

Basics for the design of snow drift measures

Grundregeln für das Erstellen von Verwehungsverbauungen

Stefan Margreth¹

Zusammenfassung:

Tribschneezäune: *Hinter Tribschneezäunen kann windverfrachteter Schnee künstlich an einer lawinensicheren Stelle abgelagert werden. Die Zäune sollten mindestens in einer Entfernung von der 15-20 fachen Zaunhöhe vom zu schützenden Gebiet aufgestellt werden. Ein einzelner hoher Zaun hat eine bessere Wirkung als mehrere Reihen kleinerer Zäune. Übliche Zaunhöhen variieren zwischen 2 und 5m. Normalerweise ist ein Bodenspalt von 10 bis 20% der Zaunhöhe genügend. Der beste Füllungsgrad liegt bei 50-60%. Bevorzugte Standorte befinden sich auf Geländerrücken. Fällt der Hang im Lee ab, wird die Ablagerungsmenge grösser, steigt der Hang an, kann die Ablagerungsmenge stark reduziert werden. Es sind Zaunlängen von mehr als der 20-fachen Zaunhöhe zu wählen. Zäune sind senkrecht zur Hauptwindrichtung zu erstellen. Ab einer Abweichung von 10° nimmt die Ablagerungsmenge hinter dem Zaun ab, ab einer Abweichung von 45° verliert der Zaun seine Wirkung. Wegen den Randeffekten sind die Zaunenden seitlich des zu schützenden Bereiches bis zum einem Winkel von 30° zu verlängern. Die Kosten für einen Laufmeter Verwehungszaun betragen etwa SFr. 1'000.--.*

Kolktafeln: *In unmittelbarer Nähe einer Kolktafel wird das Windfeld gestört, es entsteht eine Kolk mit einem Radius von 6 bis 10m und einer Länge von bis zu 30m. Kolktafeln haben eine trapezförmige Form und sind etwa 3.5m hoch. Sie können als einfache oder gekreuzte Tafeln ausgebildet werden. Die beste Wirkung wird mit Tafeln mit voller Füllung und ohne Bodenspalt erreicht. Zur Verhinderung von Gwächtenbildung sind die Kolktafeln unmittelbar an der Gratkante in Abständen von 5 bis 10m einzubauen. Werden Kolktafeln zur Trennung von Anrissgebieten eingesetzt, werden sie in der Hangfalllinie in Abständen von 15 bis 20m eingebaut. Eine moderne Kolktafel kostet etwa SFr.4'200.--.*

Düsendächer: *bestehen aus stark gegen den Hang hin geneigten Tafeln mit einem Bodenspalt. Sie bewirkt eine Beschleunigung der Luftmassen. Durch die Düsenwirkung kann ein Lawinenhang auf 10 bis 15m unterhalb des Grates schneefrei gehalten werden. Es ist darauf zu achten, dass die verfrachteten Schneemassen auf ungefährliche Hangverflachungen zu liegen kommen.*

Tribschneeschanzen: *Es handelt sich um eine künstliche Verlängerung des luvseitigen Hangteiles mit einem etwa 3m breiten Dach in den Leehang hinein. Beim Überwehen des Tribschnees kann der Schnee an der scharfen Schanzenkante nicht anhaften, so dass eine Gwächtenbildung ausbleibt.*

Planung und Projektierung von Verwehungsverbauungen: *In der Problemanalyse wird der zu schützende Bereich definiert, sowie die lokale Topographie, Schnee- und Windverhältnisse untersucht. Dann werden mögliche Massnahmen geprüft. Bewährt hat sich das Erstellen von Versuchswerken, sowie Beobachtungen während 3 bis 5 Wintern. Im anschliessend zu erarbeitenden Projekt werden die Verbaustypen und die genauen Standorte festgelegt. Um die Wirkung der Massnahmen nach der Projektrealisierung beurteilen zu können, sind die Beobachtungen einige Winter weiterzuführen.*

¹ WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Flüelastr.11, 7260 Davos Dorf
Tel.+41 +81 41 70 254, Fax: +41 +81 41 70 110, e-mail: margreth@slf.ch

1. Tribschneezäune

1.1 Funktion von Tribschneezäunen

Durch starken Wind werden Schneepartikel zum Teil in der Luft und zum Teil entlang dem Boden transportiert. Schneezäune bremsen den Wind und verringern die Windgeschwindigkeit. Dies reduziert die Schleppkraft des Windes (Abb.1). Die Schneepartikel lagern sich beidseitig der Wand ab. Mit Tribschneezäunen kann die verfrachtete Schneemenge an einer lawinensicheren Stelle künstlich abgelagert werden.

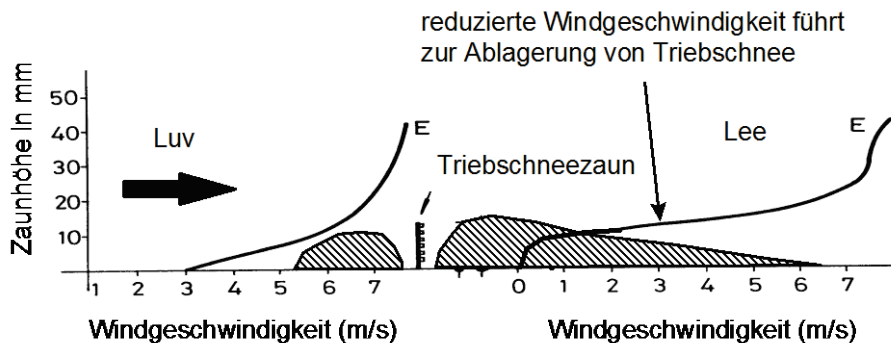


Abb. 1: Windgeschwindigkeitsprofil (E) vor und hinter einem Zaun nach Modellversuchen

1.2 Einsatz von Tribschneezäunen

- Verhinderung, dass Lawinenanrisszonen durch Tribschnee zusätzlich belastet werden. Durch Schneeablagerungen ausserhalb von verbauten Anrissgebieten können Stützwerke entlastet werden. Tribschneezäune als einzige Lawinenschutzmassnahmen sind nicht empfehlenswert.
- Verhinderung von Schneeverfrachtungen im Bereich von Strassen und Siedlungen
- Erzeugung von Schneeablagerungen auf Skipisten

1.3 Abhängigkeit der Ablagerungsgeometrie

Länge der Ablagerung in der Ebene:

Der zu wählende Standort eines Tribschneezäunes hängt direkt von der Ablagerungslänge ab. In der folgenden Tabelle 1 und Abb.2 sind die wichtigsten Resultate von langjährigen Untersuchungen für Ablagerungen im Sättigungszustand angegeben.

Das Volumen der luvseitigen Ablagerung beträgt nur rund 13% der leeseitigen Ablagerung. Mit zunehmendem Füllungszustand des Ablagerungsraumes wird die Ablagerungslänge immer grösser, bis sie schliesslich die Sättigungslänge erreicht hat (Abb.2). Die Menge des hinter dem Zaun abgelagerten Schnees A wird in m^3 pro Laufmeter Zaun angegeben. Nachdem der Ablagerungsraum zu ca.60% gefüllt ist, nimmt die Ablagerungseffizienz stark ab. Die Ablagerungslänge beträgt dann bei einem Füllungsgrad des Zaunes (Verhältnis der materialbedeckten Fläche zur totalen Fläche, ohne Bodenspalt) von 50% in der Ebene 15 bis 20H.

Der Abstand zum schützenden Objekt sollte also ungefähr 15H bis 20H betragen. Die flache Ablagerungsform im Auslauf der Ablagerung zeigt, dass eine Toleranz von $\pm 5H$ zulässig ist. Zu kurze Abstände zwischen dem Zaun und dem zu schützenden Objekt sind infolgedessen zu vermeiden.

Autor	Füllungsgrad	Bodenspalt	Zauntyp	Länge der leeseitigen Ablagerung	Länge der luvseitigen Ablagerung	max. Ablagerungshöhe	Querschnittsfläche der leeseitigen Ablagerung
	[%]	[m]		L_{Lee} [m]	L_{Luv} [m]	HS_{max} [m]	A_{max} [m ³ /m']
Tabler	48	0.1H	Horizontale Latten, 15cm	29.5H	12H	1.2H	19.3H ²
Tabler	59	0.13	Vertikale Latten, 3.8cm	26.5H	-	1.06H	14.5H ²
Martinelli	0	0.1H	-	10H	-	0.9H	-
Martinelli	50	0.1H	-	15H-17H	-	1.1H	-
CEMAGREF	50	0.35	-	25H	-	-	-

Tabelle 1: Ablagerungsgeometrie

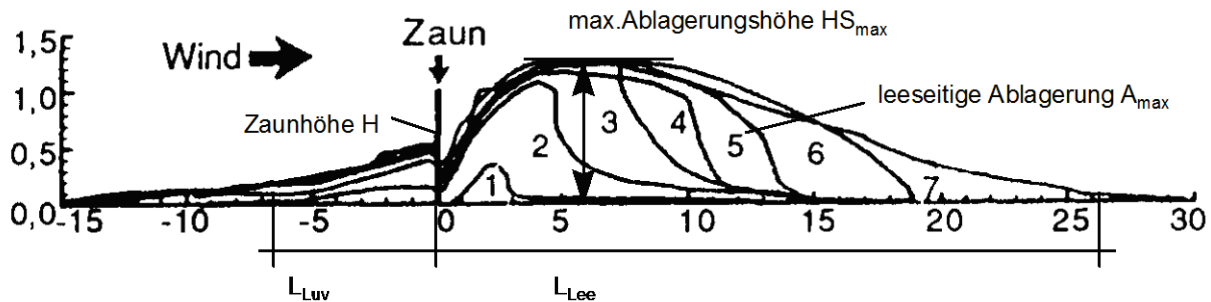


Abb. 2: Ablagerungsgeometrie, Wachstumsstufen bei einem Schneezaun dargestellt durch Profile von 7 Zeitpunkten (Tabler, 1992)

Einfluss des Füllungsgrades

Der Füllungsgrad eines Zaunes (Verhältnis der materialbedeckten Fläche zur totalen Fläche, ohne Bodenspalt) hat einen direkten Einfluss auf die Ablagerungsform. Mit abnehmendem Füllungsgrad wird die Ablagerung länger und weniger mächtig (Abb.3). Bei hohem Füllungsgrad steigt die Ablagerung direkt nach dem Zaun steil an, liegt also näher am Zaun. Beim Füllungsgrad liegt das Optimum des Verhältnisses vom Materialaufwand zum abgelagerten Schneevolumen zwischen 40 und 60%.

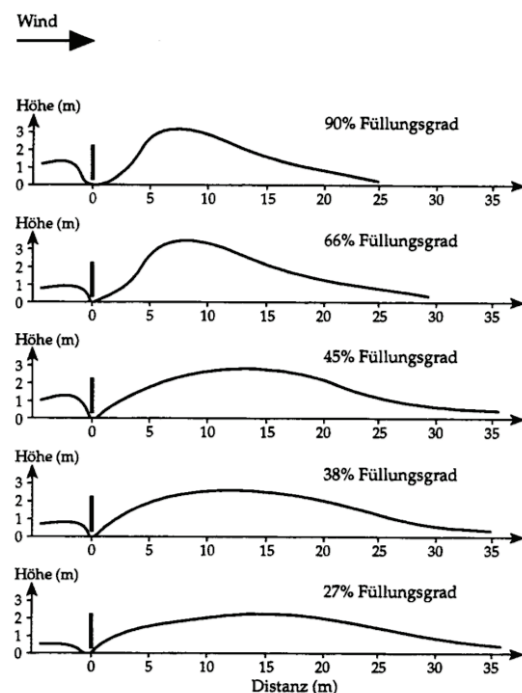


Abb. 3: Einfluss des Füllungsgrades auf die Ablagerungsform (Mellor, 1965)

Bodenspalt

Der Bodenspalt (Abstand zwischen unterster Zaunlatte und Boden) verursacht einen Düseneffekt und bewirkt, dass am Zaun selber kein Schnee abgelagert wird (Abb.4). Eine optimale Zaunwirkung wird erreicht, wenn der Bodenspalt während der ganzen Verwehungsperiode voll wirksam ist. Ein freigeblasener Zaun wird nicht durch die Schneedecke beschädigt.

In der folgenden Tabelle 2 sind die Kriterien für die Wahl des Bodenspaltes angegeben:

Zu erwartende luvseitige Ablagerung (vor Zaun!):	zu wählender Bodenspalt:
deutliche Ablagerung (Normalfall)	0.1H
keine oder geringe Ablagerung	0.2H
viele Schneefälle ohne Wind oder Verfrachtungen entgegen Hauptwindrichtung	(0.1....0.2H)+20 bis 50cm

Tabelle 2: Bestimmung des Bodenspaltes

In der Praxis wird häufig ein Bodenspalt zwischen 30 und 50cm gewählt. Bei grossen Wänden wurden schon Bodenspalte bis 1.5m ausgebildet.

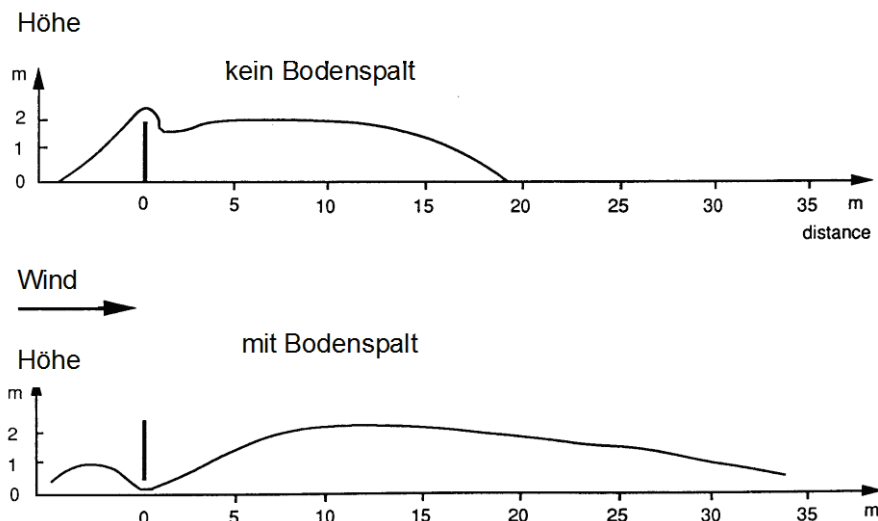


Abb. 4: Schematische Skizze des Einflusses des Bodenspaltes auf die Ablagerungsgeometrie

Zaunhöhe

Untersuchungen zeigen, dass sich die Ablagerungslänge proportional zur Zaunhöhe H resp. das Ablagerungsvolumen proportional zu H^2 verhält. Höhere Zäune erfassen eine mächtigere Luftschicht und damit einen grösseren Anteil des Triebsschnees. Bei Windgeschwindigkeiten von 25 bis 35m/s ist in der untersten 2m dicken Luftschicht etwa 50-60%, in der untersten 6m dicken Luftschicht 80-90% des Massenflusses von Triebsschnee enthalten. Aus Gründen der Effektivität ist ein hoher Zaun stets mehreren niedrigen Zäunen vorzuziehen. Die Wirkung bezüglich dem abgelagerten Volumen eines 2.4m hohen Zaunes entspricht 5 Reihen 1.2m hoher Zäune.

Die notwendige Zaunhöhe ist abhängig von der Schneemenge, die sich im Verlaufe eines Winters ablagern kann. Diese Schneemenge ist abhängig von der Dauer und der Intensität der Niederschläge, von der Grösse des Einzugsgebietes (Gebiet vor dem Zaun, wo der Wind den Schnee aufnehmen und wegtransportieren kann) und von der Menge des transportierten Schnees (vorsichtige Schätzung 70% des gefallenen Schnees).

Zum Schutze von Strassen und Skipisten sind Zaunhöhen von 1 bis 2m üblich. Im alpinen Gelände im Zusammenhang mit Lawinenanbruchzonen schwanken die Zaunhöhen normalerweise zwischen 2 und 5m.

Zaunhöhen von über 5m erfordern teure Konstruktionen. Es dürfte dann effizienter sein, mehrere Reihen kleinerer Zäune aufzustellen.

Einfluss der Topographie

Fällt im Lee des Zaunes das Gelände ab, so wird die Ablagerungskapazität erhöht. Für jedes Grad wird die Kapazität um 15 bis 20% erhöht (Abb.5).

Steigt das Gelände im Lee, so wird die Ablagerungskapazität entscheidend reduziert. Wird der Zaun in einem 30° steilen Hang gebaut, so ist die Ablagerungskapazität rund 4 mal kleiner als im horizontalem Gelände.

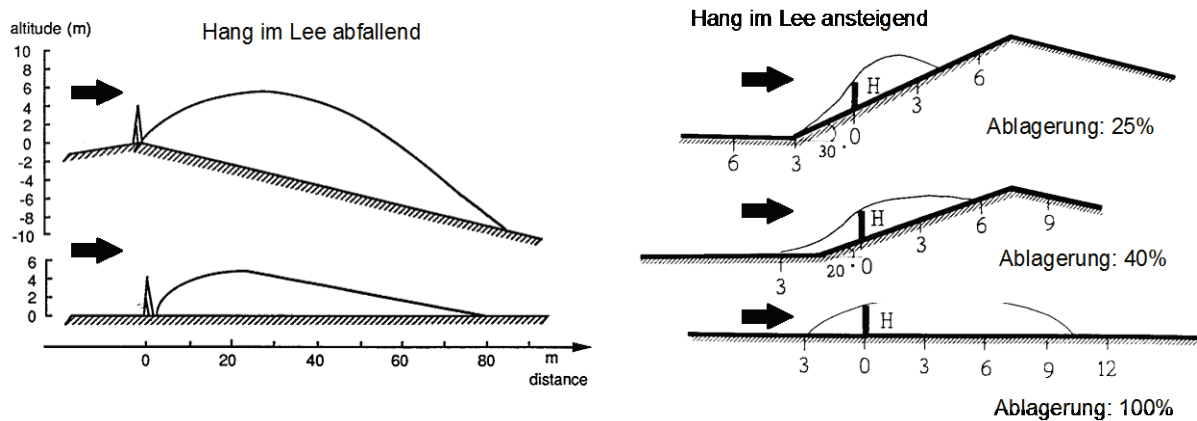


Abb.5: Einfluss der Topographie auf die Ablagerungsgeometrie (nach Castelle, 1991 und Issaenko, 1973)

Es gibt keine exakten Regeln, um den Standort der Triebsschneezäune genau bestimmen zu können. Man ist viel mehr auf langjährige Beobachtungen angewiesen. Bevorzugte Standorte befinden sich auf Geländerrücken in der Richtung von topographischen Vertiefungen (Abb.6). Zäune sollen nicht dort aufgestellt werden, wo sich auf natürliche Weise

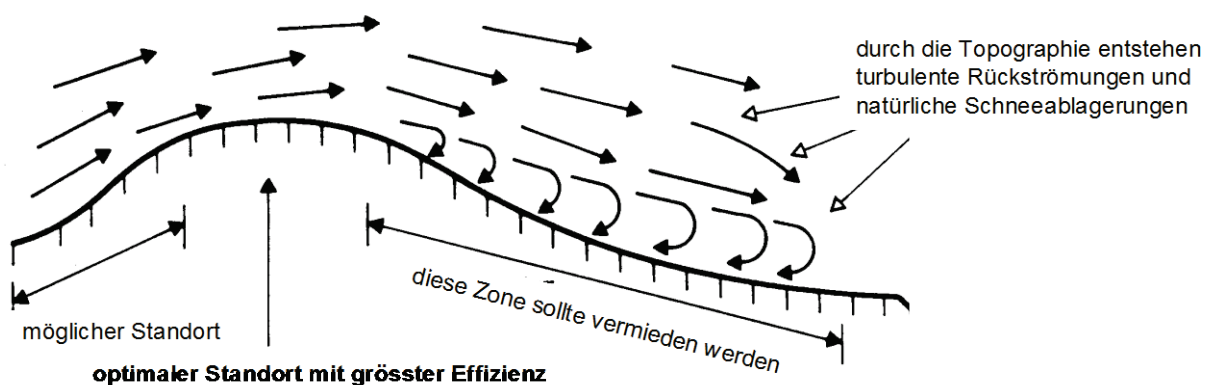


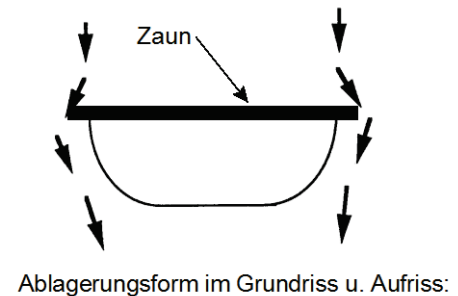
Abb. 6: optimale Positionierung eines Triebsschneezaauns (Castelle, 1991)

Schneeablagerungen bilden (z.B. in Senken oder im Leebereich). An solchen Standorten können Tribschneezäune schon in den ersten Wintermonaten funktionslos werden.

Zaunlänge

Infolge von Geschwindigkeitsunterschieden entstehen an den seitlichen Ablagerungsrändern Randeffekte. Die Ablagerung hat die Form einer halben Ellipse (Abb.7). Damit ein Zaun in seiner Mitte die maximalen Ablagerungslängen erreichen kann, muss die Länge mindestens $24H$ sein. Lange Zäune haben eine grössere Kapazität als kurze Zäune. Deshalb sollten in der Praxis Zaunlängen grösser als etwa $20H$ gewählt werden. Wegen diesen Randeffekten sind Zaunlängen unter $10m$ nicht empfehlenswert.

Weiter sind Lücken in den Zäunen zu vermeiden. Wegen dem Düseneffekt wird die Schneeablagerung in einem viel grösseren Gebiet reduziert, als die Öffnung selbst breit ist.



Ablagerungsform im Grundriss u. Aufriss:

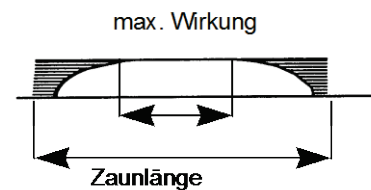


Abb. 7: Wirksame Breite eines Zaunes

Einfluss der Windgeschwindigkeit und Windrichtung

Die grossen Schneeverfrachtungseignisse (Windgeschwindigkeit etwa $30m/s$) eines Winters verleihen der Tribschneeablagerung ihre charakteristische Form. Kleinere Verfrachtungseignisse modifizieren die Ablagerung nur geringfügig. An stark windexponierten Standorten haben Tribschneezäune die beste Wirkung. Bei geringen Windgeschwindigkeiten kann ein Zaun bald von Tribschnee eingedeckt sein.

Bei den bisher vorgestellten Resultaten war die Windrichtung immer senkrecht zum Zaun. Weicht die Windrichtung um mehr als 10° von der Senkrechten ab, nimmt die Ablagerung eine dreieckförmige Gestalt an und das Ablagerungsvolumen wird reduziert (Abb.8). Bei einem Angriffswinkel von 45° geht die Wirkung praktisch verloren. Wenn immer möglich sind die Verwehungsstäbe senkrecht zur massgebenden Windrichtung aufzustellen.

Um sowohl den Randeffekten als auch den variierenden Windrichtungen Rechnung tragen zu können, sollen die Zäune auf beiden Seiten des geschützten Gebietes weit genug

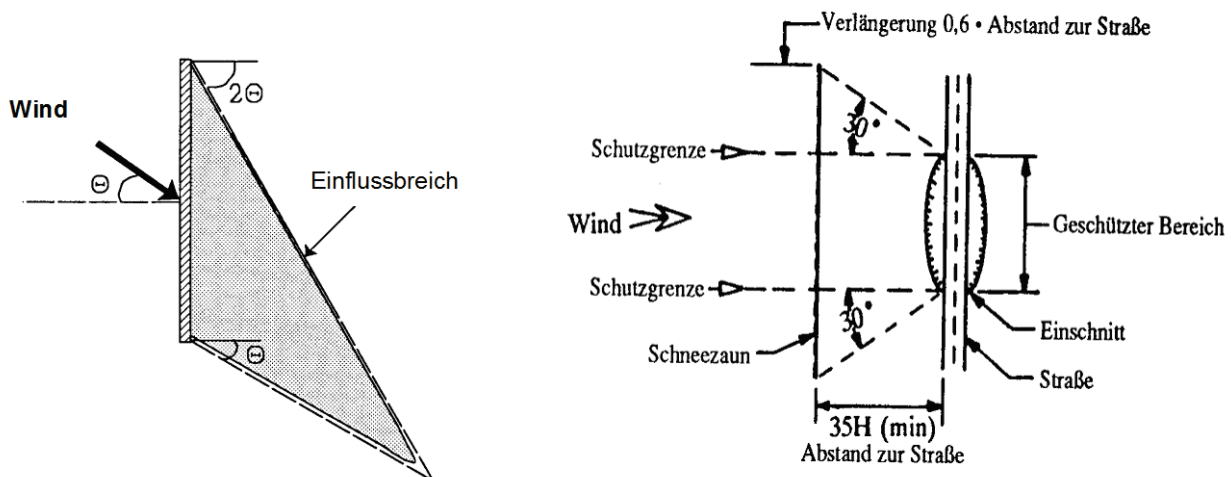


Abb. 8: Einfluss einer Abweichung von der Hauptwindrichtung (Naaim, 1992, Tabler, 1992)

verlängert werden, so dass Winde mit Abweichungen von bis zu 30° von der erwarteten Windrichtung berücksichtigt werden können.

Schrägstehende, gestaffelte Zäune

Wenn es die Windrichtung erfordert, können die Zäune auch schrägstehend, gestaffelt aufgestellt werden (Abb.9 u. 10). Die Distanz a zwischen den Zäunen soll 15 bis 20H betragen. Die Überlappung L der Zäune soll $(0.4-0.6) \cdot a$ betragen, was einem Winkel α von 20 bis 30° entspricht.

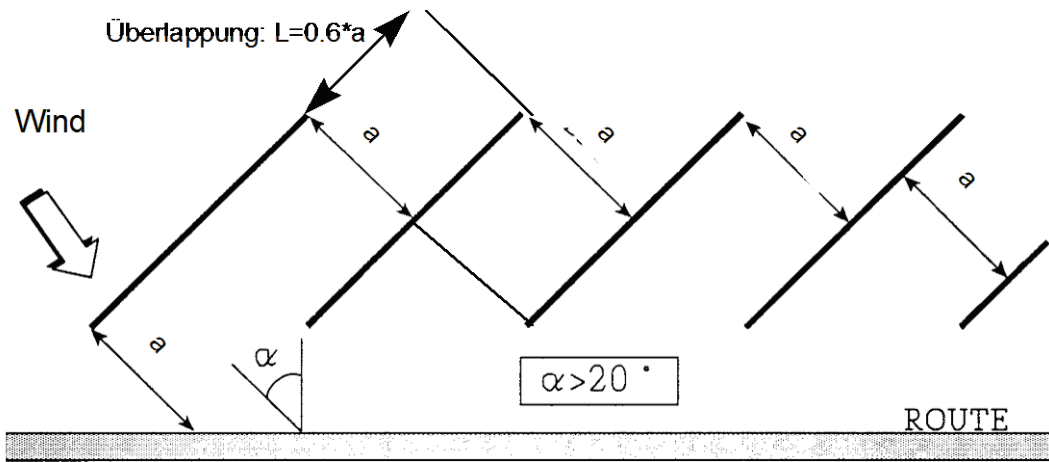


Abb. 9: schrägstehende, gestaffelte Zäune (Castelle, 1991)

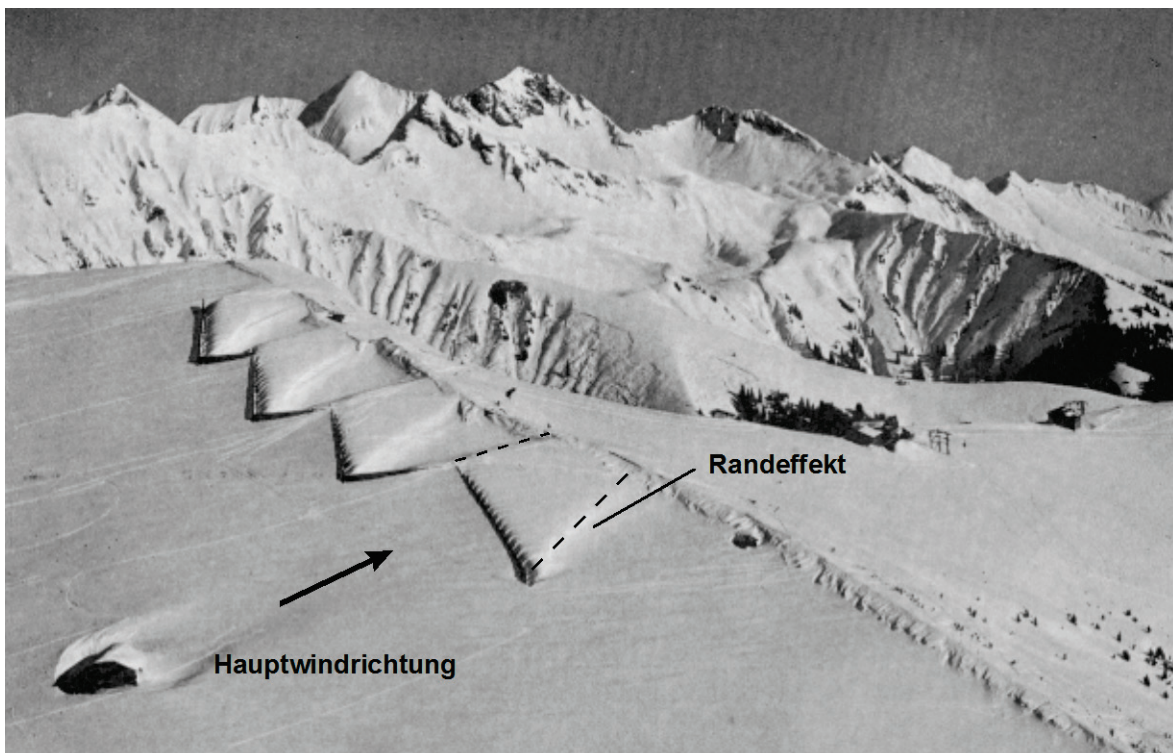


Abb. 10: Triebzäune ob Adelboden, 10.März 1970

1.4 Konstruktion von Triebsschneezäunen

Windlasten:

Der massgebende Lastfall tritt normalerweise im schneefreien Zustand auf. Im geneigten Gelände kann der Zaun noch durch Schneedruck belastet werden (Zaun wenn möglich parallel zur Falllinie errichten). Der Kennwert (ohne Sicherheitsfaktor!) der Windlast Q kann pro Laufmeter Triebsschneezaun für einen Füllungsgrad von 50% wie folgt abgeschätzt werden:

$$Q = q \cdot H \text{ (kN/m')}$$

Staudruck: $q = 1.6 \text{ kN/m}^2$, gilt für exponierte Standorte über 1500m, entspricht einer Windgeschwindigkeit von 50m/s (180km/h) vgl. SIA 261.

Berechnung: $Q = c_j \cdot q \cdot A_t$

c_j :	Formfaktor= 1.6...2.0
q :	Staudruck= $v^2/1600$, v =Windgeschwindigkeit (m/s) $q=50^2/1600=1.56 \text{ kN/m}^2$
A_t :	Bezugsfläche, bei Füllungsgrad von 50%, Zaunhöhe H und Breite B : $A_t=0.5 \cdot H \cdot B$

$$Q = (1.6 \dots 2.0) \cdot q \cdot 0.5 \cdot H \cdot B = q \cdot H \text{ pro Laufmeter Zaun (} B=1.0\text{m)}$$

Zaunhöhe: H (mit Bodenspalt)

Statisches System:

	Stütze im Boden eingespannt:	Stütze durch Zug-/Druckstrebe abgestützt:
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • Beanspruchen weniger Landfläche • Geringere Schadenanfälligkeit durch Schneekriechen 	<ul style="list-style-type: none"> • kleinere Beanspruchung der Stütze • Mikropfahl/Ankerfundationen möglich
Nachteil	<ul style="list-style-type: none"> • grosses Biegemoment in Stütze und Fundament 	<ul style="list-style-type: none"> • Zug-/Druckstrebe ist schadenanfällig falls eingeschnitten

Fundation von Triebsschneezäunen (Abb.11 - 13):

- **Eingespannte Stütze:**
Die Windlasten werden von der Stütze über Bodenpressungen abgetragen. Die Stütze kann in eine Betonröhre oder ein Stahlrohr versetzt werden. Die Verankerungstiefe t_v variiert je nach Zaunhöhe zwischen 1.9 und 2.4m. Fundationen mit Betonsockeln sind erfahrungsgemäss nicht wirtschaftlich.

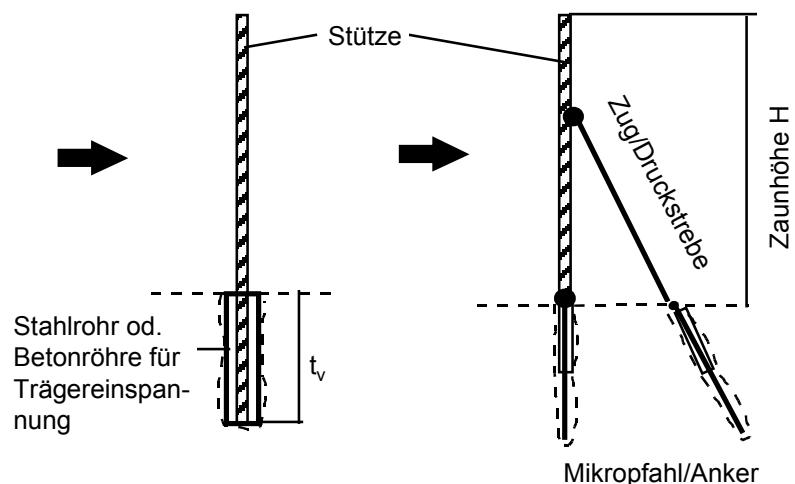


Abb. 11: Statisches System und Fundierung von Verwehungszaunen

• **Mikropfahl-Ankerfundation:**

Die Stütze und die Zug/Druckstrebe werden gelenkig auf einem Mikropfahl bzw. Anker fundiert. Da am Pfahl- resp. Ankerkopf Querbelastungen auftreten können, ist ein rund 1.5m langes Stabilisierungsrohr im Lockergestein zwingend.

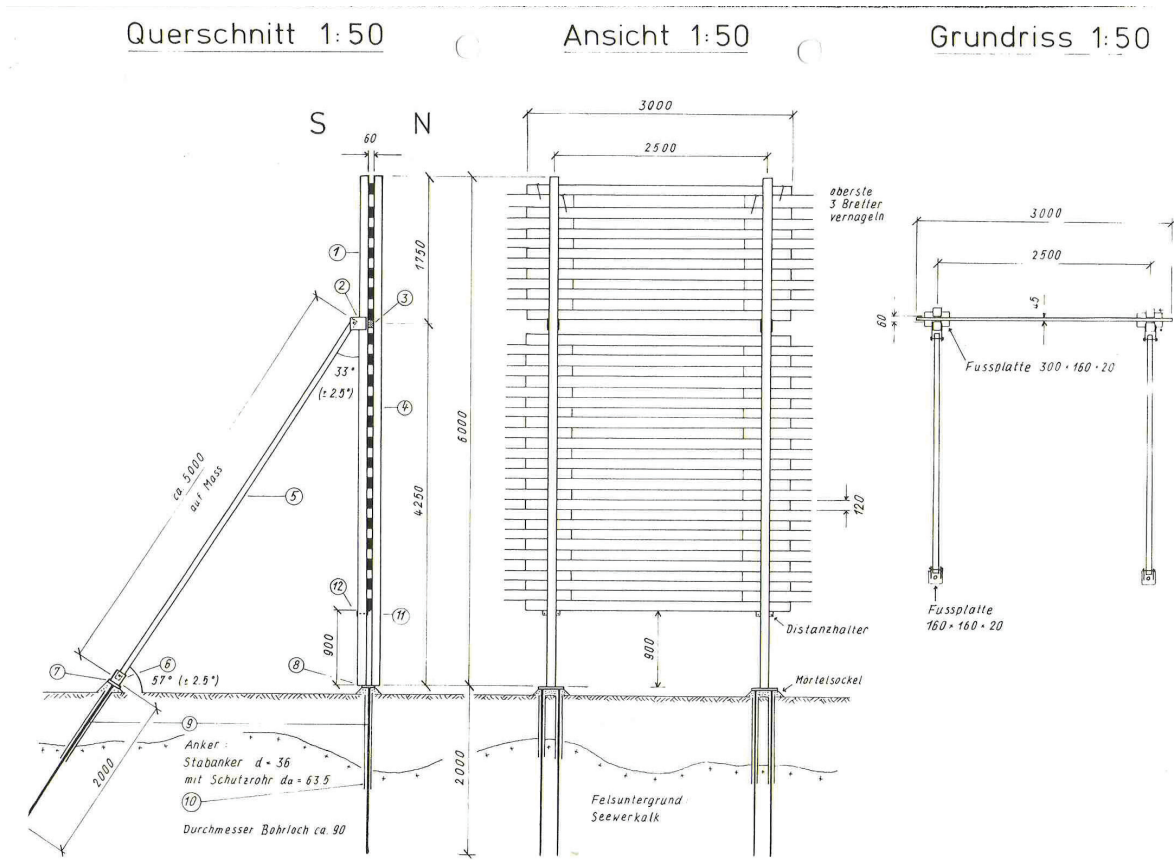


Abb. 12: Statisches System und Fundierung (Felsanker GEWI 36 mm) vom Verwehungszaun auf dem Hinterrugg

• **Grundplattenfundationen:**

Sie können in flacherem Gelände, wo mit Baumaschinen gearbeitet werden kann, eine interessante Alternative darstellen. Wegen evtl. Bodenerosion ist im geneigten Gelände eher davon abzusehen. Seitenabspannungen können mit dem System „toter Mann“ realisiert werden.

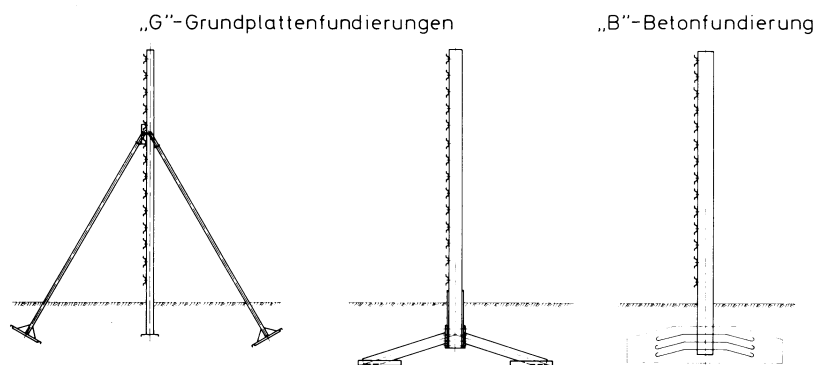


Abb. 13: Fundationsvarianten von Voest-Alpine Triebsschneewänden

Verwehungszäune mit horizontaler Bretteranordnung zeigen die beste Wirkung. Insbesondere wenn der Bodenspalt eingblasen ist, wirken die Zwischenräume zwischen den Brettern als Lücken, die das Verschüttungsrisiko vermindern. In den Schweizer Alpen haben sich Zaunlatten von 12cm Höhe bewährt. Die Bretter können als Sollbruchstelle ausgeführt werden, um zu vermeiden, dass die Tragkonstruktion bei einem Überschreiten

des Staudruckes beschädigt wird. Weiter müssen alle Bretter an der Tragkonstruktion befestigt werden, da sie sonst bei starken Winden herausvibriert werden können. Drehbare Verwehungs­wände haben sich nicht bewährt, da der Drehmechanismus durch Schnee und Eis häufig verklemmt ist. Die Kosten für einen Laufmeter Trieb­schneezaun betragen etwa SFr.1'000.--.

2. Kolktafeln

2.1 Funktion von Kolktafeln

Kolktafeln werden als einfachste und billigste Art des Gwächtenverbaus angesehen. Sie bestehen aus einer oder 2 gekreuzten, trapezförmigen Holztafeln auf einer oder 2 Stützen aus Stahl. Die Trapezform ist der Natur nachgebildet. Unter freistehenden Arven und aufrechten Bergföhren, deren sperrigen Äste nach oben ausweiten, gibt es oft tiefe Kolke, während bei tiefbeasteten Fichten, die mehr eine Kegelform aufweisen, diese Erscheinung fehlt.

Eine Kolktafel bewirkt eine Störung des Windfeldes. In unmittelbarer Nähe der Kolktafel wird die Windgeschwindigkeit erhöht, es kann sich kein Schnee ablagern, es wird sogar Schnee wegerodiert. Um die Tafel entsteht ein Kolk (Abb.14). Um die Kolke herum bilden sich durch dichtere Lagerung des Schnees lokale windgepackte Verfestigungszonen. Durch die Kolke können zusammenhängende Schwachschichten unterbrochen und die Wahrscheinlichkeit für das Anbrechen einer Schneebrettlawine reduziert werden. Weiter kann durch Kolktafeln die Bildung von durchgehenden Gwächten verhindert werden.

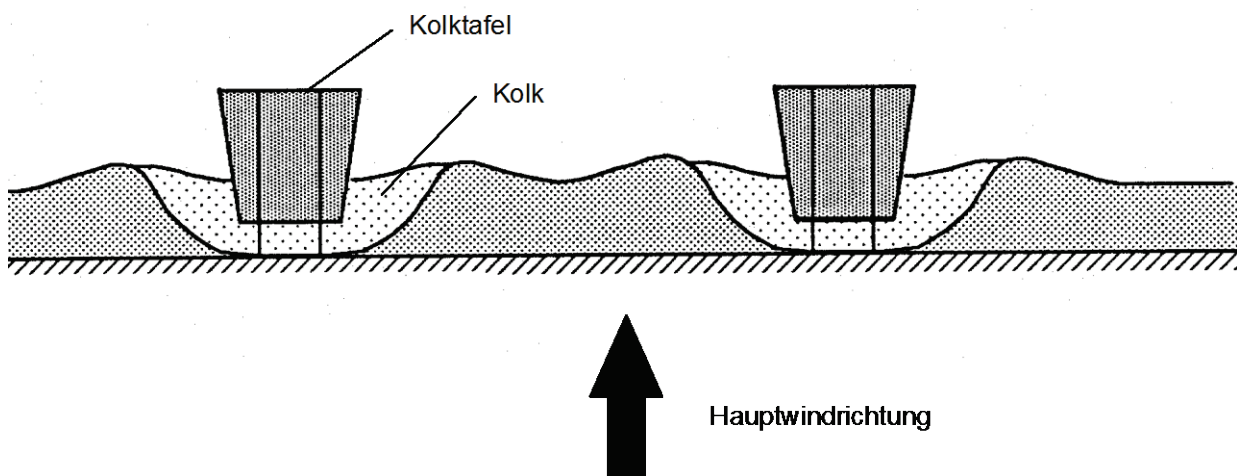


Abb. 14: Wirkung von Kolktafeln

Kolktafeln haben also eine andere Wirkung als Verwehungs­zäune: sie erzeugen keinen Schneerückhalt (quantitativer Effekt), sondern verändern die Schnee­verteilung und Schnee­beschaffenheit durch die Kolk­bildung (qualitativer Effekt). Ohne ausreichenden Wind sind sie wirkungslos.

2.2 Ausführung und Einfluss auf die Kolkbildung

Kolktafeln haben eine trapezförmige Form. Gebräuchliche Abmessungen an der Basis sind 1.5m und an der Oberkante 3.0m. Eine Breite von 5.0m soll nicht überschritten werden. Ist die Tafel zu breit, können sich die randlichen Wirbelfelder gegenseitig nicht mehr erreichen und Schnee kann in Tafelmitte abgelagert werden. Die Wirkung entspricht dann

eher einem Verwehungszaun. Die Höhe ist auf die lokal zu erwartenden Schneehöhen abzustimmen, wobei die Kolktafel die extreme Schneehöhe um 1m überragen soll. Typische Höhen variieren zwischen 3.0 und 3.5m. Die beste Wirkung wird mit Tafeln mit voller Füllung erreicht (Füllungsgrad 100%).

Kolktafeln werden oft aus Stahlstützen mit angeschraubten Holztafeln erstellt. Die Stahlstütze kann auf einem Betonsockel fundiert werden. Eine moderne Kolktafel kostet rund SFr.4'200.--.

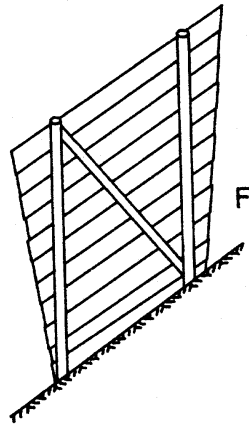


Abb. 15: einfache Kolktafel



Abb. 16: Kreuzkolktafel

Ob einfache (Abb.15) oder gekreuzte Tafeln (Abb.16) anzuwenden sind, hängt von den am Einbauort vorherrschenden Windverhältnissen ab. Kann keine bevorzugte Windrichtung festgestellt werden, sind gekreuzte Tafeln vorzuziehen. Im Steilhang besteht dagegen für eine einfache Kolktafel ein kleineres Schneedruckschadenrisiko, wenn die Tafel in die Hangfalllinie ausgerichtet wird. Falls die Windrichtung jedoch parallel zu Hangfalllinie liegt, zeigen die Kolktafeln eine ungenügende Wirkung.

Die Tafeln können mit und ohne Bodenspalt ausgeführt werden (Abb.17):

- Mit einem Bodenspalt geht der Kolk nicht bis zum Boden. Die Schichtung der Schneedecke wird wohl gestört, nicht aber unterbrochen. Die Schneedecke wird in einem Radius von 6 bis 8m um die Kolkmitte gestört. Die Länge des Kolkes kann bis 30m betragen.
- Ohne Bodenspalt wird der Kolk bis auf den Boden ausgeblasen. Die Schneedecke wird viel empfindlicher und wirksamer gestört als mit einem Bodenspalt. Der Wirkungsradius beträgt etwa 8 bis 10m. Soll versucht werden Schneebrettanbrüche mit Kolktafeln zu verhindern, so sind Tafeln ohne Bodenspalt vorzuziehen.

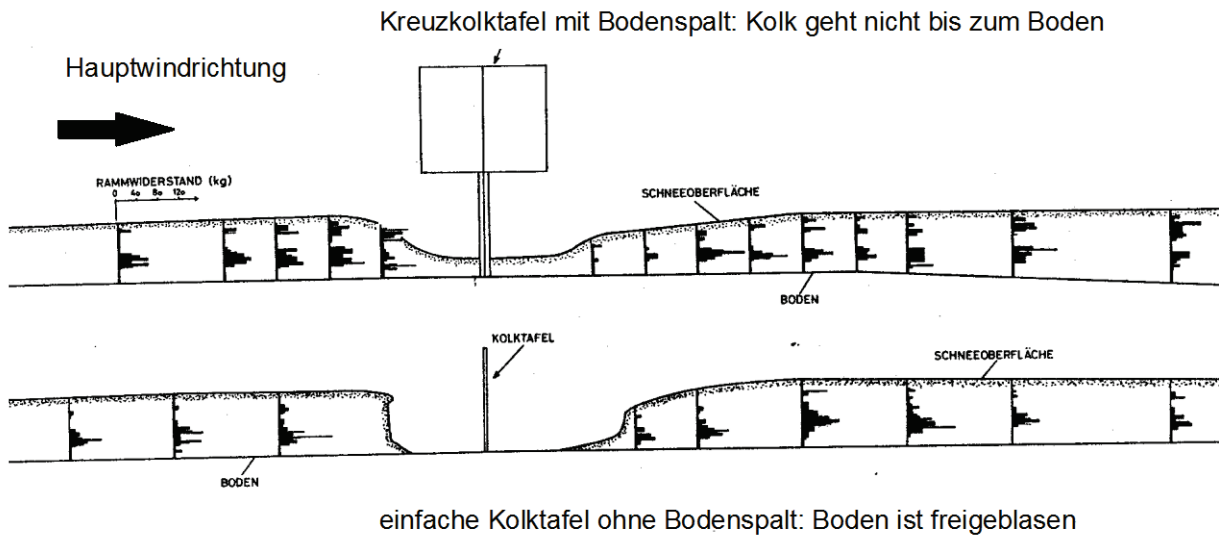


Abb. 17: Wirkung eines Bodenspalt bei Kolktafeln (Hopf, 1963)

2.3 Einsatz und Positionierung

Kolktafeln werden vor allem dort eingesetzt, wo kein entsprechendes Vorfeld zur Ablagerung des Tribschnees vorhanden ist:

- Verhinderung von Gwächtenbildung:**
 durch die Kolke wird die Bildung einer grossen durchgehenden Gwächte verhindert. Die beste Wirkung wird erzielt, wenn die Kolktafeln unmittelbar auf der Gratkante oder bis 1m in Richtung Luv aufgestellt werden. Soll die Gwächtenbildung vollständig verhindert werden, sind Abstände zwischen etwa 5 bis max. 10m zu wählen (Abb.18).

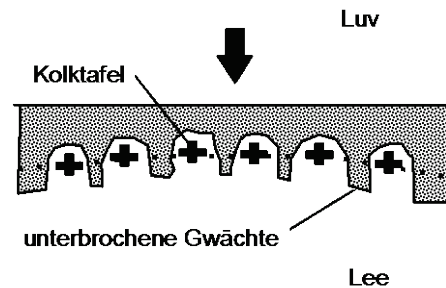


Abb. 18: Unterbrechung von Gwächten

- Trennung von verbauten und unverbauten Anrissgebieten:**

die Kolktafeln werden in Hangfalllinie an den Enden der Werkreihen aufgestellt. Durch die Kolkbildung wird die Schneedecke unterbrochen und die Fortpflanzung eines Anrisses in das verbaute Gebiet vermieden. Es wird nur eine genügende Wirkung erzielt, wenn die Hauptwindrichtung parallel zum Hang verläuft. Die Abstände zwischen den Kolktafeln hat etwa 5 bis 15m zu betragen, so dass sich die Kolke noch berühren (Abb.19).

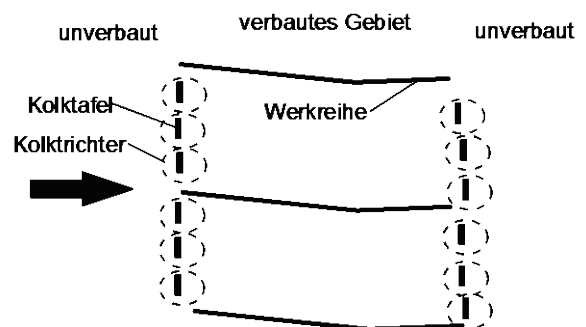


Abb. 19: Trennung von Anrissgebieten

- **Verhinderung von Schneebrettlawinen:**

Die Kolktafeln werden regelmässig in einem Anrissgebiet verteilt. Durch die Kolkbildung wird die Bildung von grossflächigen Schwachschichten verhindert. Als Abstände zwischen den Tafeln sind 15 bis 20m üblich. Die Anwendung von Kolktafeln zur Verhinderung von Schneebrettlawinen beschränkt sich auf kleinflächige Anrisszonen in windoffenen Gebieten, wo nach starken Windeinwirkungen die Neigung zu Schneebrettanbrüchen besteht und keine grossen Werte zu schützen sind.

Wegen der unsicheren Wirkung wird dieser Einsatz eher als fallweise Ergänzung zu den Stützwerken anstelle deren vollständigen Ersatzes angesehen.

- **Verhinderung von lokaler Überlastung von Stützwerken:**

Wo kein genügender Platz für Schneeablagerungen vorhanden ist, kann versucht werden, mit Kolktafeln den Schnee so umzuverteilen, dass ein Stützwerk weniger belastet wird. Der Abstand zwischen Kolktafel und Stützwerk hat etwa 15 bis 30m zu betragen.

Die Wirkung ist sehr unsicher, insbesondere weil durch die Kolktafeln keine Schneeablagerung entsteht.

3. Düsendächer

Düsendächer gelten als die wirksamste Verwehungsverbauung zur Verhinderung der Wächtenbildung. Sie ist eine stark gegen den Hang hin geneigte Tafel mit einem Bodenspalt, wodurch sie ein dachähnliches Aussehen erhält. Wird das Düsendach am Geländebruchrand, d.h. am Wächtenansatz aufgestellt, so wird der Wind unter dem Düsendach

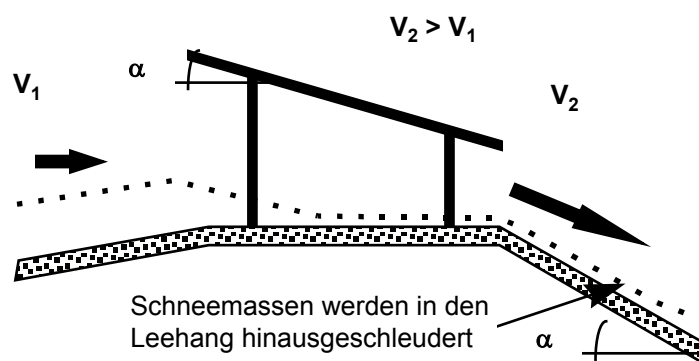


Abb. 20: Wirkung eines Düsendaches

hinweg in den Leehang hinein beschleunigt und der mitgeführte Schnee dorthin verfrachtet. Wegen dem Venturi-Prinzip ist die Austrittsgeschwindigkeit (kleinere Öffnung) grösser als die Eintrittsgeschwindigkeit (grössere Öffnung). Die bodennahe Windströmung wird nach unten in den Leehang abgelenkt (Abb.20).

Durch die Düsenwirkung kann ein Lawinengang bis zu einem Abstand von 10 bis 15m unterhalb des Grates schneefrei gehalten werden. Daraus entsteht aber der Nachteil, dass der Schnee in die darunterliegenden Lawinhänge verfrachtet wird und dort eine unbeabsichtigte Zunahme der Schneehöhen bewirkt (Abb.21). Kolktafeln führen zu wesentlich kleineren Schneeumlagerungen. Sind unterhalb der Gratkante Stützwerke geplant, sind Kolktafeln vorzuziehen. Düsendächer sind dort vorzuziehen, wo der verfrachtete Schnee auf ungefährliche Hangverflachungen abgelagert werden kann.

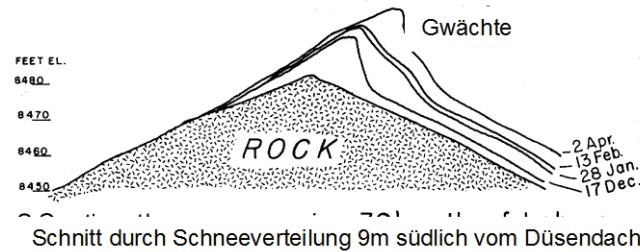
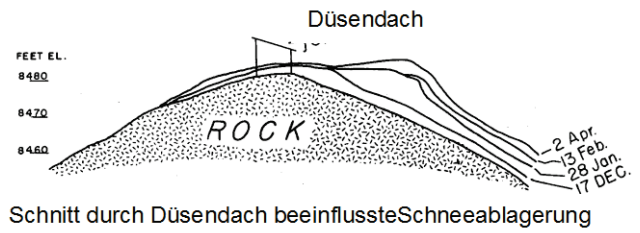


Abb. 21: Wirkung eines Düsendaches (Bridger Range, Montana, 1966)

Der günstigste Effekt wird erzielt, wenn das Dach etwa die gleiche Neigung aufweist wie der darunterliegende Hang (häufig ca. 40°) und der leeseitige Bodenspalt 1 bis 1.5m beträgt (Abb.22). Dachneigungen von weniger als 30° haben sich nicht bewährt. Eine luvseitige Öffnung von 4m wird als ausreichend angesehen. Eine volle Füllung des Daches wirkt sich aerodynamisch am günstigsten aus. Mit einer Distanz von 1.5 bis 2cm zwischen den einzelnen Brettern wird jedoch die Schneeeablagerung auf dem Düsendach reduziert.

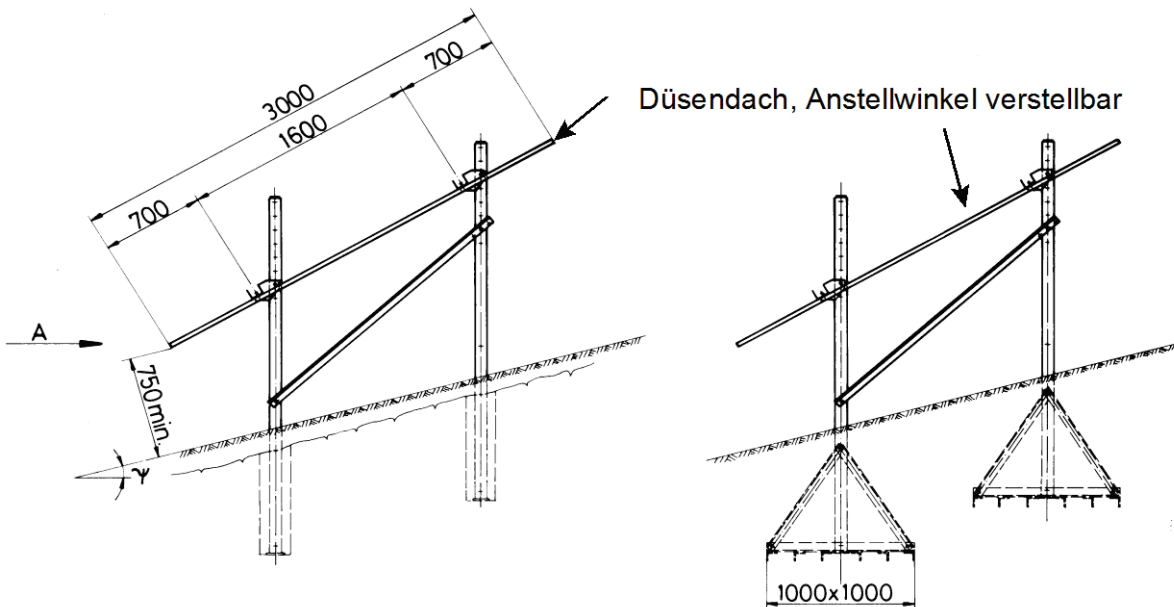


Abb.22: Voest-Alpine Düsendach

4. Tribschneeschanzen

Bei einer Tribschneeschanze handelt es sich um eine künstliche Verlängerung des luvseitigen Hangteiles mit einem etwa 3m breiten Dach in den Leehang hinein. Luvseits liegt das Dach am Boden auf und sollte leeseits eine Überhöhung von mindestens 2.5m aufweisen. Beim Überwehen des Tribschnees über die Schanze, kann der Schnee an der scharfen Schanzenkante nicht anhaften, so dass eine Gwächtenbildung ausbleibt (Abb.23).

Die Verwendung von Tribschneeschanzen empfiehlt sich nur vor leeseitigen Steilabstürzen, da sonst Gegen- oder Seitenwinde das Dach zu hinterfüllen vermögen. Ist der Leehang eher flach, so sind Düsendächer vorzuziehen. Tribschneeschanzen werden selten verwendet und es gibt praktisch keine Felduntersuchungen über ihre Wirkung.

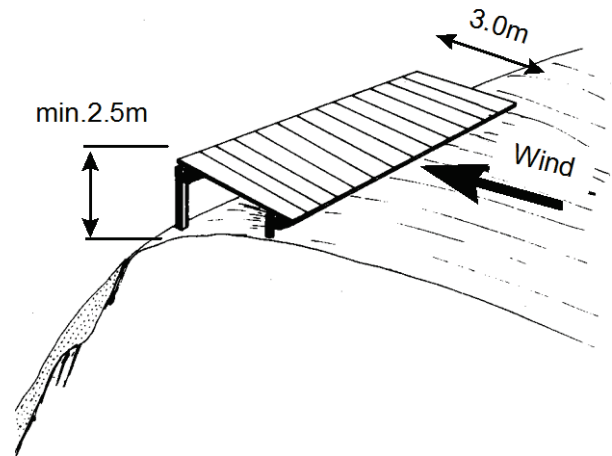


Abb. 23: Tribschneeschanze

5. Planung und Projektierung von Verwehungsverbauungen

A) Problemanalyse

Zuerst muss festgestellt werden, welche Probleme mit Schneeverwehungen vorhanden sind, wo sie auftreten und warum sie auftreten (z.B. Lawinenanbrüche nach grossen Verwehungsperioden, abstürzende Gwächten, eingblasene Stützwerke etc.).

- Definition des Gebietes, wo Verwehungsverbauungen notwendig sind. Markierung der Gebiete auf Luftfotos oder Übersichtsplänen. Die Beobachtungen sind im Winter durchzuführen.
- Feststellung der Ursachen für die Schneeverwehungen. Bisher aufgetretene Probleme, warum wurde es noch nicht gelöst?
- Definition des Schutzzieles: welcher Effekt soll mit der Schneeverwehungsverbauung bewirkt werden?

Untersuchung der lokalen Topographie

- Untersuchung des Makroreliefs (Ebene, Gratrücken, Hangneigung, Felswand, Einschnitte etc.) mit dem Ziel, potentielle Ablagerungs- und Erosionsgebiete (Abb.24) zu erfassen. Überprüfung, ob z.B. für einen Tribschneezaun genügend Platz vorhanden ist.
- Untersuchung des Mikroreliefs (freistehende Bäume, Felsblöcke, Senken, Dämme etc.) mit dem Ziel lokale Ursachen von Gwächten oder Kolken zu eruieren.

Untersuchung der lokalen Schnee- und Windverhältnisse

Die Hauptwindrichtung soll so genau wie möglich festgestellt werden. Sie ist ausschlaggebend für die Ausrichtung bzw. Standort der Verwehungsverbauung.

- Analyse der meteorologischen Daten einer repräsentativen Wetterstation. Winddaten können von automatischen ANETZ- (SMA, Zürich), ENET- resp. IMIS-Stationen (SLF, Davos) (Abb.25) bezogen werden. Schneedata können von den SLF-Vergleichsstationen resp. IMIS-Stationen verwendet werden. Mit diesen Daten kann die globale Hauptwindrichtung, resp. die Windrichtung während den Schneefallperioden festgestellt werden. Um die lokalen Winde bestimmen zu können, können Anemometer (automatische Messung und Aufzeichnung der Windstärke und Windrichtung) im Projektgebiet eingesetzt werden.
- Während Winterbegehungen können nach Schneeverfrachtungsperioden mit einem Kompass die Richtung von Schneeverwehungen hinter Felsblöcken, Bäumen oder Pflöcken, die Verwehungen hervorrufen, bestimmt werden. Im Spätwinter repräsentieren die grossen Schneeverwehungen die mittlere Windrichtung. Die lokale Schneeverteilung kann mit Sondieren festgestellt werden. Die festgestellten Gwächten, Erosion- und Ablagerungszonen können kartiert werden.
- Die Richtung von Schneeverwehungen kann auch gut mit Hilfe von Luftaufnahmen oder Laserscanning bestimmt werden. Die Luftaufnahmen werden am besten nach Perioden mit starken Schneeverfrachtungen durchgeführt, nicht aber nach einem Schneefall ohne Wind.
- Während Sommerbegehungen kann die Hauptwindrichtung oft an der vom Wind geformten Pflanzen erkannt werden.

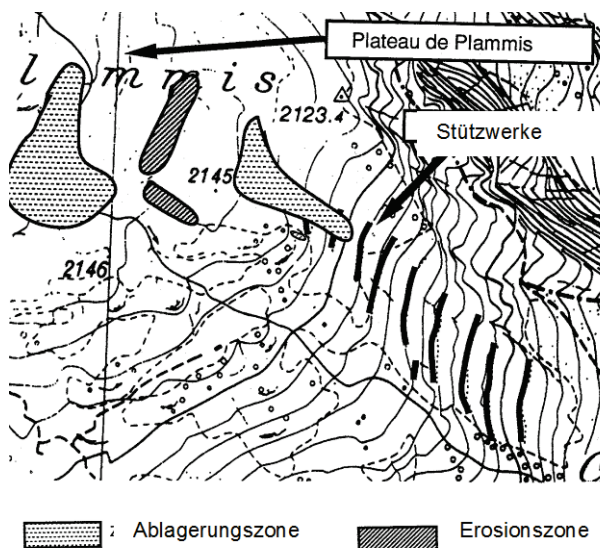


Abb. 24: Erosions- u. Ablagerungszonen

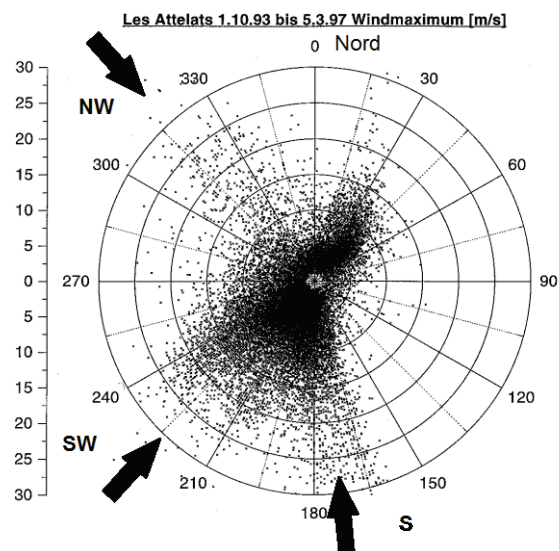


Abb. 25: Windrose mit Hauptwindrichtungen

B) Untersuchung und Erprobung möglicher Massnahmen

Aufgrund der vorliegenden Untersuchungen muss der Entscheid gefällt werden, welche technischen Massnahmen eingesetzt werden sollen. Hilfreich sind auch Quervergleiche zu ähnlichen Situationen. Weiter muss die technische Machbarkeit, die Kosten und der Einfluss auf das Landschaftsbild untersucht werden.

Für den Entwurf eines Triebsschneezaunes kann folgendes Vorgehen empfohlen werden:

1. Markierung der Grenzen des vor Schneeverwehungen zu schützenden Bereiches auf einem Übersichtsplan oder Luftfoto.
2. Ziehen von Linien an diese Grenzen auf der Karte, die parallel zu Hauptwindrichtung verlaufen.
3. Bestimmen der Ausrichtung des Zaunes und des Abstandes zum schützenden Bereich.
4. Einzeichnen der vorläufigen Zaunstandorte.
5. Durchführung einer Geländebegehung, um festzustellen, ob die Aufstellungsorte wegen topographischen Eigenschaften oder anderen kleinen Hindernissen, die nicht auf der Karte oder dem Foto zu sehen waren, korrigiert werden müssen.

Sehr wünschenswert ist der Bau von Versuchsverbauungen, um die Wirkung im Gelände im Massstab 1:1 untersuchen zu können, bevor die definitive Anlage erstellt wird. Beabsichtigt man z.B. einen Triebsschneezaun zu erstellen, so kann ein Versuchszaun mit einer beschränkten Länge erstellt werden. Beim dessen Bau erhält man zudem Informationen über mögliche Fundationsvarianten. Es ist weiter empfehlenswert, Geländeprofile in und ausserhalb der Verwehungsverbauung mit Schneepegeln zu bestücken. Die Schneeverteilung kann mit Laserscanning ermittelt werden.

Während etwa 3 bis 5 Wintern ist das Projektgebiet und die Versuchsverbauung zu beobachten, um die lokalen Kenntnisse zu verbessern und die Wirkung der Verbauungen zu überprüfen (Ausrichtung gegen die Hauptwindrichtung, Länge/Form der Schneeablagung, Geometrie/Gestaltung der Verbauung). Bei einer schlechten Wirkung sind die Versuchsverbauungen zu versetzen oder abzuändern.

Bei grossen Projekten und wo die Wirkung des Reliefs und evtl. Verbauungen trotz der Winterbeobachtungen nicht klar ist, können Modellversuche im Windkanal durchgeführt werden. Bei diesen Versuchen kann jedoch nur festgestellt werden, wo sich Schnee ablagert resp. wegerodiert wird. Aussagen über Schneemengen resp. Schneehöhen können nicht gewonnen werden. Die Kosten für solche Modellversuche betragen zwischen SFr.20'000.- und 30'000.- für ein Gebiet von 500m². Modellversuche werden z.B. am Institut LASSEN an der ETH Lausanne durchgeführt.

Zusätzliche Erkenntnisse über die Strömungsverhältnisse können evtl. auch mit numerischen 3D-Simulationen gewonnen werden. Mit solchen Simulationen können die lokalen Windfelder berechnet werden.

C) Realisierung des Projektes

Die definitiven technischen Massnahmen werden bestimmt. Der genaue Standort, um die notwendige Anzahl Werke bestimmen zu können, wird am einfachsten im Gelände abgesteckt. Diese Arbeiten müssen im schneefreien Gelände durchgeführt werden. Es ist sinnvoll, mögliche Standorte schon in der Versuchsphase zu evaluieren und im eingeschneiten Zustand zu beobachten.

Nach der Realisierung der Massnahmen sind die Winterbeobachtungen (Schneeverteilung, Profile mit Pegeln etc.) während einigen Wintern weiterzuführen, um ihre Wirkung realistisch beurteilen zu können.

In der Kostenplanung ist ein Betrag für eine evtl. Versetzung der Anlage (für eine Windwand ca. 65% und für eine Kolktafel etwa 48% der Erstellungskosten), sowie für evtl. Schneepegel vorzusehen. Eine falsch eingesetzte und folglich unwirksame Verbauung kann einen 100% finanziellen Verlust bedeuten. Umfassende Vorstudien sind deshalb äusserst wichtig, um eine Verbauung schon das erste mal optimal zu versetzen.

Die Kosten für eine umfassende Studie (Voruntersuchungen Topographie und lokales Klima, Überprüfung der Wirkung im Winter von Versuchs- und definitiven Werken während 3 Wintern) betragen für eine Fläche von 500m² etwa SFr. 35'000.--.

6. Schlussbemerkungen

Die Planung und Realisierung von Verwehungsverbauungen ist keine exakte Wissenschaft. Die meisten Grundregeln für die Errichtung von Verwehungsverbauungen wurden unter Laborbedingungen (flaches Gelände, vorgegebene Windrichtung, keine Geländerauhigkeiten etc.) erarbeitet. Gerade im Gebirge sind die Verhältnisse - zum Glück resp. Unglück - meistens viel komplexer.

Der Wind ist die entscheidende Voraussetzung für die Wirkung von Verwehungsverbauungen. Diese werden funktionslos, wenn der Wind ausfällt, was jedoch oberhalb der Waldgrenze selten eintreffen wird. Mit Verwehungsverbauungen kann deshalb in einem Anrissgebiet nicht die gleiche Sicherheit wie mit Stützwerken erreicht werden.

7. Literaturverzeichnis

- [1] Vögeli, T.: Erkenntnisse aus Freilandversuchen für den Einsatz von Tribschneezäunen im Gebirge, vdf Verlag, Zürich, 1996
- [2] Castelle, T. et.al.: Protection des routes alpines contre les congères, EPFL Lausanne, Institut d'hydraulique et d'énergie LASEN, 1015 Lausanne, 1991
- [3] Naim, F., Brugnot, G.: Transport de la neige par le vent - connaissances de base et recommandations, CEMAGREF, Division Nivologie, F 38'0402 Saint-Martin-d'Hères, 1992
- [4] Tabler, R.D.: Leitfaden für Schneezäune (Übersetzung des Forschungsberichtes SHRP-W/FR-91-106 des Strategic Highway Research Program des National Research Council), TH Darmstadt, 1992
- [5] Campell, E.: Verwehungsverbau, p.140-154, in Lawinenschutz in der Schweiz, Beiheft Nr.9 zum Bündnerwald, 1972
- [6] Salm, B.: Schnee, Lawinen und Lawinenschutz, Vorlesungsskript ETH, Zürich, 1987
- [7] Mellor, M.: Blowing snow, CRREL Monograph, Part III, Section A3c, U.S.Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H., 1965
- [8] Norme française NF P 95-305: Barrière à neige, 1992
- [9] Norm SIA 261: Einwirkungen auf Tragwerke, Ausgabe 2003
- [10] Tabler and Associates: Snow fence guide, Strategic Highway Research Programme, National Research Council, Washington, DC., 61p., 1991
- [11] Schweizerische Normenvereinigung (SNV): Winterdienst - Treibschneezäune, Normblatt SNV 640'775a, VSS, Zürich, 1973
- [12] Rudolf, F. und Sauer Moser, Ss (Hrsg.), 2009. Handbuch Technischer Lawinenschutz. Ernst und Sohn. 466 Seiten.

Davos Dorf, Mai 1997/Juni 2015mar