##### Hypothese 1

.....

##### Hypothese 2

.....

### 4. LAWINENBERECHNUNGEN

---

#### Berechnung Fliesslawine 300-jährlich (nördliche Sturzbahn, grün im Plan):

<b>Parameter</b>	<b>Wert</b>	<b>Bemerkungen</b>
<b>Anrissgebiet</b>		
Mittlere Breite in m	350	
Angenommene Höhendifferenz in m	340	
Länge bis Stauchwall in m	487	
Neigung in °	44.3	
Anrissmächtigkeit $d_0$ in m	1.13	mit Windzuschlag
Anrisskubatur in $m^3$	200'000	Ohne Entrainement
Geschwindigkeit Anriss in m/s	35	

<b>Sturzbahn</b>		
Breite in m	400-150	Allmähliche Einengung ohne eigentliche Kanalisierung
Höhendifferenz in m	800	
Minimalgefälle in °	23°	
Mittleres Gefälle in °	37°	
Geschwindigkeit in m/s	37	
Gelände	Offen, wenig kanalisiert, keine Richtungsänderungen, 2 Felsriegel	
Bewaldung	Kein Wald	
<b>Auslauf</b>		
Beginn Kote	1800	
Ende Kote	1750	
Neigung in °	Wechselnd, Gegensteigung und flacher Talboden	
Anfangsgeschwindigkeit m/s	33	
Gelände	Gegensteigung 15° steil, Normalerweise Bremsung am Gegenhang	
Schadenpotential	Seitlich von der Lawinenachse um 350 m nach Norden versetzt	
Parameterwahl	Standardparameter SLF	Spielt kaum eine Rolle

### Probleme bei der Berechnung

- Die Lawine wird beim Auftreffen am Gegenhang vollständig abgebremst. Dieses Berechnungsergebnis deckt sich nicht mit den Beobachtungen im Gelände.
- Die Umlenkung nach Norden ist mindestens mit einem 2 D Modell rechnerisch nicht nachvollziehbar.
- Wie würde das Resultat bei einer 2-3 D Modellierung aussehen ?

### Staublawine 300-jährlich (südliche Sturzbahn, rot im Plan):

<b>Parameter</b>	<b>Wert</b>	<b>Bemerkungen</b>
<b>Anrissgebiet</b>		
Suspendierungsgrad	0.4	
Schneedichte Kg / m <sub>3</sub>	150	
Anrisshöhe in m	1.21	Mit Windzuschlag
<b>Sturzbahn</b>		
Hangneigung	23-60°	
Erodibilität	Nordalpen	
Erodierbare Schneehöhe in m	1.2	

<b>Auslauf</b>		
Gelände	Aufstieg am Gegenhang mit rechtwinkliger Umlenkung der Suspensionsschicht nach Norden	Energieverlust durch Aufstieg am Gegenhang unklar
Auslaufstrecke beobachtet	Ab Umlenkpunkt 1150 m weit nach Norden unter 8° steil	Trotz Umlenkung hohe Geschwindigkeit erforderlich
Saltationsschicht	Bleibt vermutlich am Gegenhang stecken, macht die Umlenkung nicht mit	
Staubdruck Suspensions- schicht in kPa ohne seitliche Ausweitung (300-jährlich)	„Uf der Egge“ = 15-20 kPa	Druck ohne Berücksichtigung der Umlenkung, Reduktionsfaktor unklar, mit Aval vermutlich nicht berechenbar

### Probleme bei der Berechnung

- Mit AVAL 1d erhält man mindestens ein Resultat.
- Die Umlenkung nach Norden ist mindestens mit einem 2 D Modell rechnerisch nicht nachvollziehbar.
- Könnte eine 2-3 D Modellierung weiterhelfen?

### 4.1. Fazit

Wir haben es im vorliegenden Fall mit einem Phänomen zu tun, das mit den gängigen lawinendynamischen Berechnungsmethoden nicht nachvollziehbar ist.

## 5. BEDEUTUNG DIESES PHÄNOMENS

---

Es sind uns aus der Praxis an mehreren Orten ähnliche Situationen bekannt, bei welchen fraglich ist, ob eine solche Umlenkung zu anderen Resultaten bei der Gefahrenkartierung führen könnten.

Es war z.B. bei der Südflanke des Schiahorns in Davos eine bis heute offen gebliebene Frage, ob Lawinen auch vom „Grossen Schiahorn“ her durch das Schiatobel bis in die Siedlung vorzustossen vermögen. Alle bisher beobachteten Lawinen bis in den Siedlungsbereich sind am heute verbauten „Kleinen Schiahorn“ angebrochen. Die involvierten Fachleute waren bei dieser Frage uneinig.

Es ist mit Sicherheit anzunehmen, dass dieses Phänomen in den Schweizer Alpen noch an vielen Orten zu beurteilen ist.

## 6. GRUNDLAGEN

---

### 6.1. Allgemeine Unterlagen

#### Karten

- Übersichtsplan 1:5'000, Vermessungsamt BE
- Orthofotoplan 1:5'000, von Luftbildern Februar/März 1999, ausgewertet für das KAWA, Abteilung Naturgefahren, Interlaken

### **Digitales Höhenmodell**

Die Höhenkurven des Basismodells der Landestopographie wurden verwendet, um die Orthofoto übersichtlicher zu gestalten.

Das Erstellen einer Geländeneigungskarte erübrigt sich bei derart grossen Geländeneigungen im Anrissbereich. Praktisch die ganze Bergflanke des „Vorder Loner“ ist über 35 ° steil und damit auch ein einziges potentielles Anrissgebiet. Geländeneigungskarten sind dort besonders interessant, wo Hangneigungen in potentiellen Anrissflächen unter 35° und damit im Grenzbereich einer potentiellen Lawinentätigkeit auftreten.

### **Beiliegende Grundlagenkarte/Orthofoto**

In den beiliegenden Situationsplänen 1:5'000 ist das Ereignis dokumentiert.

Die berechneten Lawinenbahnen sind mit Linien dargestellt.

Im Auslaufbereich sind in der Orthofoto die Neigungen Auslaufbereich angegeben (4.8-7.6°).

Die Katasteraufnahme des KAWA stellt die Grenzen von Fliess- und Staubanteilen dar, inkl. die Nr. des Prozessraumes. Die zerstörten bzw. beschädigten Gebäude sind mit roten Kreuzen markiert.

## **6.2. Naturgefahren-spezifische Unterlagen**

### **Anleitungen und Programme**

- Bundesamt für Forstwesen (BFF), Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung (EISLF), 1984: Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten. Bern: EDMZ.
- Salm B., Burkard A., Gubler H. U., 1990: Berechnung von Fliesslawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Mitt. des Eidg. Institut f. Schnee- und Lawinenforschung, Nr. 47.
- Berechnungsprogramm Lawsim2, Version 2.0, Dr. H. U. Gubler, Davos, Version 1997
- Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), 1999: Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung
- SLF Lawindynamikprogramm AVAL 1D Version 1.3, 2004



### Anhang 2: Potentielle Anrisshöhen Lawinen

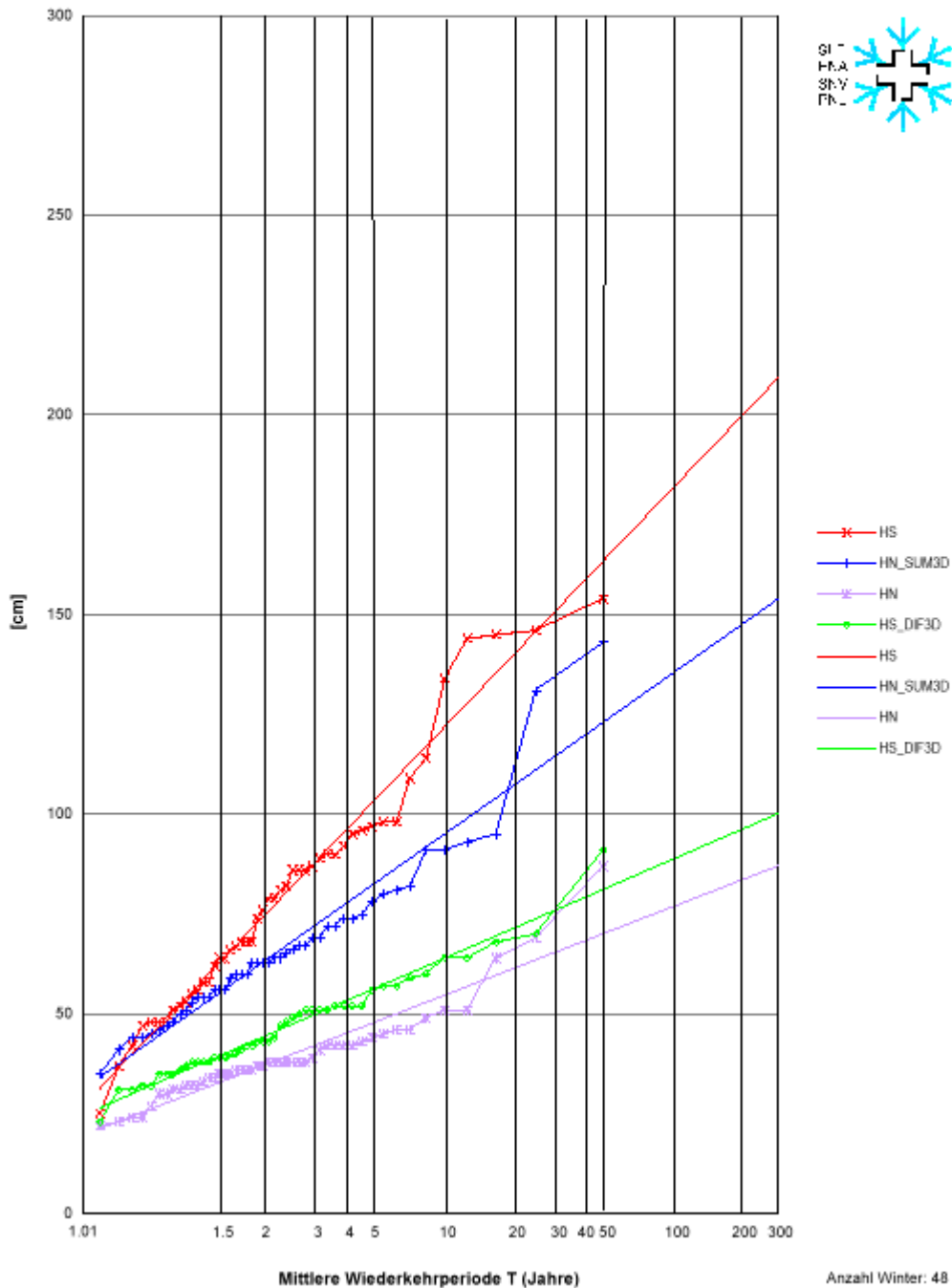
Das SLF betreibt in Adelboden seit 48 Wintern Schneemessstationen. Die Messdaten wurden durch das SLF aufbereitet und extremwertstatistisch ausgewertet.

Gumbel-Statistik

Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Anzahl Winter: 48

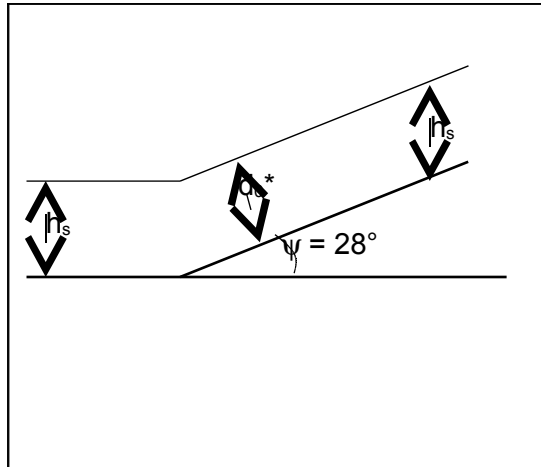
#### Adelboden (1AD) 1350 m



erstellt am 10.12.2001

Aus den Diagrammen können die folgenden Werte für den 3-tägigen Schneehöhenzuwachs (HS\_DIF3D) als massgebende Grösse in der Lawinengefahrenbeurteilung abgeleitet werden:

Adelboden, 1350 m u.M. ca.	T = 30J.	76 cm	T = 100 J.	89 cm	T = 300 J.	100 cm
----------------------------	----------	-------	------------	-------	------------	--------



Für die Lawinenberechnung wird der sogenannte Basiswert  $d_0^*$  benötigt. Dieser entspricht der hangsenkrecht gemessenen Schneemächtigkeit bei  $28^\circ$  und kann folglich aus obigen lotrechten Messdaten einfach bestimmt werden.

$$d_0^* = h_s \times \cos(28^\circ)$$

Für die Messstationen Adelboden beträgt  $d_0^*$  in Abhängigkeit der Wiederkehrperiode

T = 30 J.	⇒ 68 cm
T = 100 J.	⇒ 79 cm
T = 300 J.	⇒ 89 cm

<b>Basiswerte <math>d_0^*</math> für die Gemeinden Adelboden / Kandersteg</b>					
Wiederkehrperiode		30	100	300	Jahre
Werte Adelboden (1350 M.ü.M.) ca.		68	79	89	cm
	2360-2450 m ü.M.	120	131	141	cm
	2460-2550 m ü.M.	125	136	146	cm
	2560-2650 m ü.M.	130	141	151	cm
	2660-2750 m ü.M.	135	146	156	cm
	2760-2850 m ü.M.	140	151	161	cm
	2860-2950 m ü.M.	145	156	166	cm
	2960-3050 m ü.M.	150	161	171	cm

Anmerkungen aus SALM et al., 1990:

- Die Basiswerte sind höhenabhängig (ca. 5 cm / 100 Hm, vgl. Tabelle).
- Bei Triebsschneeablagerungen in mehr oder weniger grossen Teilen des Anrissgebietes soll dort  $d_0^*$  um 30 bis 50 cm erhöht werden. Das zur Berechnung massgebende  $d_0^*$  ist der Mittelwert über das ganze Anrissgebiet.
- Bei hoch gelegenen Gebieten dominiert die Windwirkung, der Höhenzuschlag tritt demgegenüber in den Hintergrund.
- Die Schneemächtigkeiten können kleinräumig variieren. Den lokalen Verhältnissen ist deshalb immer besondere Beachtung zu schenken.

Weitere Anmerkung:

- Die Wahl der Anrisshöhen für die Lawinenberechnungen stützt sich auf die Messdaten und obige Betrachtungen. Das Durchrechnen verschiedener Szenarien kann die geschilderte und allgemein bekannte Unsicherheit bei der Wahl der massgeblichen Schneehöhe (und auch der übrigen Parameter) zumindest mildern.

Die effektiv in der Berechnung zu berücksichtigende Anrissmächtigkeit  $d_0$  wird zusätzlich um den Hangneigungsfaktor  $f(\psi)$  reduziert:  $d_0 = d_0^* \times f(\psi)$ . Einige Werte werden nachfolgend tabelliert. Zur Berechnung von  $f(\psi)$  vgl. SALM et al., 1990.

$\psi$	28	30	32.5	35	37.5	40	42.5	45
$f(\psi)$	1.00	0.90	0.79	0.71	0.65	0.60	0.55	0.52

### Anrissgebiet am „Vordere Lonner“

#### *Anrissgebiet nord*

Höhe = 2900 m.ü.M.

Hangneigung = 44.3°

$f(\psi) = 0.53$

Ohne Windzuschlag

do 30-jährlich = 77 cm

do 100-jährlich = 83 cm

do 300-jährlich = 88 cm

Mit Windzuschlag 5 / 15 / 25

do 30-jährlich = 82 cm

do 100-jährlich = 98 cm

do 300-jährlich = 113 cm

#### *Anrissgebiet sued*

Höhe = 2900 m.ü.M.

Hangneigung = 41.3°

$f(\psi) = 0.58$

do 30-jährlich = 84 cm

do 100-jährlich = 91 cm

do 300-jährlich = 96 cm

Mit Windzuschlag 5 / 15 / 25

do 30-jährlich = 89 cm

do 100-jährlich = 106 cm

do 300-jährlich = 121 cm