

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 112 (1961)

Heft: 2

Artikel: Lawinenverbau im Anbruchgebiet : Richtlinien für den permanenten Stützverbau

Autor: [s.n.]

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-767475>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 29.03.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Lawinenverbau im Anbruchgebiet

Richtlinien für den permanenten Stützverbau

Vorwort

Oxf. 384.1

Die Richtlinien 1961 für den permanenten Stützverbau fassen die 1955 provisorisch erlassenen Richtlinien sowie deren 1956 und 1959 herausgegebene Ergänzungen zusammen. Sie berücksichtigen alle in der Zwischenzeit gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse und behandeln in erster Linie die von der Natur an eine Verbauung und an die einzelnen Werke gestellten Anforderungen. Um die konstruktiven Möglichkeiten und ihre weitere Entwicklung nicht zu behindern, bleiben Fragen der Konstruktion und der Normierung weitgehend den Konstrukteuren von Verbauungswerken überlassen.

Der Kürze zuliebe wird im allgemeinen auf eine Ableitung und eingehende Begründung der geforderten Maßnahmen verzichtet. Diesbezüglich wird auf die einschlägige Literatur und im besondern auf den Kommentar zu den Richtlinien, der in ähnlicher Form wie der Kommentar 1956 erscheinen wird, hingewiesen. Der erste Teil der Richtlinien wendet sich vorwiegend an die Verfasser von Verbauungsprojekten, während der zweite und dritte Teil den Konstrukteuren als Grundlage dient. Diese Teile sind daher für sich möglichst geschlossen und unabhängig gestaltet worden.

Die Richtlinien haben in erster Linie Gültigkeit für gegliederte Werke, also für aus verschiedenen selbständigen Konstruktionselementen zusammengesetzte Werke. Für massive Werke sind sie sinngemäß zu interpretieren.

Die Anwendung der Richtlinien ist für alle durch die Schweiz. Eidgenossenschaft zu subventionierenden Verbauungsprojekte *verbindlich*. Abweichungen sind nur im ausdrücklichen Einverständnis mit der Inspektion für Forstwesen im Sinn von Versuchen gestattet.

Die Richtlinien wurden durch das Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (i. bes. Dr. M. de Quervain und Ing. B. Salm) unter Mitwirkung von Prof. Dr. R. Haefeli, Dozent für Schneemechanik und Lawinenverbauung an der ETH, Zürich, ausgearbeitet. Die Eidg. Materialprüfungs- und Versuchsanstalt sowie die Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau der ETH, haben in zuvorkommender Weise bei der Abklärung einzelner Spezialfragen mitgewirkt. Ferner sind den Bearbeitern durch kantonale Forstdienste, durch Vertreter der Verbauungspraxis und durch Konstruktionsfirmen, die sich mit dem Verbauungsproblem befassen, wertvolle Hinweise gegeben worden. Ihnen allen sei bestens gedankt.

Der Oberforstinspektor

Übersicht über die verwendeten Bezeichnungen

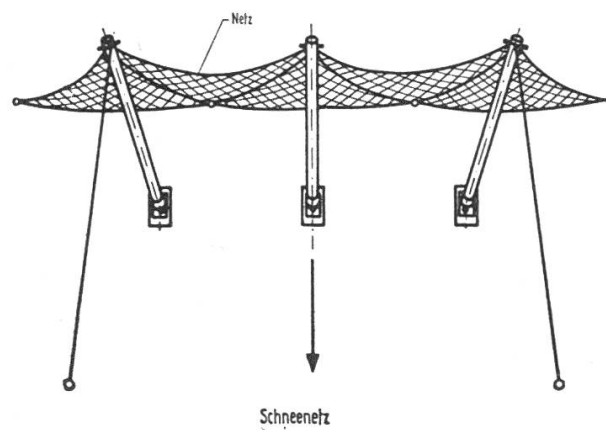
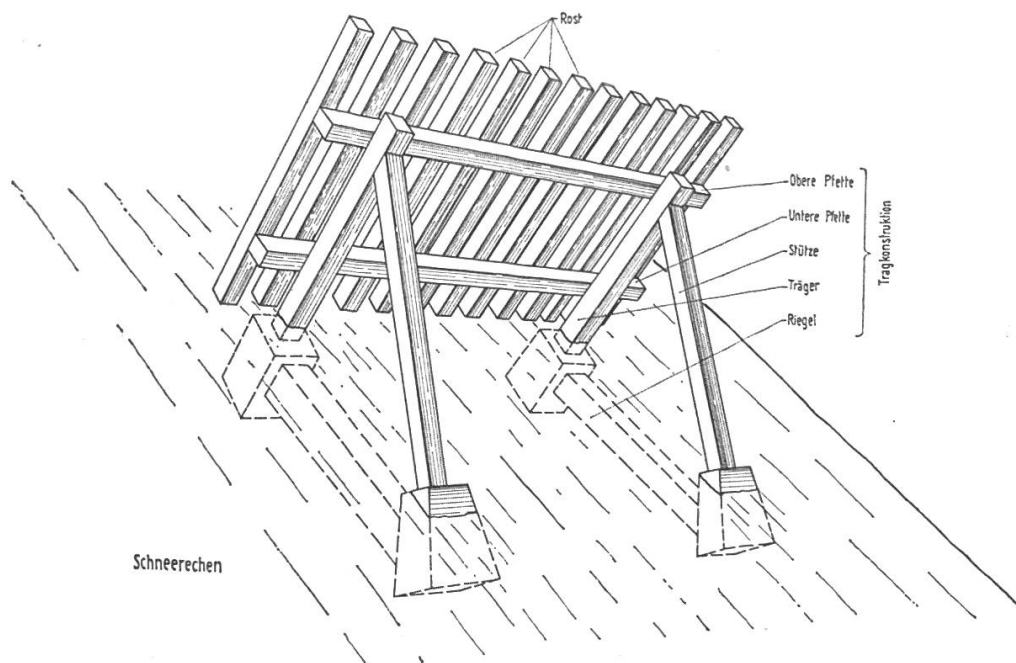
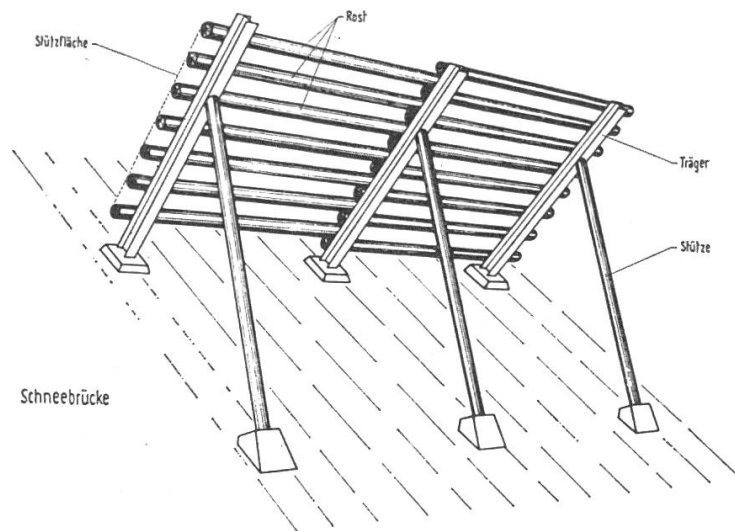
<i>Fertigfundament</i>	Vorfabriziertes Fundament, das an der Baustelle eingegraben wird.
<i>Netz</i>	Aus Seilen bestehende Stützfläche.
<i>Ortsfundament</i>	Fundament, das am Werkstandort hergestellt (z. B. betoniert) wird.
<i>Pfette, obere oder untere</i>	Teil der Tragkonstruktion (ohne Bodenberührung), auf dem die Rostbalken eines Schneerechens aufgelagert sind.
<i>Riegel</i>	Druck- und zugfeste Verbindung von Träger- und Stützenfundament.
<i>Rost</i>	Aus Balken bestehende Stützfläche.
<i>Schneebrücke</i>	Werk mit Rostbalken parallel zur Niveaulinie.
<i>Schneenetzt</i>	Werk mit Netz als Stützfläche.
<i>Schneerechen</i>	Werk mit Rostbalken senkrecht zur Niveaulinie.
<i>Schwelle</i>	Teil der Tragkonstruktion, der auf oder in dem Boden liegt und zur Auflagerung der Rostbalken dient (Schneerechen).
<i>Stütze</i>	Teil der Tragkonstruktion, der Träger oder Pfette talseitig abstützt.
<i>Stützfläche</i>	Gesamte Fläche, in der die Schneedecke abgestützt werden kann (Fläche innerhalb der Umgrenzung eines Rostes oder Netzes).
<i>Tragkonstruktion</i>	Alle Konstruktionsteile, die Kräfte vom Rost oder Netz in die Fundamente leiten.
<i>Träger</i>	Teil der Tragkonstruktion, auf dem Rostbalken einer Schneebrücke oder Pfetten aufgelagert sind.

Der Index ' bei Bezeichnungen für Kräfte bedeutet immer Kraft pro Längeneinheit eine Werkes (Laufmeterlast).

Bezeichnungen für Kräfte ohne diesen Index bedeuten Resultierende über bestimmte Längen.

Die Figuren- und Formelnummern entsprechen den Nummern der Artikel, denen sie zugeordnet sind.

<i>Bezeichnung</i>	<i>Dimension</i>	<i>Bedeutung</i>	<i>Artikel</i>
A	m	Seitlicher Werkzwischenraum (in der Niveaulinie gemessen)	23, 1./23, 2./24, 2./24, 3. 52, 5.
a	—	Verhältniszahl zur Bestimmung von ε (abhängig von der Schneeart)	28, 1./52, 3./55, 2./57, 3.
B _K	m	Rost-, bzw. Netzhöhe (mittlere Abmessung der Stützfläche senkrecht zur Niveaulinie gemessen)	19, 1./54, 2./55, 2./55, 3. 57, 3.
b	m	Belastungsbreite bei Rostbalken	55, 2./57, 1./57, 2./57, 3./ 57, 4./58, 1./58, 2./58, 5.



Bezeichnung	Dimension	Bedeutung	Artikel
D	m	Extreme Schneemächtigkeit (Höchstwert der maximalen Schneemächtigkeit in einer langen Reihe von Jahren an einer bestimmten Stelle)	15/52, 4./52, 5.
D _K	m	Wirksame Rost-, bzw. Netzhöhe (analog zur Schneemächtigkeit gemessene mittlere Entfernung der Stützflächenoberkante vom Boden)	19, 2./24, 4./24, 5./52, 5./55, 2./57, 3.
D _S	m	Allgemeine Schneemächtigkeit (senkrecht zum Hang gemessen)	15/29/31, 4.
f _C	—	Höhenfaktor (berücksichtigt die Abhängigkeit des Raumgewichtes und des Kriechfaktors von der Meereshöhe)	25, 1./25, 2./25, 6./52, 2./59, 1./62, 2.
f _L	—	Abstandsfaktor (zur Bestimmung von L)	21/22, 1.
f _R	—	Randfaktor (zur Bestimmung der Randkräfte)	25, 1./52, 5./53, 4.
f _S	—	Reduktionsfaktor für die hangparallele Schneedruckkomponente bei nachgiebiger Stützfläche	59, 1.
G'	t/m'	Gewicht des Schneeprismas, begrenzt durch die Stützfläche und der von ihrer Schnittlinie mit der Bodenoberfläche ausgehenden hangsenkrechten Fläche	29/52, 4./59, 4.
G' _N , G' _Q	t/m'	Komponenten von G' hangsenkrecht und hangparallel	29/31, 2./31, 3.
H	m	Extreme Schneehöhe (Höchstwert der maximalen Schneehöhe in einer langen Reihe von Jahren an einer bestimmten Stelle)	14, 3./16/18/ 22, 1./25, 2./25, 3./52, 1./52, 2./52, 4./52, 6./53, 2./53, 3./59, 1./62, 2.
$\bar{H}$	m	Durchschnittliche extreme Schneehöhe (Mittelwert der extremen Schneehöhe H über einen Geländeabschnitt, analog H _m)	14, 4./16
H _K	m	Werkhöhe (lotrecht gemessen)	7, 1./17/18/21/57, 10./58, 7./59, 8.
H _m	m	Maximale Schneehöhe (Schneehöhenmaximum eines Winters, an einer bestimmten Stelle)	14, 1./14, 3.
$\bar{H}_m$	m	Durchschnittliche maximale Schneehöhe (Mittelwert der maximalen Schneehöhe H _m über einen Geländeabschnitt)	14, 2./16
H _S	m	Allgemeine Schneehöhe (lotrecht gemessen)	4, 2./13/15/25, 1./27, 1./31, 4.
h	m	Schneehöhe bei dem mit dem 2. Belastungsfall verbundenen spezifischen Schneedruck	53, 2./53, 3.
K	—	Kriechfaktor (abhängig vom Raumgewicht und der Hangneigung)	25, 1./25, 4./25, 6./27, 1./52, 1.
L	m	Werkabstand (in der Fallinie gemessen)	21/22, 2./23, 1./23, 3.
l	m	Werklänge (effektive Länge in der Niveaulinie gemessen)	24, 1./24, 2./24, 3./24, 4./57, 11./59, 9.
l _W	m	Wirkungslänge eines Werkes (Werklänge plus Länge der seitlichen Einflußzonen eines Werkes)	24, 2.
Δl	m	Angriffslänge der Randkräfte (in der Niveaulinie gemessen)	30, 1./31, 3./31, 5./52, 5./53, 4./55, 2./55, 3.

Bezeichnung	Dimension	Bedeutung	Artikel
l_o	m	Horizontaler Abstand zweier benachbarter Auflagerungspunkte des Rostes, der Pfetten oder des Netzes (Feldweite)	54, 2.
N	—	Gleitfaktor (abhängig von der Bodenrauigkeit und der Hangexposition)	21/25, 1./25, 2./25, 5./27, 1./28, 1./52, 2./52, 3./52, 5./59, 1./62, 2.
P'	t/m'	Komponente von R' senkrecht zur Stützfläche .	55, 2.
P _B	t/m'	Belastung eines Balkens senkrecht zur Stützfläche	55, 2./57, 4./57, 6./58, 5.
P _H	t/m ²	Spezifischer Schneedruck senkrecht zur Stützfläche im ersten Belastungsfall	
P _h	t/m ²	Spezifischer Schneedruck senkrecht zur Stützfläche im zweiten Belastungsfall	55, 2./57, 4./58, 5./61
Q'	t/m'	Komponente von R' parallel zur Stützfläche .	57, 3.
q _B	t/m ²	Belastung eines Balkens parallel zur Stützfläche .	57, 3./57, 4./57, 5./57, 6./58, 5.
q _H	t/m ²	Spezifischer Schneedruck parallel zur Stützfläche im ersten Belastungsfall	
q _h	t/m ²	Spezifischer Schneedruck parallel zur Stützfläche im zweiten Belastungsfall	57, 3.
q _S	t/m'	Querbelastung von Pendelstützen senkrecht zur Stützenachse	62, 2.
R'	t/m'	Resultierende sämtlicher Schneedruckkräfte .	31/53, 3./55, 2./57, 3./58, 5./59, 6.
S' _N	t/m'	Hangparallele Schneedruckkomponente (Kriech- und Gleitdruck)	26/27, 1./27, 2./28, 1./31, 2./31, 3./52, 2./52, 3./52, 5./54, 2./59, 1.
S' _Q	t/m'	Hangsenkrechte Schneedruckkomponente (Kriechdruck)	26/28, 1./28, 2./31, 2./52, 3./59, 3.
S' _R	t/m'	Zusätzliche hangparallele Schneedruckkomponente am seitlichen Rand einer Stützfläche (Randkraft)	30, 1./31, 3./52, 5./55, 4.
S _S	t	Seitenbelastung eines Werkes (parallel zur Niveaulinie)	32/54, 2.
s _{zul}	t/m ²	Zulässige Scherspannung im gewachsenen Boden längs den Mantelflächen eines Ortsfundamentes (Zugbeanspruchung)	66, 3.
s _B	t/m ²	Bruch-Scherspannung im gewachsenen Boden längs den Mantelflächen eines Ortsfundamentes (Zugbeanspruchung)	66, 3./67, 2.
s* _{zul}	t/m ²	Zulässige Scherspannung im wiedereingefüllten Bodenmaterial längs den Mantelflächen eines Fertigfundamentes (Zugbeanspruchung)	67, 2.
T	t	Resultierende Einzelkraft, die auf das bergseitige Fundament wirkt	63, 1./66, 1./66, 2./66, 3./67, 2./68, 1.
t	m	Foundationstiefe (lotrecht gemessen)	66, 3./67, 2.

Bezeichnung	Dimension	Bedeutung	Artikel
U	t	Resultierende Einzelkraft, die auf das talseitige Fundament wirkt	63, 1.
w	m	Lichte Weite in der Stützfläche (senkrecht zu den Bauteilen der Stützfläche gemessen)	57, 8./58, 6./59, 7.
α	$^{\circ}$	Winkel zwischen Kraftrichtung und Hangparalleler (Fundamente)	64, 3./64, 4.
γ_H	t/m ³	Mittleres Raumgewicht von Schnee entsprechend der Schneehöhe H	25, 2./52, 1./53, 2.
γ_h	t/m ³	Mittleres Raumgewicht von Schnee entsprechend der Schneehöhe h	53, 1./53, 2.
γ_S	t/m ³	Allgemeines Raumgewicht von Schnee	25, 1./25, 6./27, 1./29/59, 4.
ε	$^{\circ}$	Winkel, den die Resultierende des Schneedruckes aus S'_N und S'_Q (vektorielle Addition) mit der Hangparallelen bildet	28, 1./52, 3.
ε_R	$^{\circ}$	Winkel, den die Resultierende sämtlicher Schneedruckkräfte mit der Hangparallelen bildet	31, 5./55, 2./57, 3.
η	—	Wirkungsgrad eines Werkes in bezug auf die Druckaufnahme	30, 2./62, 2.
ϱ	$^{\circ}$	Winkel, den die Stützfläche mit der hangsenkrechten Ebene bildet	29/33/51/52, 4./55, 2./57, 3.
σ_{α}	t/m ²	Bodenpressung in Kraftrichtung	64, 3./66, 1
σ_0	t/m ²	Bodenpressung hangparallel	64, 3.
φ	$^{\circ}$	Reibungswinkel bei der Gleitbewegung von Schnee auf Boden	21
φ_E	$^{\circ}$	Reibungswinkel bei Übertragung von Druckkräften (Fundamente)	66, 3./67, 2.
ψ	$^{\circ}$	Hangneigungswinkel	3/7, 2/15/21/22, 1/22.2./25, 1./25, 4./25, 5./27, 1./28, 1./52, 1./52, 3./52, 4.

I. Standortbedingungen und allgemeine Anordnung einer Stützverbauung im Gelände

A. Voraussetzungen der Lawinenbildung

a) Schneebrettlawinen

Art. 1 An einem Hang treten in der Schneedecke *Kriechbewegungen* auf und zusätzlich, je nach den Grenzbedingungen zwischen Boden und Schnee, noch *Gleitbewegungen* auf der Bodenoberfläche (Fig. 1).

Ist der Hang eben, die Bodenrauhigkeit und Schneedecke von überall gleicher Beschaffenheit, so sind die Geschwindigkeitsprofile an jedem Ort

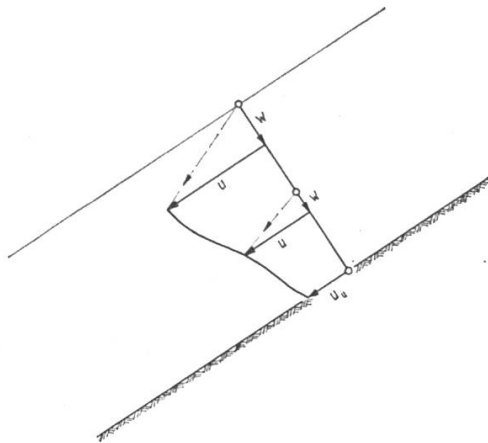


Fig. 1

Geschwindigkeitsprofil der Schneedecke

v	(u, v, w) Resultierender Geschwindigkeitsvektor
u	hangparallele Geschwindigkeitskomponente
u_u	Gleitgeschwindigkeit
$u - u_u$	hangparallele Kriechgeschwindigkeit
w	hangsenkrechte Kriechgeschwindigkeit

identisch. Das Gewicht der Schneedecke wird in diesem Fall an jeder Stelle direkt als Normaldruck und Scherspannung auf den Boden übertragen.

Dies ist der Zustand der sogenannten *neutralen Zone*, gekennzeichnet durch das Fehlen von örtlich veränderlichen Zug- oder Druckspannungen in hangparalleler Richtung. Schneebrettlawinen können hier nur entstehen als Folge einer Überbeanspruchung der Scherfestigkeit des Schnees in der Auflagefläche am Boden (Bodenlawine) oder in einem besonders schwachen Schichthorizont im Innern der Schneedecke (Oberlawine). Als äußere Ursachen kommen in Frage: Steigende Schneebelastung, Skifahrer, Winddruck etc.

Alle Bedingungen, welche zu einer örtlichen Veränderung der Kriech- und Gleitbewegung führen, wie

- veränderliche Hangneigung
- veränderliche Schneemächtigkeit
- veränderliche Bodenrauhigkeit
- veränderliche Schneebeschaffenheit (Plastizität, Reibung, i. bes. Durchnässung der Grenzschicht Boden/Schnee)

rufen Zonen gesteigerter, hangparalleler Zug- und Druckspannungen hervor.

Die Zugzonen sind Zonen *potentieller Schneebrettanrisse*. Sie finden sich vorwiegend an konvexen Gefällsbrüchen (nach unten zunehmendes Gefälle), an Stellen von Schneeanwehungen, am Übergang von felsigem Gelände in Schutt- oder Grashalden und bei nach unten zunehmender Schneehöhe.

b) Lockerschneelawinen

Art. 2 Lockerschneelawinen entstehen in sehr lockerem Schnee auf kleinstem Raum, *ohne ausgedehnte Spannungserscheinungen*. Zur Auslösung genügt in der Regel ein minimaler Anstoß (fallender Stein oder Schneeklumpen). Die Bewegung, die sich nach unten in einem schmalen

Sektor fortpflanzt (Birnenform), schwillt stetig an unter Zunahme der bewegten Schneemasse.

c) Lawinenbildung und Hangneigung

Art. 3 Die niedrigste Hangneigung, an der die Entstehung von Lawinen beobachtet wurde, beträgt 17° (30%). Dieser Fall ist praktisch bedeutungslos. Anrisse bei Hangneigungen unter 30° (57%) sind selten.

Im Gelände von über 45° Neigung überwiegen die Lockerschneelawinen. Diese führen zu einer häufigeren Entlastung eines Hanges und beeinträchtigen den Aufbau einer spannungsgeladenen Schneedecke und damit die Bildung von Schneebrettlawinen.

Als verbauungswürdiger Neigungsbereich wird im allgemeinen 32° – 50° betrachtet (62%–120%)

In Ausnahmefällen sind auch flachere oder steilere Geländepartien zu verbauen, z. B. flachere Schultern oberhalb von Steilabfällen.

B. Aufgabe und Wirkung der Stützverbauung

Art. 4 1. Die Stützverbauung hat zur *Aufgabe*, in der zu verbauenden Fläche das *Abgleiten von Schneebrettlawinen zu verhindern*, und *Lockerschneerutsche*, deren Entstehung bis dahin nicht verhindert werden kann, zu bremsen oder *nach kurzer Wegstrecke abzufangen*. Voll entfaltete Lawinen entwickeln Kräfte, die in der Regel von einer Stützverbauung nicht aufgenommen werden können.

2. Die *Wirkungsweise* der Stützverbauung beruht darauf, daß der kriechenden und eventuell gleitenden Schneedecke eine im Boden verankerte, mehr oder weniger hangsenkrechte, bis an die Schneeoberfläche reichende *Stützfläche* entgegengestellt wird. Dadurch entsteht eine Stauwirkung, d.h. die Kriech- und Gleitgeschwindigkeiten nehmen hangabwärts zum Hindernis stetig ab. Innerhalb der Stauzone, die praktisch über eine hangparallele Distanz von mindestens der 3fachen lotrechten Schneehöhe reicht (wesentlich abhängig von der Gleitbewegung), entstehen im Schnee zusätzliche hangparallele *Druckspannungen*. Diese werden von der Stützfläche aufgenommen, wodurch die im Staubereich liegenden vor der Abstützung vorhandenen schneebrettbildenden Scher- und eventuell Zugspannungen *vermindert* werden.

C. Hinweis auf andere Verbauungsarten

a) Verwehungsverbauung

Art. 5 1. Leichte Bauwerke (Wände, Tafeln, Zäune), die unter Ausnützung der Windwirkung die Schneeablagerung beeinflussen, mit dem Ziel

- einer Einschränkung der Bildung von Schneebrettlawinen oder
- einer Verhinderung der Gwächtenbildung.

b) Ablenkverbauung

2. Massive, auf Lawinenkräfte dimensionierte Werke (Mauern, Keile, Galerien), mit denen bezweckt wird, eine in Bewegung befindliche Lawine einseitig oder zweiseitig abzulenken (bzw. zu spalten).

c) Bremsverbauung

3. Auf Lawinenkräfte dimensionierte Bauwerke, die der Lawine frontal entgegengestellt werden, mit dem Ziel, ihre Masse abzufangen (Fangdämme) oder ihre Bahn zu verkürzen (Bremskeile, Bremshöcker, Bremsböcke).

4. Diese Verbauungsarten können unter Umständen die Stützverbauung nützlich ergänzen.

D. Allgemeine Beanspruchung einer Stützverbauung

Art. 6 Eine Verbauung ist einerseits durch *Schneedruck* (gem. Art. 4, 2.) und andererseits durch *dynamische Kräfte*, hervorgerufen durch Lockerschneerutsche, beansprucht. Während der *statisch* wirkende Schneedruck als Grundlage zur Dimensionierung dient, soll durch eine geeignete Werkanordnung die Größe von möglichen *dynamischen* Kräften in Schranken gehalten werden.

E. Ausdehnung und Anordnung einer Stützverbauung

Anordnung und Abmessung einer Stützverbauung leiten sich aus ihrer Aufgabe (Art. 4) und aus ihrer Beanspruchung (Art. 6) ab.

a) Anordnung der Werke in bezug auf die Anrißlinien

Art. 7 1. Die Stützwerke sind primär unter den höchstliegenden beobachteten oder zu erwartenden Anrißlinien von Schneebrettlawinen anzubringen (Art. 1 und Art. 4), und zwar so, daß diese noch in den wirksamen Staubereich der Werke zu liegen kommen. Dies ist gem. Art. 4, 2. der Fall, wenn die betreffenden Werkreihen nicht weiter als $2-3 \cdot H_K$ unter den Anrißlinien erstellt werden. (H_K ist die lotrechte Werkhöhe). Mit dem Einbau von Werken entstehen in der Regel weiter unten neue, sekundäre Anrißzonen, so daß (auch in einer ursprünglich neutralen Zone) zusätzliche Werkreihen erforderlich werden.

2. Die Verbauungsfläche hat sich talwärts so weit zu erstrecken, bis

- entweder die Geländeneigung definitiv unter zirka 32° abgenommen hat
- oder bis erwartet werden darf, daß weiter unten anbrechende Lawinen kein schädliches Ausmaß mehr annehmen.

b) Anordnung der Werke in bezug auf die Richtung des Schneedruckes

Art. 8 Im Grundriß sind die Stützflächen der Werke *möglichst senkrecht* zur vermutlichen Richtung des resultierenden Schneedruckes zu stellen (wichtig in engen Mulden).

c) Besonderheiten bezüglich der obersten Werke

Art. 9 1. Wenn der zu verbauende Hang oben durch einen stark *vergwächteten* Grat begrenzt ist, sind die obersten Werke möglichst nahe an den Gwächtenfuß zu stellen, jedoch ohne daß sie in die Gwächte einbezogen werden. Sie sind im Hinblick auf die zu erwartende höhere Hinterfüllung und auf möglicherweise abbrechende Gwächtenstücke besonders stark auszubilden.

In vielen Fällen kann die Gwächtenbildung durch eine Verwehungsverbauung reduziert werden. Diese ist gegebenenfalls vor der Erstellung der Stützverbauung auszuführen.

2. Wenn sich der zu verbauende Hang nach oben in sehr steiles, *felsiges* Gelände aufschwingt, sind die obersten Werke ebenfalls besonders stark zu bauen und zudem bei Steinschlaggefahr mit einer gegen Steinschlag möglichst widerstandsfähigen Stützfläche zu versehen. (In Frage kommen: Holz- oder Stahlrost, Erdabdeckung, Netz.) In einzelnen Fällen können Schäden an einer Stützverbauung durch Schnee-, Eis- und Felsabstürze aus höherem, unverbaubarem Felsgelände mit Hilfe von Ablenk- oder Bremswerken verhindert werden.

d) Seitliche Ausdehnung einer Stützverbauung

Art. 10 1. Eine Stützverbauung ist wenn möglich schon oben in der Anrißzone so breit anzulegen, daß sie eine einheitliche Geländekammer deckt und sich an natürliche, seitliche Begrenzungslinien (Geländerippen) anlehnen kann (Fig. 10, 1.).

2. Kann dies aus geländemäßigen oder wirtschaftlichen Gründen nicht geschehen, müssen die Werke in der offenen Flanke nach unten deutlich *zurückgestaffelt* werden, damit die unteren Werke nicht von Lawinen, die unmittelbar neben der Verbauung abgleiten, beschädigt werden. Um ein Übergreifen benachbarter Schneebrettlawinen auf die Verbauzone zu verhindern, kann eine seitliche Abgrenzung dieser Zone durch eine Mauer (Umfriedung) oder eine Verwehungsverbauung vorgenommen werden (Fig. 10, 2.).

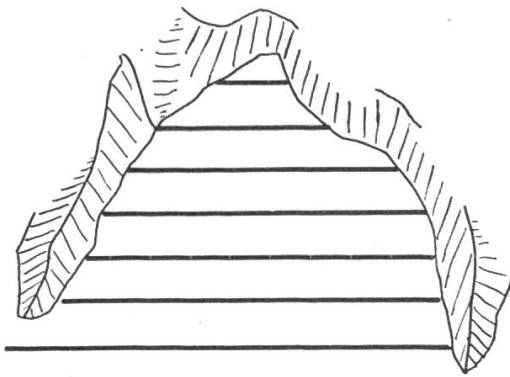


Fig. 10,1

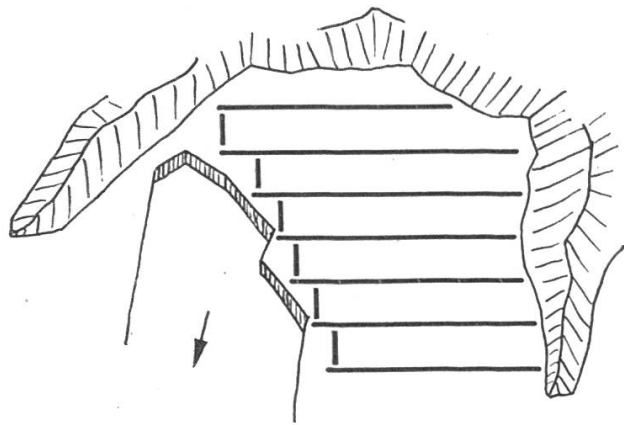


Fig. 10,2

Vollständige (Fig. 10,1) und teilweise Verbauung (Fig. 10,2) einer Geländekammer. Rückstaffelung und Abgrenzung des offenen Verbauungsrandes.

e) Durchgehende und aufgelöste Verbauung

Art. 11 1. Die *durchgehende Verbauung* besteht aus längeren, horizontalen Werkreihen, die sich über den ganzen Verbauungsabschnitt erstrecken und höchstens in anriß-sicheren Geländeteilen Unterbrechungen aufweisen (Fig. 11, 1.).

2. Bei der *aufgelösten Verbauung* ist zu unterscheiden zwischen einer *unterbrochenen* und einer *gestaffelten Verbauweise*.

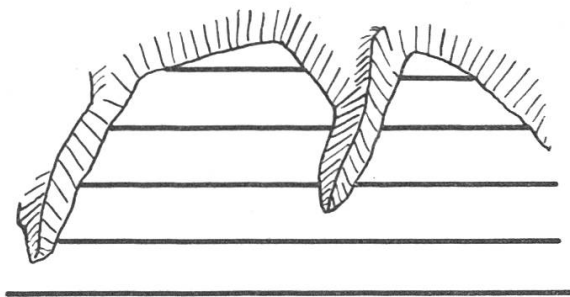


Fig. 11,1 durchgehend

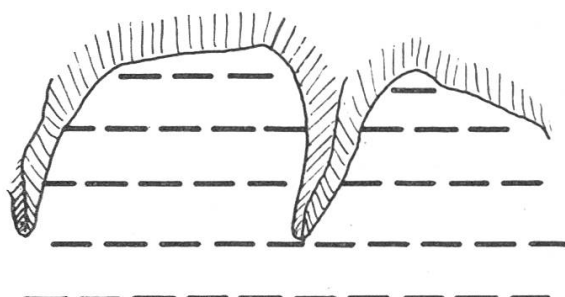


Fig. 11,2 aufgelöst, unterbrochen

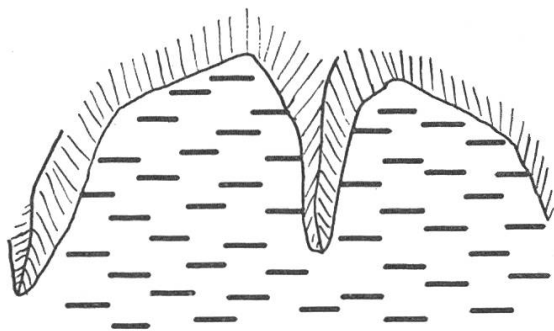


Fig. 11,3 aufgelöst, gestaffelt

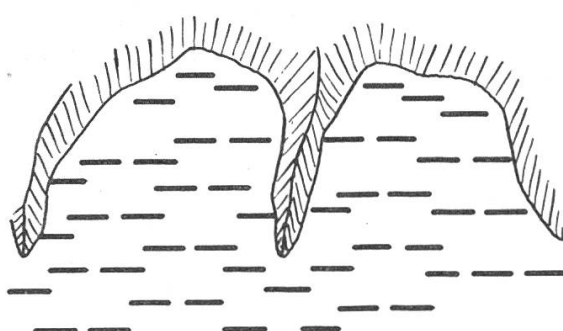


Fig. 11,4 aufgelöst, kombiniert

Durchgehende und aufgelöste Verbauung.

3. Die *unterbrochene Verbauweise* leitet sich aus der durchgehenden Verbauung durch Einfügen von *Zwischenräumen* in die horizontalen Werkreihen ab (Fig. 11, 2.).

4. Die *gestaffelte Verbauweise* weist gegenüber der durchgehenden Verbauung eine wechselweise Höhenverschiebung einzelner Abschnitte auf (Fig. 11, 3.).

5. Alle drei Anordnungen haben ihre Vor- und Nachteile. Die folgende Tabelle gibt darüber nähere Auskunft:

Anordnung	Vorteile	Nachteile
durchgehend (Art. 11, 1.)	– durchgehendes Hindernis für Lockerschneerutsche. – Weitgehende Vermeidung von Zugspannungen in der Schneedecke. – Beanspruchung durch Randkräfte nur an Enden von Werkreihen (minimale gesamte Schneedruckbeanspruchung).	– Beschränkte Anpassungsfähigkeit bei kupiertem Gelände und örtlich wechselnden Schneeverhältnissen. – Große und zusammenhängende Breitenentwicklung von verbleibenden Scher- und Zugspannungszonen in der Schneedecke. – Eventuell seitliche Fortpflanzung von Schadenwirkungen.
aufgelöst unterbrochen (Art. 11, 3.)	– gute Anpassungsfähigkeit an horizontale Geländekonfiguration und örtlich wechselnde Schneeverhältnisse. – Lokalisierung von Schadenwirkungen auf einzelne Abschnitte. – Eventuelle Kosteneinsparung – (im Vergleich zur durchgehenden Verbauung).	– teilweises Durchfließen von Lockerschnee durch Zwischenräume möglich. – Beanspruchung durch Randkräfte, die dem seitlichen Werkzwischenraum entsprechen.
aufgelöst gestaffelt (Art. 11, 4.)	– gute Anpassungsfähigkeit an Geländekonfiguration in allen Richtungen. – Aufteilung von verbleibenden Zug- und Scherspannungszonen. – Verminderung des Schneegleitens zwischen den Werken.	– Beanspruchung durch Randkräfte, die dem freien Werk entsprechen. – Erhöhung der Laufmeterkosten (im Vergleich zur durchgehenden und aufgelöst unterbrochenen Verbauweise).

6. Optimale Wirkungen bei minimalen Kosten werden sich oft mit einer *Kombination* der verschiedenen Anordnungen erreichen lassen, wobei örtlich stark wechselnde Gelände- und Schneeverhältnisse durch die aufgelöste Verbauweise berücksichtigt werden, während bei gleichmäßigen

Bedingungen der durchgehende Verbau vorteilhaft sein kann. In Zweifelsfällen wird eine Wirtschaftlichkeitsanalyse den Weg weisen.

f) *Starre und nachgiebige Stützverbauung*

Art. 12 1. Wenn der Kriech- und Gleitbewegung der Schneedecke eine Stützfläche entgegengestellt wird, die nur kleine, elastische Deformationen erleidet, so spricht man von einer *starren* Stützfläche bzw. von einer *starren Stützverbauung*.

2. Ist die Stützfläche jedoch in der Lage, den genannten Bewegungen bis zu einem gewissen Grade zu folgen, so spricht man von einer *nachgiebigen* Stützfläche, bzw. von einer *nachgiebigen Stützverbauung* (z. B. Schneenetze).

F. Schneehöhe und Werkhöhe

Art. 13 Die lotrecht gemessene Schneehöhe H_S ist charakteristisch für die Schneebedeckung des Geländes. Bei lotrecht einfallendem gleichmäßigem Schneeniederschlag (Windstille) ist die lotrechte Schneehöhe *unabhängig von der Hangneigung*.

a) *Definition von Schneehöhen*

Art. 14 1. *Maximale Schneehöhe* (H_m): Schneehöhenmaximum eines Winters an einer bestimmten Stelle (z. B. an einem Werkstandort).

2. *Durchschnittliche maximale Schneehöhe* ($\bar{H}_m$): Mittlere Schneehöhe (Flächenmittel) in einem Geländeabschnitt, z. B. in einer Verbauungsfläche, im Zeitpunkt des allgemeinen Schneehöhenmaximums eines Winters.

3. *Extreme Schneehöhe* (H): Zu erwartender Höchstwert der maximalen Schneehöhe in einer *langen Reihe von Jahren* (zirka 30 Jahre) an einer bestimmten Stelle (z. B. an einem Werkstandort).

4. *Durchschnittliche extreme Schneehöhe* ($\bar{H}$): Mittlere Schneehöhe (Flächenmittel) in einem Geländeabschnitt, z. B. in einer Verbauungsfläche, im Zeitpunkt der *extremen* Schneebedeckung (zirka einmal innerhalb 30 Jahren).

b) *Definition der Schneemächtigkeit*

Art. 15 Als *Schneemächtigkeit* wird die senkrecht zum Hang gemessene Schneehöhe bezeichnet und mit dem Symbol D versehen (D_S , D_m , D usw.).

$$D_S = H_S \cdot \cos \psi \quad (15)$$

c) *Bestimmung der extremen Schneehöhe*

Art. 16 Maßgebend für die Projektierung einer Verbauung sind die *extremen Schneehöhen* an den Werkstandorten (Art. 18). Nur in

seltenen Ausnahmefällen werden sie sich durch direkte Beobachtung ermitteln lassen. In der Regel muß man von der in wenigen Wintern beobachteten Schneevertelung auf den Extremfall schließen. (Wertvolle Beobachtungen darüber können oft in der Zeit des Ausaperns gemacht werden.)

Die Umrechnung ist unter folgenden *Voraussetzungen* möglich:

- Von Jahr zu Jahr grundsätzlich *ähnliche* *Schneehöhenverteilung* im Verbauungsgelände, unabhängig von der Schneehöhe.
- *Maximale Schneehöhenwerte* H_m an den Werkstandorten während eines oder mehrerer Winter beobachtet.
- *Durchschnittliche maximale Schneehöhe* $\bar{H}_m$ des Verbauungsgebietes für dieselbe Beobachtungsperiode berechnet. (Ein äquivalenter Wert kann u. U. an einem für die durchschnittliche Ablagerung repräsentativen Pegel abgelesen werden.)
- *Mittlere extreme Schneehöhe* $\bar{H}$ der Verbauungslage aus langjährigen meteorologischen Reihen benachbarter Beobachtungsstationen, unter Berücksichtigung der Abhängigkeit des Schneeniederschlages von der Meereshöhe, abgeschätzt. (Bei der Bestimmung des mittleren extremen Schneeniederschlages einer Verbauungslage, ist das Eidg. Institut SLF auf Wunsch behilflich.)

Dann gilt für die gesuchte *extreme Schneehöhe* H an einem Werkstandort ¹:

$$\boxed{H = H_m \cdot \frac{\bar{H}}{\bar{H}_m}} \quad (16) \quad (H_m \text{ und } \bar{H}_m \text{ haben sich auf die gleiche Beobachtungsperiode zu beziehen})$$

d) Definition der Werkhöhe

Art. 17 Die *Werkhöhe* H_K ist definiert als die *mittlere lotrechte Entfernung der Stützflächenoberkante vom Boden*.

Die Definitionen für die einzelnen Werktypen finden sich im III. Teil (Schneebrücken Art. 57, 10., Schneerechen Art. 58, 6. und Schneenetze im Art. 59, 8.).

¹ *Beispiel:* Am 23. März 1961 sei im zu verbauenden Gebiet des Salezerhornes ob Davos anhand einer Reihe von Pegelablesungen eine durchschnittliche Schneehöhe $\bar{H}_m$ von 2.15 m als Höchstwert des betreffenden Winters gemessen worden. An einem der interessierenden Werkstandorte betrug der gleichzeitig vorgenommene Abstich $H_m = 2.47$ m. Aus früheren Beobachtungen von Davos wurde für das Verbauungsgebiet eine mögliche extreme Schneedeckenhöhe von $\bar{H} = 3.70$ m geschätzt. Damit berechnet sich für den fraglichen Werkstandort als extreme, für die Werkhöhe maßgebende Schneehöhe:

$$H = H_m \cdot \frac{\bar{H}}{\bar{H}_m} = 2,47 \cdot \frac{3,70}{2,15} = 4,25 \text{ m}$$

Analoge Berechnung für weitere Werkstandorte.

e) *Bedingung für die Werkhöhe*

Art. 18 Die *Werkhöhe* H_K hat mindestens der für den Werkstandort zu erwartenden *extremen Schneehöhe* zu entsprechen.

$$\boxed{H_K \geq H} \quad (18)$$

Auf der Erfüllung dieser fundamentalen Forderung beruht einerseits die Lawinensicherung in Katastrophensituationen und andererseits das Verfahren für die Dimensionierung der Werke.

Wird $H_K > H$ gewählt, ist für die Dimensionierung durchwegs H_K maßgebend.

Es ist zu beachten, daß die Verbauungswerke je nach ihrer Konstruktionsweise und den Windverhältnissen eine mehr oder weniger erhebliche Rückwirkung auf die Schneeablagerung ausüben.

f) *Definition der Rost-, bzw. Netzhöhe*

Art. 19 1. Als *Rost-, bzw. Netzhöhe* B_K wird die mittlere Abmessung der Stützfläche senkrecht zur Niveaulinie bezeichnet. Sie wird unten durch die Bodenoberfläche begrenzt.

2. Als *wirksame Rost-, bzw. Netzhöhe* D_K wird analog zur Schneemächtigkeit die hangsenkrechte, mittlere Entfernung der Stützflächenoberkante vom Boden bezeichnet.

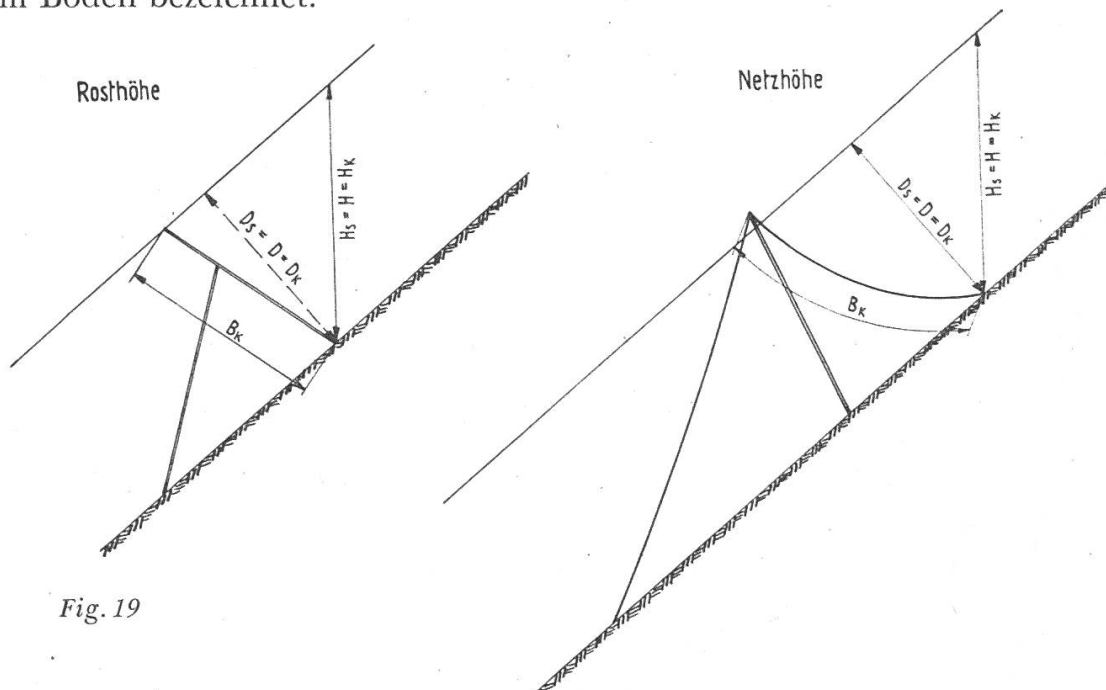


Fig. 19

G. Werkabstände in der Falllinie

Art. 20 Der Abstand von Werken oder Werkreihen in der Falllinie ist über den Schneedruck mit der Schnee-, bzw. Werkhöhe verknüpft. Größere Schnee-, bzw. Werkhöhe erfordert eine stärkere Dimensionierung auf Schneedruck, was bei gleichbleibender Sicherheit gegen die Beanspruchun-

gen (vor allem auch dynamischer Art) größere Werkabstände gestattet. (Näheres darüber siehe Kommentar zu den Richtlinien).

a) *Abstandsformel*

Art. 21 Der *hangparallele Werkabstand* L berechnet sich zu

$$L = f_L \cdot H_K \quad (21, 1.)$$

mit dem *Abstandsfaktor* f_L

$$f_L = \frac{2 \operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg} \psi - \operatorname{tg} \varphi} \quad (21, 2.)$$

wobei φ der *Reibungswinkel* zwischen Boden und Schnee bedeutet.

Fig. 21 gibt f_L als Funktion der Hangneigung ψ mit drei Reibungskoeffizienten $\operatorname{tg} \varphi$ als Parameter.

- Kurve 1 ($\operatorname{tg} \varphi = 0,55$) ist Normalkurve.
- Bei glattem Boden (Gleitfaktor $N \geq 2$, gem. Art. 25, 5.) gilt das Feld zwischen den Kurven 1 und 3.
- Bei sehr rauhem Boden ($N < 2$) ist das Feld zwischen den Kurven 1 und 2 zulässig.

b) *Zusätzliche Bestimmungen für die Abstandsberechnung*

Art. 22 1. Bei *niedrigen Hangneigungen* (unter zirka 35° , resp. 70%) und *großen Schneehöhen*, ergeben sich im Vergleich zum wirksamen Staubereich theoretisch sehr große Abstandswerte. Da für solche Fälle die Gefährdung der Werke durch dynamische Schneewirkungen zurzeit noch nicht überblickt werden kann, empfiehlt es sich, den Abstandsfaktor durch die Bedingung $f_L = 13$ zu begrenzen und nicht über die Gerade 4 hinaus zu gehen.

2. Wenn innerhalb eines Werkabstandes die *Hangneigung wechselt*, ist bei der Berechnung von L für ψ die Neigung der Verbindungsgeraden zwischen den zu bestimmenden Werkfußpunkten einzusetzen.

H. Seitliche Werkzwischenräume

Art. 23 Seitliche Zwischenräume zwischen benachbarten auf gleicher Niveaulinie liegenden Werken sind nach folgenden Gesichtspunkten zu bemessen:

1. Bei *unterbrochener Verbauweise* sind Zwischenräume A , die nicht durch lawensichere Geländeabschnitte bedingt sind, auf maximal 2 m zu begrenzen:

$$A \leq 2 \text{ m}$$

Sie sollen von oben durch Werke im Abstand L voll abgedeckt sein (gilt nicht für die oberste Werkreihe).

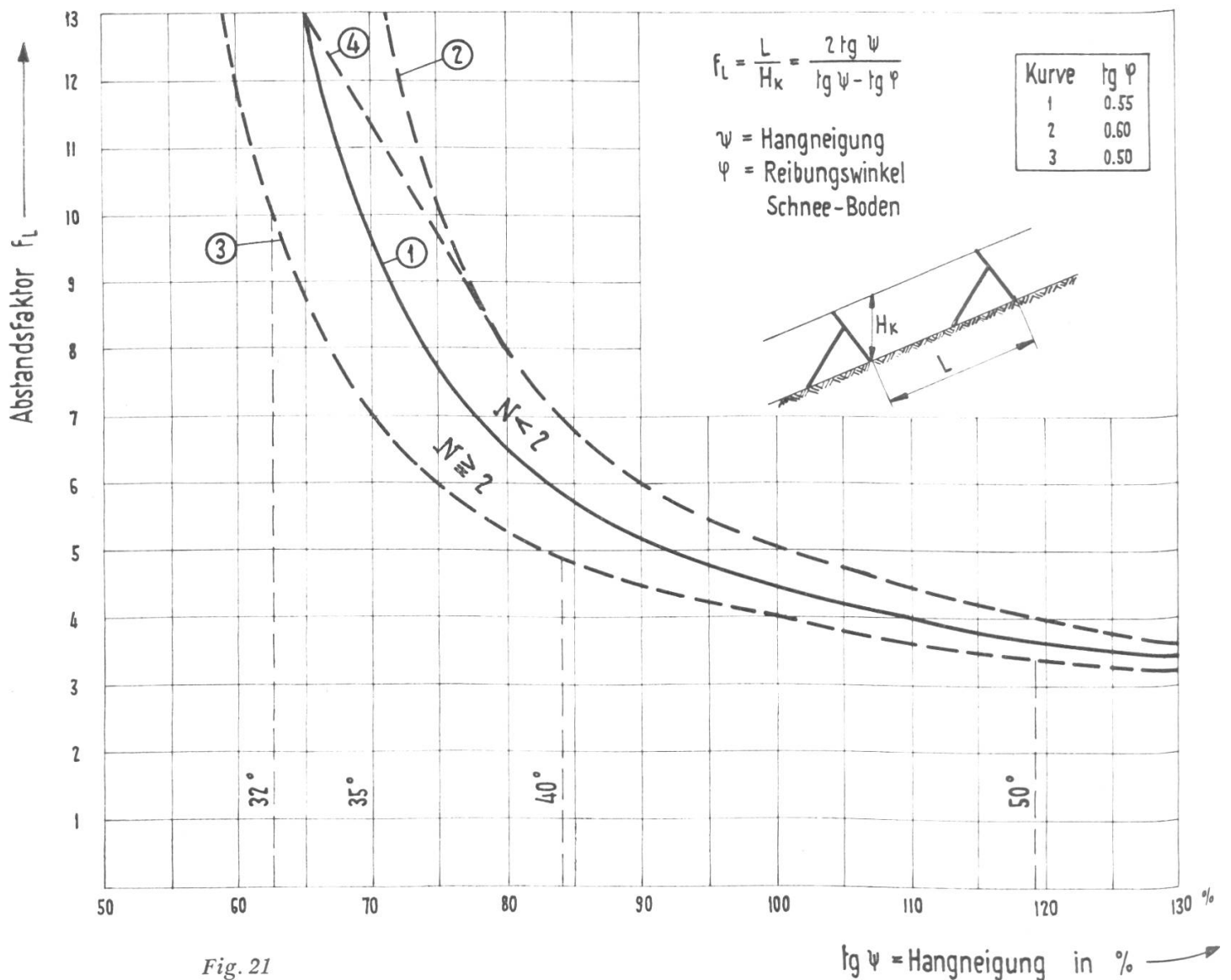
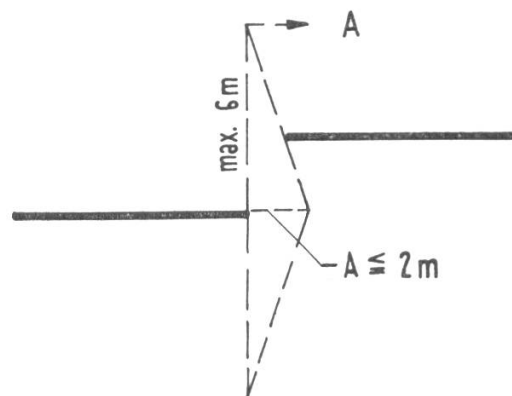


Fig. 21

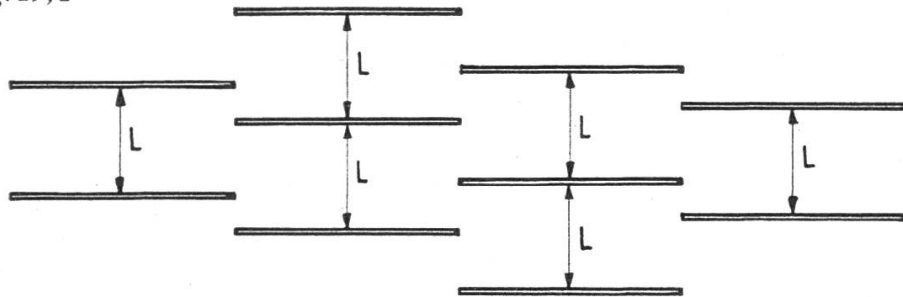
2. Sind seitlich benachbarte Werke in der Falllinie ein wenig gegeneinander verschoben, ist die Projektion der Lücke in Richtung der Falllinie mit zunehmender Verschiebung der Werke gemäß Fig. 23, 1. zu schließen.

Fig. 23, 1



3. Bei *gestaffelter Verbauweise* sind die Unterbrücke beliebig, aber Lücken von über 2 m müssen durch Werke, die unter sich den *normalen Werkabstand L* aufweisen, voll abgedeckt (Fig. 23, 2.), oder gem. Art. 23, 2., teilweise geschlossen sein.

Fig. 23, 2



I. Werklänge

Art. 24 1. Die *Werklänge l* ist die mittlere effektive Abmessung der Stützfläche in der Niveaulinie gemessen (Schneebrücken s. Art. 57, 11. Schneenetze s. Art. 59, 9.).

2. Die *Wirkungslänge l_W* eines Werkes setzt sich aus der Werklänge *l* und den Längen der seitlichen Einflußzonen zusammen.

Beispiel: Bei aufgelöst unterbrochener Verbauweise ist

$$l_W = l + 2 \frac{A}{2}$$

3. Bei der *unterbrochenen Verbauweise* sollen die Werke eine Länge *l* von mindestens 2 A aufweisen (Fig. 24, 1.).

4. Bei der *gestaffelten Verbauweise* sollen die Werke eine Länge *l* von mindestens 2 D_K (D_K = wirksame Rost-, bzw. Netzhöhe) aufweisen. (Fig. 24, 2.).

Fig. 24, 1, unterbrochen

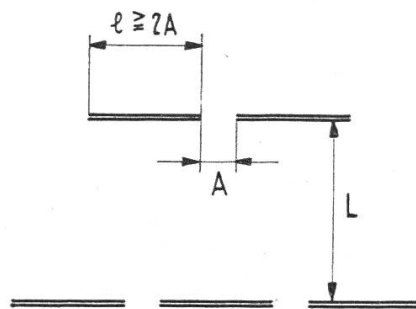
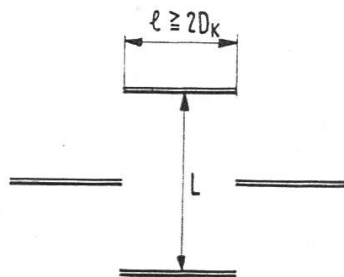
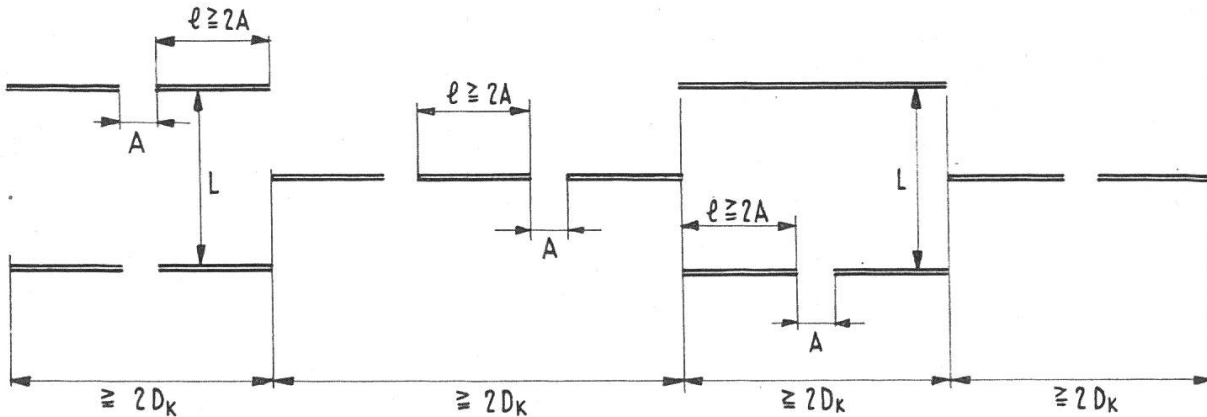


Fig. 24, 2, gestaffelt



5. Werden unterbrochene und gestaffelte Verbauweise *kombiniert*, soll die Länge der auf gleichem Niveau befindlichen (unterbrochenen) Verbauungsabschnitte, inkl. Lücke, mindestens $2 D_K$ betragen (Fig. 24, 3.).

Fig. 24, 3, kombiniert



K. Standortfaktoren des Schneedruckes

Art. 25 1. Der Schneedruck auf ein Stützwerk hängt von folgenden Standortfaktoren ab:

- γ_s mittleres Raumgewicht des Schnees*
- H_s lotrechte Schneehöhe am Werkstandort
- K Kriechfaktor,* abhängig vom Raumgewicht und von der Hangneigung
- N Gleitfaktor, abhängig von der Bewachsung, Rauigkeit und Sonneneexposition des Bodens
- f_c Höhenfaktor, die Abhängigkeit des Raumgewichtes von der Meereshöhe charakterisierend
- f_R Randfaktor, abhängig vom seitlichen Werkzwischenraum (bzw. von der Werkanordnung) und vom Gleitfaktor.

Einzelne dieser Faktoren sind für jedes Verbauungsprojekt, eventuell *jeden Werkstandort im Gelände zu bestimmen*; andere werden auf Grund allgemein gültiger Beziehungen vorgegeben. Letztere sind in obiger Übersicht mit *) bezeichnet. Die Berechnung des Schneedruckes aus den genannten Faktoren ist im II. und III. Teil angegeben.

a) Raumgewicht des Schnees

2. Das *mittlere Raumgewicht* wird für einen Schneedeckenaufbau, wie er im Fall einer *extremen Schneehöhe* anzutreffen sein wird, einheitlich mit

$$\gamma_H = 270 \text{ kg/m}^3$$

angesetzt. Dieser Wert gilt in den Schweizer Alpen für eine Höhenlage von 1500 m ü. M. und eine WNW-N-ENE Exposition. Der Veränderung dieses Basiswertes mit der Meereshöhe und der Hangexposition wird durch den Höhenfaktor f_c (Art. 25, 6.) und den Gleitfaktor N (Art. 25, 5.) Rechnung getragen. Die bei der Setzung der Schneedecke auftretende Erhöhung des Raumgewichtes wird, vom obigen Basiswert ausgehend, durch die Dimensionierungsvorschriften berücksichtigt (Art. 53).

b) Schneehöhe am Werkstandort

3. Maßgebend als Ausgangswert für die Schneedruckberechnung ist die gemäß Art. 16 bestimmte extreme Schneehöhe H am Werkstandort.

c) Kriechfaktor

4. Die Werte für den Kriechfaktor in Funktion des Raumgewichtes und der Hangneigung sind im II. Teil (Art. 27, 1.) verzeichnet. Für die Praxis wird die im Winkelbereich von 35° – 45° geringe Neigungsabhängigkeit vernachlässigt ($\sin 2\psi = 1$ gesetzt).

d) Gleitverhältnisse und Gleitfaktor

5. Der *Gleitfaktor* N , der die Erhöhung des Schneedruckes bei einer Gleitbewegung der Schneedecke auf dem Boden (s. Art. 1) angibt, ist von der Bodenrauhigkeit und von der Hangexposition (Sonnenexposition) abhängig. Er wird nach 4 Bodenklassen und 2 Expositionssektoren abgestuft (siehe Tabelle Seite 25).

Bei Oberflächenarten, die zwischen den gegebenen Klassen liegen, können für N Zwischenwerte interpoliert werden. Beträgt die Steilheit des Geländes mehr als 45° , so ist bei der Festlegung von N ein relativ strenger Maßstab anzuwenden; bei Neigungen unter 35° kann etwas milder geurteilt werden.

Bei hohen Gleitfaktoren ist immer zu prüfen, ob nicht eine *künstliche Erhöhung der Bodenrauhigkeit* (Terrassierung, Verpfählung usw.) wirtschaftlicher ist als die stärkere Ausführung der Werke.

e) Höhenfaktor

6. Der Höhenfaktor f_c stellt keinen elementaren Bestandteil der Schneedruckformel dar, sondern ist mit der Festlegung des Raumgewichtes verknüpft. Er vertritt die allgemein beobachtete *Zunahme des Raumgewichtes mit der Meereshöhe* und berücksichtigt auch die damit zusammenhängende *Erhöhung des Kriechfaktors*. Der höhenabhängige Zuschlag des Schneedruckes wird zwischen 1500 und 3000 m ü. M. auf 2% pro 100 m angesetzt:

Meereshöhe:	1500	1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300 m
Höhenfaktor f_c :	1,00	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,16

Bei Meereshöhen unter 1500 m ü. M. ist f_c zu 1,00 und über 3000 m ü. M. zu 1,30 anzunehmen.

Bodenklassen	Gleitfaktor N	
	Exposition WNW-N-ENE	Exposition ENE-S-WNW
<i>Kl. I</i> — grober Blockschutt ($d^* \geq 30$ cm). — von kleineren und größeren Felsblöcken stark durchsetztes Gelände.	1,2	1,3
<i>Kl. II</i> — mit größerem Erlengebüsch oder mindestens 1 m hohen Legföhren überwachsene Flächen. — stark ausgebildete, von Grasnarbe und Kleinsträuchern überwachsene Höcker (Höhe der Höcker über 50 cm). — stark ausgebildete Kuhtritte. — grobes Geröll (d^* ca. 10–30 cm).	1,6	1,8
<i>Kl. III</i> — kurzhalbmige Grasnarbe, von Kleinsträuchern durchsetzt (Erika, Alpenrosen, Heidelbeeren, Erlengebüsch, Legföhren von unter ca. 1 m Höhe). — feines Geröll ($d^* \leq 10$ cm) abwechselnd mit Grasnarbe und Kleinsträuchern. — schwach ausgebildete, von Grasnarbe und Kleinsträuchern überwachsene Höcker von bis zu 50 cm Höhe, auch abwechselnd mit glatter Grasnarbe und Kleinsträuchern. — Grasnarbe mit schwach ausgebildeten Kuhtritten.	2,0	2,4
<i>Kl. IV</i> — glatte, langhalmige geschlossene Grasnarbe. — glatte, anstehende Felsplatten mit hangparalleler Schichtung. — glatter mit Erde vermischter Hangschutt. — sumpfige Mulden.	2,6	3,2

d^* ist diejenige Blockgröße, welche für die Rauigkeit der Bodenoberfläche maßgebend ist.

L. Foundationsverhältnisse

7. Zu den Projektierungsarbeiten gehört eine gründliche Abklärung der Foundationsverhältnisse. Diese hat sich zu beziehen auf die

- Geologische Struktur des Untergrundes. (Felstiefe, Art und Klüftigkeit des Felsens, Art der Felsüberdeckung, Feuchtigkeits- und Frostverhältnisse, Bewegungszustand von Lockergestein [Solifluktion], eventuell Chemismus des Bodens und seine Verträglichkeit mit Fundamentmaterialien.)
- Ermittlung der zulässigen Beanspruchungen von Lockergesteinen. (Dazu dienen die im Anhang beschriebenen Bodenteste.)
- Da die einzelnen Werktypen unterschiedliche Ansprüche an die Foundations stellen, sind die Foundationsverhältnisse vor der Wahl des Werktyps zu prüfen und bei dieser zu berücksichtigen.
- Art der Foundation (Orts- oder Fertigfundamente).

II. Allgemeine Übersicht über die Schneedruckwirkungen

Dieser Teil orientiert nur allgemein über die auftretenden Kräfte; die Dimensionierung der Werke hat nach den im III. Teil enthaltenen Richtlinien zu erfolgen.

Art. 26 Der Schneedruck, in der lotrechten Ebene durch die Falllinie wirkend, setzt sich im allgemeinen zusammen aus:

- dem Druck, hervorgerufen durch eine lokale Abbremsung der Kriechbewegung (Kriechdruck) und der eventuell vorhandenen Gleitbewegung (Gleitdruck)
- dem Druck, hervorgerufen durch die Verhinderung der Querdehnung, die unter der hangsenkrechten Gewichtskomponente entstehen würde (nivostatischer Druck).

A. Hangparallele Schneedruckkomponente

Art. 27 1. Die *hangparallele Komponente des Kriech- und Gleitdruckes* auf eine starre, senkrecht zum Hang stehende und in der Niveaulinie unendlich lange Stützfläche beträgt

$$S'_N = \gamma_S \cdot \frac{H_S^2}{2} \cdot K \cdot N \quad (27)$$

S'_N hangparallele Schneedruckkomponente pro Längeneinheit der Stützfläche

γ_S mittleres Raumgewicht der Schneedecke (abhängig von der Höhenlage und der Hangexposition)

H_S lotrecht gemessene Schneehöhe

- K Kriechfaktor (abhängig von der Hangneigung ψ und vom Raumgewicht γ_s gemäß untenstehender Tabelle)
- N Gleitfaktor (berücksichtigt den Gleitdruck und ist von der Bodenrauigkeit und Hangexposition abhängig)

Kriechfaktor K in Funktion von γ_s und ψ

γ_s (kg/m ³):	200	300	400	500	600
K/sin 2 ψ :	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

Die gegebenen Zahlenwerte, multipliziert mit sin 2 ψ , ergeben angenähert die den Raumgewichten zugeordneten K-Werte.

2. S'_N wird im allgemeinen als gleichmäßig über die Höhe verteilt angenommen (als Vereinfachung der auch in einer homogenen Schneedecke vorhandenen komplizierten Schneedruckverteilung).

3. Der nivostatische Druck darf gegenüber dem Kriech- und Gleitdruck meistens vernachlässigt werden.

B. Hangsenkrechte Schneedruckkomponente

Art. 28 1. Die hangsenkrechte Schneedruckkomponente auf eine starre, senkrecht zum Hang stehende Stützfläche tritt auf, wenn die Setzungsbewegung an derselben verhindert ist (Haftung, Rauigkeit). Sie beträgt:

$$S'_Q = S'_N \frac{a}{N \cdot \operatorname{tg} \psi} \quad (28, 1.)$$

$$\frac{a}{N \cdot \operatorname{tg} \psi} = \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{S'_Q}{S'_N} \quad (28, 2.)$$

S'_Q hangsenkrechte Schneedruckkomponente pro Längeneinheit der Stützfläche

ε Winkel, den die Resultierende des Schneedruckes aus S'_N und S'_Q (vektorielle Addition) mit S'_N bildet.

a Verhältniszahl, abhängig von der Schneeart (kann im Bereich von 0,2 bis 0,5 variieren)

2. S'_Q wird ebenfalls als gleichmäßig über die Höhe verteilt angenommen.

C. Zuschlag bei nicht hangsenkrechter Stützfläche

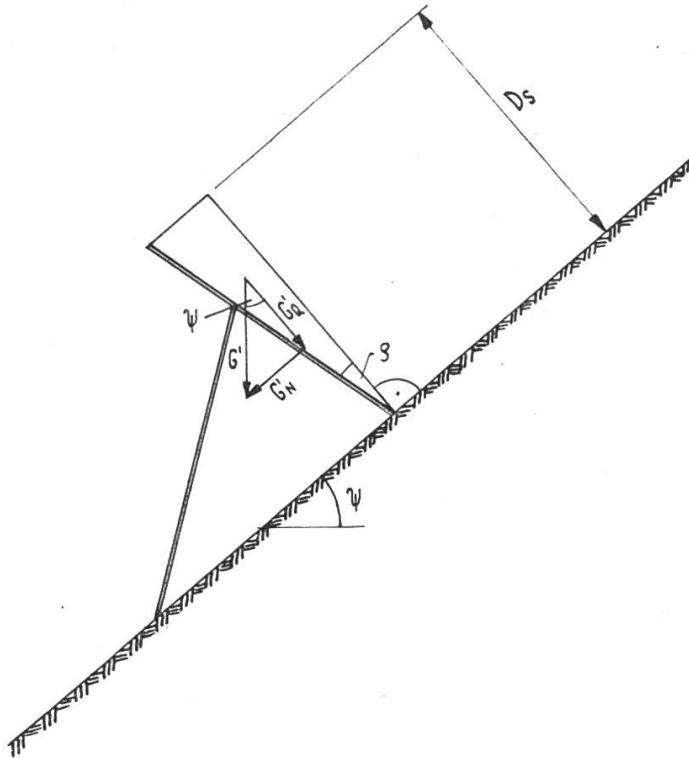
Art. 29 Wenn die Stützfläche nicht senkrecht zum Hang steht, muß außer den Komponenten S'_N und S'_Q zusätzlich noch das Gewicht G' des Schneeprismas berücksichtigt werden, das aus der Stützfläche und der von ihrer Schnittlinie mit der Bodenoberfläche ausgehenden hangsenkrechten Fläche gebildet wird.

Für eine *ebene* Stützfläche gilt:

$$G' = \gamma_s \cdot \frac{D_s^2}{2} \operatorname{tg} \varrho \quad (29)$$

- G' Gewicht des Schneeprismas pro Längeneinheit
 D_s Schneemächtigkeit senkrecht zum Hang gemessen
 ϱ Winkel zwischen der Stützfläche und der Hangsenkrechten
 G'_N, G'_Q Komponenten von G' hangparallel und hangsenkrecht

Fig. 29



D. Randkräfte

Art. 30 1. Ist die Ausdehnung der Stützfläche in der Niveaulinie begrenzt, treten, da der Schnee die Fläche seitlich umfließen kann und sich dabei die Stauwirkung auch nach der Seite auswirkt, zusätzliche *Randkräfte* auf.

Diese sind abhängig von allen Faktoren, die den Schneedruck am unendlich langen Werk bestimmen, ferner von den Abmessungen, Formen und Oberflächenrauigkeiten des Rostes und in erhöhtem Maße vom Gleitfaktor. Die grundsätzliche Verteilung der Schneedrücke geht aus Figur 30 hervor. Für die praktische Berechnung wird einfachheitshalber eine den Randkräften äquivalente, konstante Laufmeterlast S'_R mit der Angriffslänge Δl angenommen (siehe Art. 52, 5.).

2. Als *Wirkungsgrad* η eines Stützwerkes (in bezug auf die Druckaufnahme) kann das Verhältnis des effektiven Schneedruckes einschließlich der Randkräfte zum Schneedruck ohne Randkräfte definiert werden.

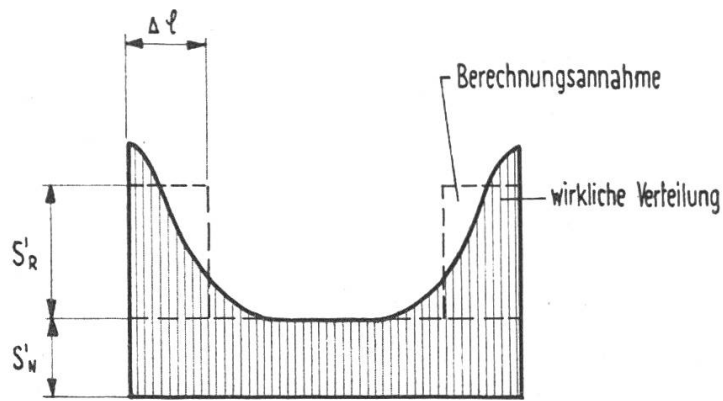


Fig. 30 Schneedruckverteilung an einer seitlich begrenzten Stützfläche.

E. Resultierende

Art. 31 1. Die Resultierende R' erhält man aus der *vektoriellen Addition* der Komponenten aus den Art. 27, 28, 29 und 30.

2. Für die *unendlich lange Wand* gilt:

$$R'_N = S'_N + G'_N \quad (31, 1.)$$

und

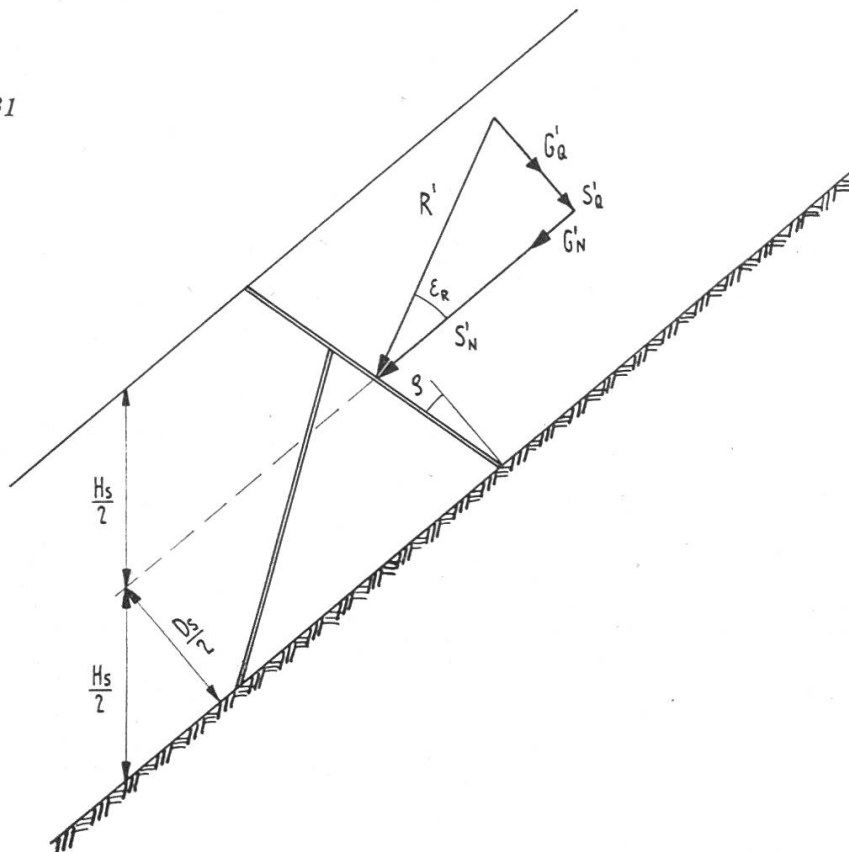
$$R'_Q = S'_Q + G'_Q \quad (31, 2.)$$

$$R' = \sqrt{R'^2_N + R'^2_Q} \quad (31, 3.)$$

3. Innerhalb der Angriffslänge der *Randkräfte* ist den hangparallelen Komponenten S'_N und G'_N noch die Randkraft S'_R beizufügen:

$$R'_N = S'_N + S'_R + G'_N \quad (31, 4.)$$

Fig. 31



4. Unter der Voraussetzung gleichmäßiger Verteilung der Druckkomponenten auf die Wandhöhe, folgt ein *Angriffspunkt* der Resultierenden in angenähert halber Höhe ($H_s/2$, bzw. $D_s/2$).

5. Die *Richtung* ε_R der Resultierenden (in der Ebene senkrecht zur Niveaulinie) erhält man aus

$$\boxed{\operatorname{tg} \varepsilon_R = \frac{R'_Q}{R'_N}} \quad (31, 5.)$$

(Sie hat innerhalb der Angriffslängen der Randkräfte nicht die gleiche Neigung wie in der von Randwirkungen freien Zone.)

F. Seitenbelastungen

Art. 32 Infolge von Unregelmäßigkeiten im Gelände und in der Schneehöhenverteilung steht die Resultierende im Grundriß nicht immer senkrecht zur Stützfläche (siehe Bedingung in Art. 8). Es ist deshalb eine der Niveaulinie parallele Seitenbelastung S_s anzunehmen (Art. 54, 2.).

III. Richtlinien für die Dimensionierung von gegliederten Stützwerken

Art. 33 Die nachfolgenden Berechnungsverfahren und die angegebenen zulässigen Spannungen beziehen sich auf gegliederte Stützwerte mit starren oder (unter Berücksichtigung der speziellen Vorbehalte) nachgiebigen Stützflächen, die senkrecht zur Hangfalllinie gestellt oder aus dieser Lage um einen gewissen Winkel ϱ talwärts geneigt sind.

A. Baustoffe

a) Holz

Art. 34 1. Für Kantholz ist grundsätzlich die Bauholzsortierung nach SIA-Norm Nr. 163 anzuwenden. Rundholz bzw. Stangen sollen gesund sein.

2. Durch *Konservierungsbehandlungen* läßt sich die Dauerhaftigkeit der Hölzer erhöhen. Nach Maßgabe der in Versuchsanlagen gemachten Erfahrungen erteilt das Institut SLF Auskunft über geeignete Schutzmittel und Anwendungsverfahren.

3. *Buchen- und Eschenholz* darf nicht ohne geeignete Behandlung mit Konservierungsmitteln (Kesseldruckverfahren) verwendet werden.

4. *Fichten- und Tannenholz* haben im unbehandelten Zustand eine sehr beschränkte Dauerhaftigkeit, welche je nach Anwendungsart eine Gebrauchsdauer von nur etwa 3 bis 10 Jahren garantiert. Dieses Holz soll daher in der Regel nicht ohne wirksame Behandlung mit Konservierungsmitteln verwendet werden.

5. Das Kernholz von *Lärchen, Föhren, Eichen und Edelkastanien* gewährleistet eine längere Dauerhaftigkeit, die unter den im Lawinenver-

bau herrschenden Bedingungen bis in die Größenordnung von zirka 25 Jahren gehen kann (unbehandelter Zustand).

b) Stahl

Art. 35 Für geschweißte und ungeschweißte Bauwerke gelten folgende Qualitätsvorschriften:

1. Für die *Tragkonstruktion* sind Stähle der Qualitäten 37-3, 42-3, 52-3 nach DIN 17 100 (Oktober 1957) zu verwenden. Andere Stahlqualitäten sind durch vorliegende Richtlinien nicht erfaßt.

2. Für die Bauteile des *Rostes* sind Stähle der Qualitäten 37-2, 37-3, 42-2, 42-3 und 50-2 nach DIN 17 100 (Oktober 1957) zu verwenden. Andere Qualitäten werden durch vorliegende Richtlinien nicht erfaßt.

3. Für nicht geschweißte Bauteile des *Rostes* sind auch die Qualitäten 52-3 und 60-2 nach DIN 17 100 zugelassen.

c) Leichtmetalle

Art. 36 Es sind die Aluminiumlegierungen gemäß DIN 4113 (Februar 1958) zugelassen.

B. Sicherheitsgrad

Art. 37 1. Hinsichtlich des Sicherheitsgrades wird zwischen *Fundation*, *Tragkonstruktion* und *Rost* unterschieden.

2. Für die *Fundation* ist gegen Bruch eine zweifache Sicherheit nachzuweisen (siehe auch Anhang).

3. Die *Tragkonstruktion* wird so dimensioniert, daß die dauernde Erhaltung ihrer Tragfähigkeit gewährleistet ist, sofern auch die erforderlichen Unterhaltsmaßnahmen (Art. 44, 7. und 50) getroffen werden.

4. In Anbetracht der einfachen Auswechsellmöglichkeit der *Rostbalken* können die zulässigen Spannungen im *Rost* etwas höher gehalten werden als in der *Tragkonstruktion*.

C. Bemessung und zulässige Spannungen

a) Grundsätzliches

Art. 38 1. Wo nichts anderes vermerkt ist, gelten die einschlägigen SIA-Normen.

2. Die nachfolgenden Angaben gelten nicht für Hilfsbauwerke im allgemeinen Bauwesen (z. B. für Brückenbauten) und haben nur Gültigkeit für Stützbauwerke im Anbruchgebiet (keine Gültigkeit für Ablenk- und Bremsverbau).

3. In Abweichung von den SIA-Normen werden keine höchstzulässigen reversiblen Deformationen vorgeschrieben.

4. Die in Art. 45 und 47 angegebenen Kriechwege und die zulässigen Spannungen in Art. 45 wurden unter Berücksichtigung der zeitlichen Häufigkeiten der Schneedruckwirkungen bestimmt.

5. Für die Belastungsannahmen gelten die Art. 52–68 der vorliegenden Richtlinien.

b) Holzkonstruktionen

1. Allgemeines

Art. 39 1. Der Minimalquerschnitt der Konstruktionshölzer soll den rechnerisch erforderlichen Querschnitt nicht unterschreiten.

2. Bei Verwendung von Lärchen-, Eichen- oder Edelkastanienholz darf in der Berechnung nur der Kernholzquerschnitt eingesetzt werden; es sei denn, der Splint werde durch eine wirksame Konservierungsbehandlung geschützt.

2. Tragkonstruktion

Kantholz

Art. 40 1. Kantholz ist grundsätzlich nach den SIA-Normen Nr. 163 und 164 zu berechnen. In Abweichung von Art. 9 Abs. 5 (SIA-Norm Nr. 164) ist jedoch in Anbetracht der besonderen, äußeren Verhältnisse im Lawinenverbau eine Abminderung der zulässigen Spannungen auf 70 Prozent zu berücksichtigen.

2. Bei Verwendung von *Laubholz* (Edelkastanie, Eiche, Esche, Rotbuche) dürfen diese zulässigen Spannungen für Längsdruck (ohne Knicken) und Biegung um 25 Prozent erhöht werden.

Rund- und Stangenholz

Art. 41 Für Rund- und Stangenholz dürfen die für Kantholz der Güteklasse II geltenden Spannungen (Art. 40, 1. und 40, 2.) bei Längsdruck und Biegung um 25 Prozent erhöht werden.

Die unter Berücksichtigung der Art. 40 und 41 erhaltenen zulässigen Spannungen finden sich in der Tabelle Art. 43.

3. Rost

Art. 42 1. Die zulässigen Spannungen für das Holz der Tragkonstruktion (Art. 40 und 41) dürfen für die Berechnung der Rosthölzer um 25 Prozent erhöht werden.

2. Die in Art. 40, 1. erwähnte Abminderung der Spannungen hat nur auf 80 Prozent zu erfolgen.

Die unter Berücksichtigung des Art. 42 erhaltenen zulässigen Spannungen finden sich in der Tabelle Art. 43.

4. Zulässige Spannungen für Holz

Art. 43

Beanspruchung	Zulässige Spannung in kg/cm ²							
	Tragkonstruktion (unter Berücksichtigung der Abminderung auf 70%)				Rost (unter Berücksichtigung der Abminderung auf 80 %)			
	Kantholz Güteklasse nach SIA-Norm Nr. 163			Rund-, bzw. Stangen- holz	Kantholz Güteklasse nach SIA-Norm Nr. 163			Rund-, bzw. Stangen- holz
	I	II	III		I	II	III	
Biegung ohne Axial- kraft, Randspannung σ_R								
Nadelholz	85	70	50	90	120	100	70	125
Laubholz	105	90	65	110	150	125	90	155
Druck und Zug ¹ parallel zur Faser $\sigma_{ }$								
Nadelholz	70	60	40 ¹	75	100	85	60 ¹	105
Laubholz	90	80	50 ¹	95	125	105	75 ¹	130
Druck senkrecht zur Faser $\sigma_{\perp}$								
Nadelholz								
ohne Vorholz	8				12			
mit Vorholz	11				16			
Laubholz								
ohne Vorholz	25				35			
mit Vorholz	35				45			
Abscheren parallel zur Faser τ								
Nadelholz	7				10			
Laubholz	9				13			

Die gerade gedruckten Zahlen sind von untergeordneter Bedeutung.

¹ Kantholz der Güteklasse III ist nicht zulässig für maßgeblich auf Zug oder Knicken beanspruchte Konstruktionsteile. Im übrigen gilt bei Knicken sinngemäß Art. 14 der SIA-Norm Nr. 164.

c) Stahlkonstruktionen

1. Allgemeines

Art. 44 1. Unter der *reduzierten Streckgrenze* σ_{RS} wird ein Festigkeitswert verstanden, der aus der Streckgrenze und der Bruchdehnung im

Zugversuch unter Einsetzung eines empirischen Korrelationskoeffizienten errechnet wird:

$$\sigma_{RS} = \frac{\sigma_S}{2} \left(1 + \frac{\lambda_5}{30} \right) \quad [\text{kg/mm}^2] \quad (44)$$

σ_{RS} reduzierte Streckgrenze $[\text{kg/mm}^2]$

σ_S Streckgrenze $[\text{kg/mm}^2]$

λ_5 Bruchdehnung auf 5 Stabdurchmesser Meßlänge $[\%]$

2. Der Wert für λ_5 darf nicht größer als mit 30 Prozent eingesetzt werden ($\lambda_5 \leq 30\%$).

3. Die Werte von σ_S und λ_5 sind durch Zugversuche an Probematerial aus den verwendeten Profilen festzustellen. Die Proben sind nach DIN 17 100 zu entnehmen.

4. Ein gesonderter Festigkeitsnachweis ist pro Baugruppe oder höchstens 200 m Profillänge erforderlich.

5. Für den Nachweis der Knick-, Kipp- und Beulsicherheiten ist die SIA-Norm Nr. 161, Art. 18, 19 und 20, Bauwerksklasse II Belastungsfall Z anzuwenden.

6. Die Einhaltung der bei der Berechnung angenommenen Profilform bei Montage ist nachzuprüfen. Teile, die eine geringere Knicksicherheit als die rechnerische ergeben, dürfen nicht verwendet werden.

7. Als Abrostungszuschlag ist einheitlich 0,5 mm pro Außenfläche einzusetzen. Bei feuerverzinkten Bauteilen entfällt der Abrostungszuschlag.

2. Zulässige Spannungen

Art. 45 1. Bei der Bestimmung der Knick-, Kipp- und Beulsicherheiten ist zusätzlich zu Art. 44, 5. ein Kriechweg von 0,5 Prozent bei Ausnützung von σ_{zul} mit 100 Prozent einzusetzen.

2. Die zulässigen Normalspannungen σ_{zul} für Zug betragen:

Tragkonstruktion	Rost
$0,75 \cdot \sigma_{RS}$	$1,00 \cdot \sigma_{RS}$

σ_{RS} ist die reduzierte Streckgrenze gemäß Art. 44, 1. Formel 44.

d) Leichtmetallkonstruktionen

1. Allgemeines

Art. 46 Die Berechnung der Leichtmetallkonstruktionen hat nach DIN 4113 (Februar 1958), Belastungsfall HZ, zu erfolgen, wobei folgende zusätzliche Bestimmungen gelten.

2. Zusätzliche Bestimmungen

Art. 47 1. Die Einhaltung der bei der Berechnung angenommenen Profilform bei Montage ist nachzuprüfen. Teile, die eine geringere Knicksicherheit als die rechnerische ergeben, dürfen nicht verwendet werden.

2. Ein gesonderter Festigkeitsnachweis ist pro Baugruppe oder höchstens 200 m Profillänge erforderlich.

3. Bei der Bestimmung der Knick-, Kipp- und Beulsicherheiten sind zusätzlich zu DIN 4113 folgende Kriechwege anzunehmen:

bei 100prozentiger Ausnützung von σ_{zul} 2‰ in 30 Jahren

bei 80prozentiger Ausnützung von σ_{zul} 1‰ in 30 Jahren

bei 60prozentiger Ausnützung von σ_{zul} 0,3‰ in 30 Jahren

e) Betonkonstruktionen

Art. 48 Für Beton, Eisenbeton und vorgespannten Beton gelten grundsätzlich die SIA-Normen. Hingegen können für die Berechnung des Rostes bis zu 25 Prozent geringere Sicherheiten veranschlagt werden.

f) Konstruktionen mit Drahtseilen

Art. 49 Für die Dimensionierung der Drahtseile gilt der Entwurf des Eidg. Amtes für Verkehr zu einer neuen Drahtseilverordnung vom 30. September 1958. Jedoch hat, in Abweichung von dieser Verordnung, die Sicherheit gegenüber der effektiven Seilbruchlast 2 zu betragen

D. Überwachung der Bauten

Art. 50 1. Die Bauwerke sind durch periodische (in der Regel jährliche) eingehende Untersuchungen zu überwachen und zu unterhalten.

2. Festgestellte Schäden sind innert nützlicher Frist zu beheben.

3. Bei hölzernen Bauteilen erfordert auch der Zustand des Holzes besondere Aufmerksamkeit. Durch holzerstörende Pilze oder Insekten maßgeblich geschwächte Konstruktionsteile sind zu ersetzen.

E. Neigung der Stützfläche gegen die Hangsenkrechte

Art. 51 1. Für *starre Stützflächen* empfiehlt sich eine talwärtige Neigung gegen die Hangsenkrechte von etwa $\varrho = 15^\circ$.

2. Bei *nachgiebigen Stützflächen* (Netzen) hat sich ein Winkel ϱ , bezogen auf die Verbindungsgerade zwischen Fußpunkt und oberen Aufhängepunkten eines Netzes, von etwa 30° bewährt.

3. In *sehr steilem Gelände* sind die Winkel ϱ , gegenüber den Werten in Art. 51, 1. und 2., eher kleiner zu wählen.

F. Allgemeine Belastungsfälle

a) Erster Belastungsfall

Art. 52 1. Er berücksichtigt die *volle Einschneigung des Werkes* mit der *extremen Schneehöhe* H (siehe Art. 14, 2. und 25, 2.), bei relativ kleinem mittleren Raumgewicht von

$$\gamma_H = 0,270 \text{ t/m}^3,$$

das für eine Basishöhe von 1500 m ü. M. und eine WNW-N-ENE-Exposition gültig ist. Der Kriechfaktor K wird mit 0,74 eingesetzt ($\sin 2\psi = 1,00$).

2. Die *hangparallele Schneedruckkomponente* wird in dem von Randkräften freien Bereich:

$$S'_N = 0,10 \cdot H^2 \cdot N \cdot f_C \quad [\text{t/m}'] \quad (52, 1.)$$

H Extreme Schneehöhe am Werkstandort in m

N Gleitfaktor gemäß Art. 25, 5.

f_C Höhenfaktor gemäß Art. 25, 6.

3. Die *hangsenkrechte Schneedruckkomponente* wird:

$$S'_Q = S'_N \cdot \frac{a}{N \cdot \operatorname{tg} \psi} \quad [\text{t/m}'] \quad (52, 2.)$$

$$\frac{a}{N \cdot \operatorname{tg} \psi} = \operatorname{tg} \varepsilon = \frac{S'_Q}{S'_N} \quad (52, 3.)$$

wobei der jeweils ungünstigere Fall aus $a = 0,35$ oder $a = 0,50$ zu berücksichtigen ist.

4. Das *Gewicht des Schneeprismas* beträgt, bei Berücksichtigung eines etwas erhöhten Raumgewichtes an der Stützfläche, für einen *ebenen* Rost:

$$G' = 0,150 \cdot D^2 \cdot \operatorname{tg} \varrho \quad [\text{t/m}'] \quad (52, 4.)$$

D Extreme Schneemächtigkeit am Werkstandort in m ($D = H \cdot \cos \psi$).

5. Die *Randkräfte* S'_R werden als zusätzliche *hangparallele Laufmeterlasten* mit der Angriffslänge Δl angesetzt. (Es werden hier keine zusätzliche hangsenkrechte Randkräfte angenommen.)

$$S'_R = f_R \cdot S'_N \quad [\text{t/m}'] \quad (52, 5.)$$

mit dem *Randfaktor* f_R :

$$f_R = (0,92 + 0,65 \cdot N) \frac{A}{2} \leq (1,00 + 1,25 \cdot N) \quad (52, 6.)$$

N Gleitfaktor gemäß Art. 25, 5.

A seitlicher Werkzwischenraum in m

Der obere Grenzwert von f_R gilt für das freie Werk

$$\Delta l = 0,60 \cdot \frac{A}{2} \leq \frac{D}{3} \quad [m] \quad (52, 7.)$$

Δl Angriffslänge von S'_R in m

D extreme Schneemächtigkeit in m

Der obere Grenzwert von Δl gilt für das freie Werk

Fig. 52, 1

Randfaktor gem.
Formel 52, 6

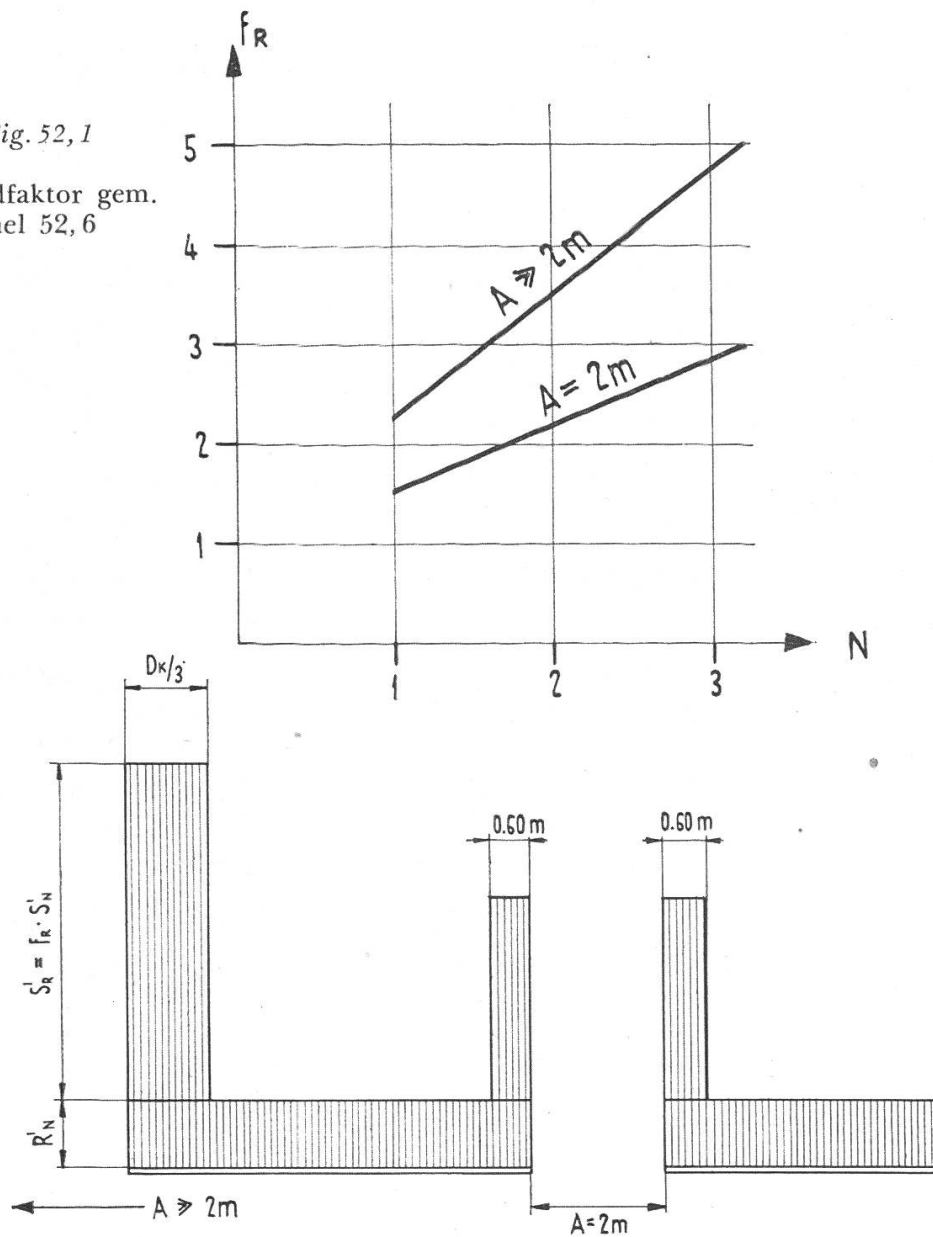


Fig. 52, 2

Verteilung der Randkräfte am freien Werkrand ($D = D_K$)
und bei einem Werkzwischenraum von 2 m.

Wenn seitlich benachbarte Werke in der Falllinie ein wenig gegeneinander verschoben sind (gemäß Art. 23, 2.), gelten dieselben Randkräfte wie am nichtverschobenen Werk.

In besonderen Fällen empfiehlt sich trotz ungleicher Beanspruchung der beiden Ränder eines Werkes eine *symmetrische Bauweise*, basierend auf der höheren Randkraft. Dies gilt besonders für kürzere Werke am freien seitlichen Rand einer Verbauung, wenn eine erhöhte Gefährdung durch dynamische Einwirkungen anzunehmen ist.

6. Die Resultierende aller Schneedruckkräfte ist in halber extremer Schneehöhe $H/2$ anzusetzen.

b) Zweiter Belastungsfall

Art. 53 1. Er berücksichtigt die *teilweise Einschneigung des Werkes* bei einem erhöhten mittleren Raumgewicht von

$$\gamma_h = 0,400 \text{ t/m}^3$$

gültig für eine Basishöhe von 1500 m ü. M. und einer WNW-N-ENE-Exposition.

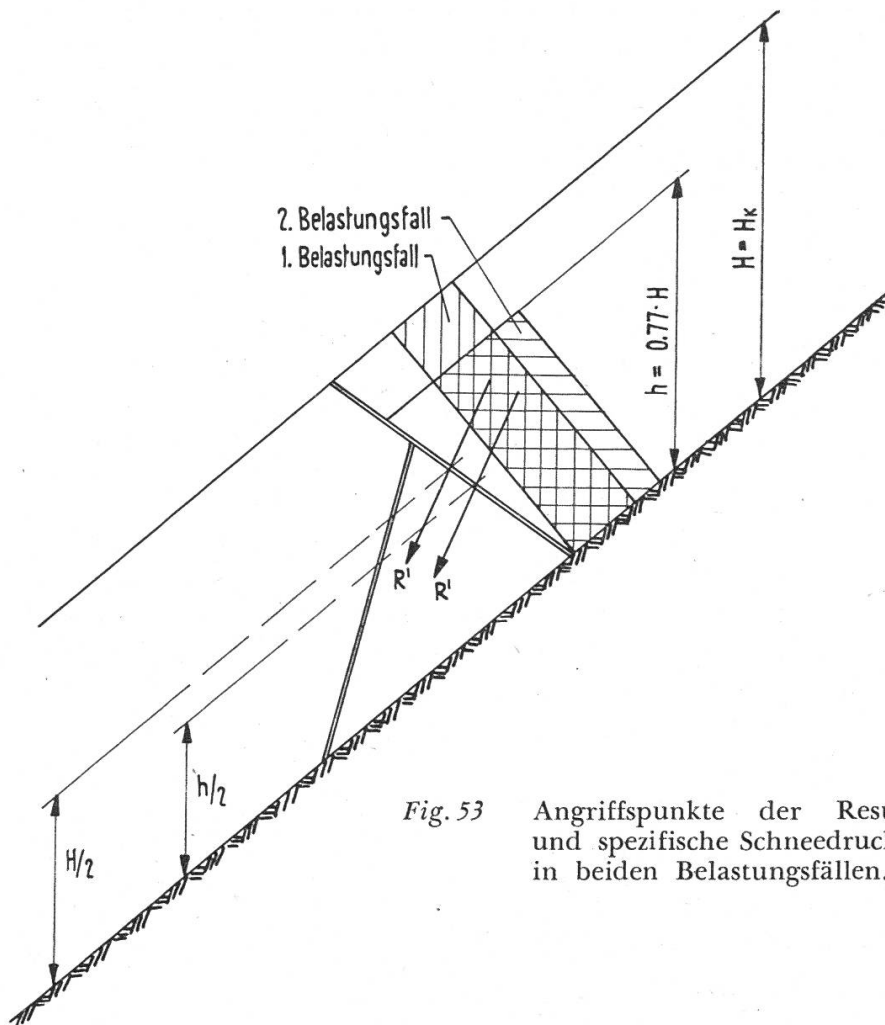


Fig. 53

Angriffspunkte der Resultierenden und spezifische Schneedruckverteilung in beiden Belastungsfällen.

2. Der zweite Belastungsfall entspricht einem *höheren spezifischen Schneedruck* als der erste. Die Schneehöhe wird im zweiten Belastungsfall angenommen zu

$$h = 0,77 \cdot H \quad [m] \quad (53)$$

Diese Schneebedingungen leiten sich aus dem ersten Belastungsfall ab durch Setzung der Schneehöhe H und weiteren Schneezuschlag (man beachte $\gamma_h \cdot h > \gamma_H \cdot H$).

3. Unter geringfügigen Vereinfachungen wird im *zweiten Belastungsfall bezüglich Größe und Richtung der gleiche resultierende Schneedruck R' wie im ersten Fall* angenommen. Seine Besonderheiten gegenüber dem ersten Fall liegen

- im tieferliegenden Angriffspunkt der Resultierenden, nämlich in der Höhe $h/2 = 0,385 \cdot H$
- im höheren spezifischen Schneedruck $[t/m^2]$ (Faktor $1/0,77 = 1,3$)

4. Die Randfaktoren f_R und die Angriffslängen Δl werden in beiden Belastungsfällen gleich angenommen.

c) Zusatzbelastungen

Art. 54 1. Die Eigengewichte der Konstruktionen sollen, sofern sie von Bedeutung sind, berücksichtigt werden.

2. Zur Erzielung einer genügenden *Seitensteifigkeit* der Werke ist eine der Niveaulinie parallele *Seitenbelastung* S_S zu berücksichtigen (siehe Art. 32). Sie beträgt:

$$S_S = 0,10 \cdot S'_N \cdot l_o \quad [t] \quad (54)$$

l_o horizontaler Abstand zweier benachbarter Auflagerungspunkte des Rostes, der Pfetten oder des Netzes.

Der *Angriffspunkt* der Seitenbelastung wird in halber Rost-, bzw. Netzhöhe angenommen. (Gleichmäßig verteilte Belastung über die Höhe.)

Die Seitenbelastung kann bei mehrfeldrigen Werken (im besonderen bei durchgehender Verbauung) in *jedem* Feld wirken, wird jedoch *gleichzeitig* nur in *einem* Feld eines Werkes als wirksam angenommen. Für eine ausreichende Übertragung dieser Seitenbelastung vom Rost (bzw. Netz) auf die Tragkonstruktion ist zu sorgen.

G. Dimensionierung des Rostes

a) Belastungen senkrecht zum Rost

Art. 55 1. Die in der Natur oft unregelmäßige Druckverteilung über die Stützfläche zwingt zu schärferen Annahmen für die spezifische Belastung seiner Elemente.

2. Die spezifische Belastung des zweiten Belastungsfalles ist als Grundlast über die ganze Höhe des Rostes anzunehmen.

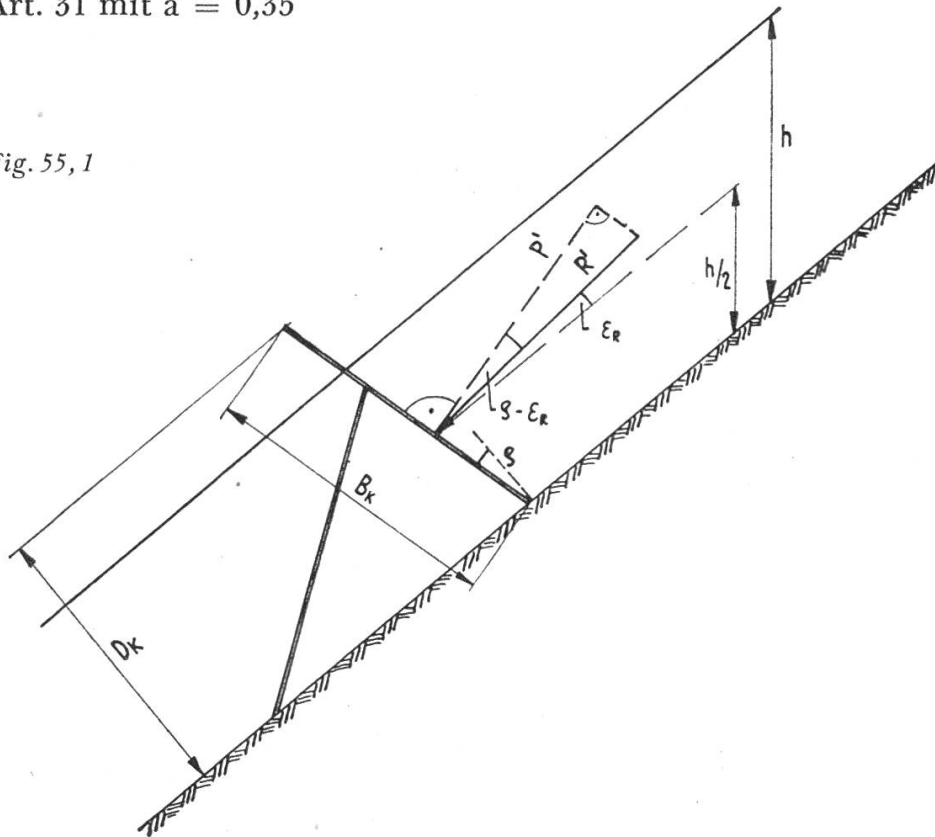
Gemäß Figur 55, 1. ist für einen ebenen Rost

$$P' = R' \cdot \cos(\varrho - \varepsilon_R) \quad [\text{t/m}'] \quad (55, 1.)$$

P' Komponente von R' (Art. 31, 2. und 31, 3.) senkrecht zum Rost

ε_R Winkel zwischen R' und der Hangparallelen, zu berechnen gemäß Art. 31 mit $a = 0,35$

Fig. 55, 1



Damit wird der spezifische Schneedruck p_h senkrecht zum (ebenen) Rost

$$p_h = \frac{P' \cdot \cos \varrho}{0,77 \cdot D_K} = \frac{P'}{0,77 \cdot B_K} \quad [\text{t/m}^2] \quad (55, 2.)$$

(innerhalb der Angriffslängen der Randkräfte erhöht)

Die gesuchte, auf einen Balken mit der *Belastungsbreite* b (= Balkenbreite + Anteil an benachbartem Zwischenraum) wirkende, Liniennormallast: $p_B = p_h \cdot b \quad [\text{t/m}'] \quad (55, 3.)$

3. Zur spezifischen Belastung aus Art. 55, 2. soll von der Bodenoberfläche bis in $1/4$ der Rosthöhe und über die ganze Werklänge ein *Zuschlag von 25 Prozent* des außerhalb der Angriffslängen der Randkräfte auftretenden spezifischen Schneedruckes p_h hinzugefügt werden (Fig. 55, 2.).

4. Für Roste, bei denen die Voraussetzung für das Auftreten von Randkräften vorhanden ist (Art. 30, 1.), gelten zwei maßgebende Belastungsfälle (Fig. 55, 3.):

- Belastungsfall *mit* den nach Art. 52, 5. berechneten Randkräften S'_R
- Belastungsfall *ohne* die Randkräfte S'_R .

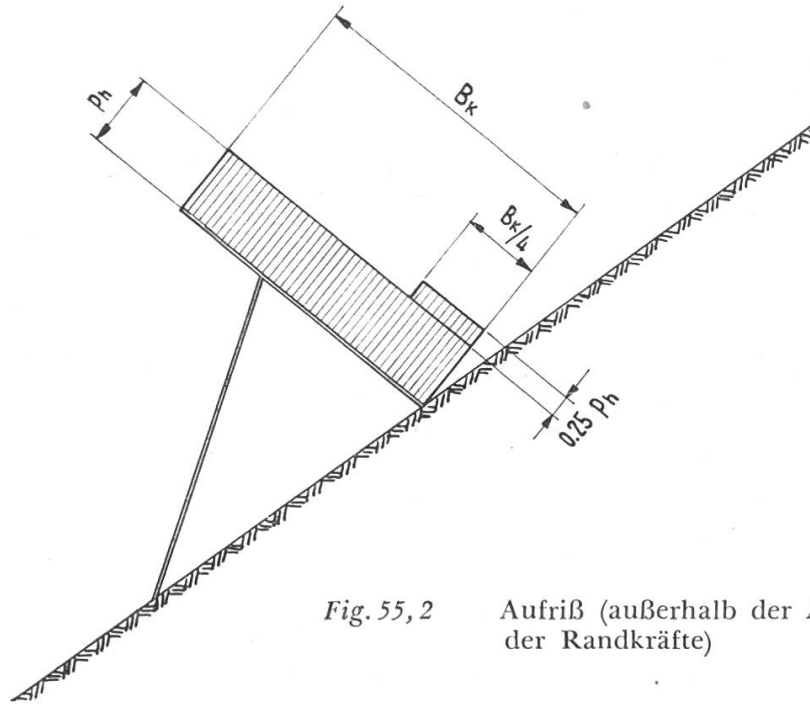
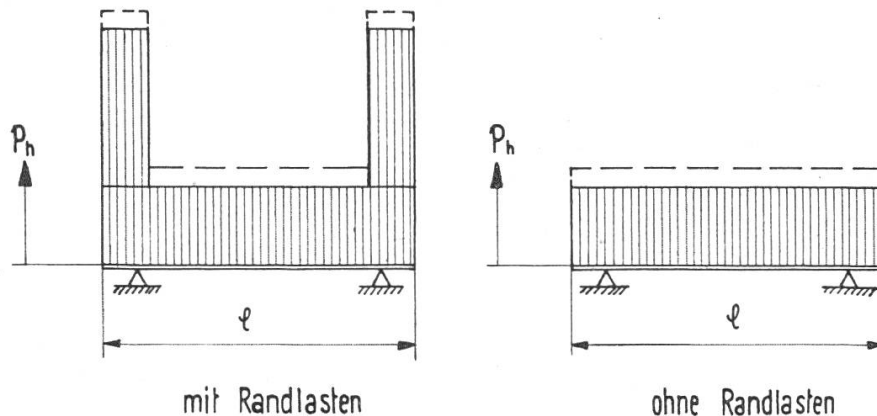


Fig. 55,2 Aufriß (außerhalb der Angriffslängen der Randkräfte)

Fig. 55,3 Grundriß



b) *Belastung parallel zur Rostebene (Querbelastungen)*

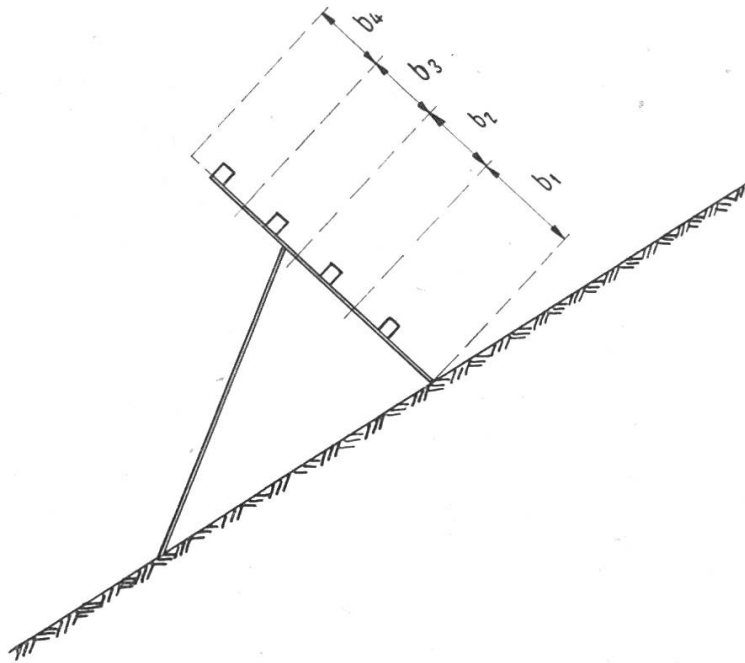
Art. 56 Die zu berücksichtigenden Querbelastungen richten sich nach der Ausbildung des Rostes, d. h. nach dem Werktyp. Sie sind daher unter den Besonderheiten der einzelnen Werktypen behandelt.

c) *Besonderheiten der Rostdimensionierung von Schneebrücken*
(Rostbalken parallel der Niveaulinie)

1. Normalbelastungen

Art. 57 1. Die Balken müssen nach den ihnen zukommenden *effektiven Belastungsbreiten* b bemessen werden, ausgenommen der oberste Balken, der nicht schwächer dimensioniert werden darf als die benachbarten.

Fig. 57, 1



2. Die Belastungsbreite des untersten Balkens reicht bis zur Bodenoberfläche (Figur 57, 1.).

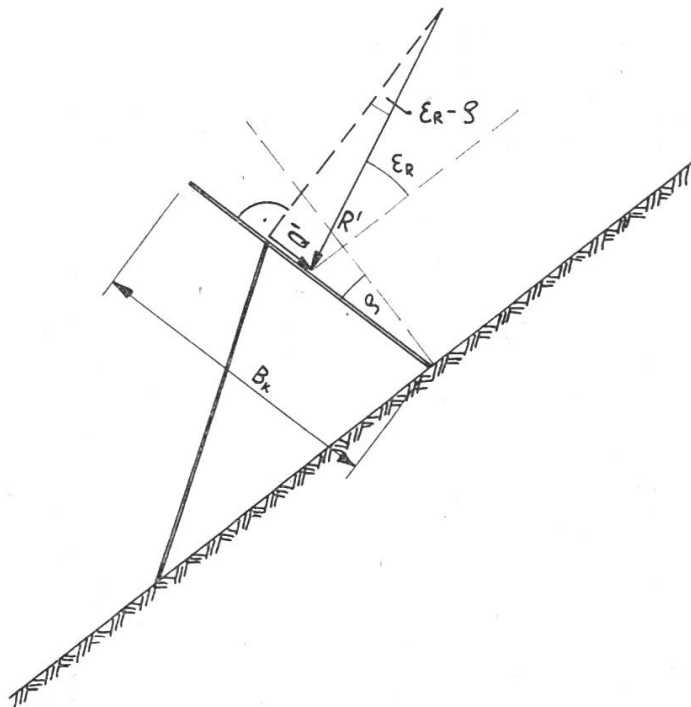
2. Querbelastrungen

3. Für die Dimensionierung der Balken ist eine nach unten *oder* oben wirkende, dem Betrag nach identische Linienlast q_B anzunehmen (Figur 57, 3.).

Nach Figur 57, 2. ist

$$Q' = R' \cdot \sin (\varepsilon_R - \varrho) \quad [t/m'] \quad (57, 1.)$$

Fig. 57, 2



Q' Komponente von R' (Art. 31, 2.) parallel zum Rost

ε_R Winkel von R' mit der Hangparallelen, zu berechnen nach Art. 31 mit $a = 0,5$

Die gleichmäßig verteilte spezifische Querbelastung q_h wird:

$$q_h = \frac{Q' \cdot \cos \varrho}{0,77 \cdot D_K} = \frac{Q'}{0,77 \cdot B_K} \quad [t/m^2] \quad (57, 2.)$$

Die gesuchte auf einen Balken wirkende Linienquerlast:

$$q_B = q_h \cdot b \quad [t/m'] \quad (57, 3.)$$

4. Als *Minimalwert* für die Querlast ist zu berücksichtigen:

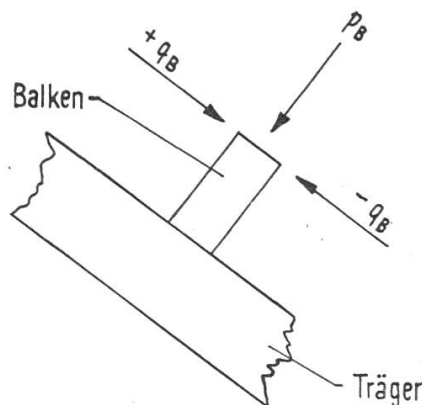
$q_B = 0,20 \cdot p_B$

 $[t/m'] \quad (57, 4.)$

($p_B = p_h \cdot b$, p_h gemäß Art. 55, 2. und 55, 3.)

Dieser Minimalwert ist für größere Gleitfaktoren und Hangneigungen fast immer maßgebend.

Fig. 57, 3



5. Der Angriffspunkt der Querlast q_B befindet sich am äußersten bergseitigen Rand des Balkens (Figur 57, 3.).

6. Die *Normalbelastung* p_B ist bei gleichzeitig wirkender Querlast q_B zwischen ihrem Höchstwert und dem Betrag von q_B zu variieren. Es ist zu kontrollieren, ob sich dabei kein ungünstigerer Belastungsfall ergibt.

7. Die *Torsionsbeanspruchungen* infolge der Querbelastungen sind voll zu berücksichtigen.

8. Die *lichte Weite* w zwischen den Balken sowie zwischen dem Boden und dem untersten Balken soll *30 cm* nicht überschreiten, um ein Durchgreifen von Lockerschneerutschen durch den Stützrost zu verhindern.

9. Der *oberste Balken* ist mit Rücksicht auf einen möglichen *dynamischen Kraftangriff nach oben* besonders kräftig zu befestigen.

10. Als wirksame *Werkhöhe* H_K wird bei alternierenden Balkenoberkanthöhen das arithmetische Mittel der lotrechten Entfernungen der höheren und tieferen Balkenoberkante vom Boden bezeichnet.

11. Als *Werklänge* l wird der mittlere Abstand der Verbindungsgeraden der Balkenenden bezeichnet.

d) *Besonderheiten der Rostdimensionierung von Schneerechen*
(Rost mit Balken senkrecht zur Niveaulinie)

1. Normalbelastung

Art. 58 1. Die Balken müssen nach ihren *effektiven Belastungsbreiten* b bemessen werden, mit Ausnahme des äußersten Randbalkens, dessen Belastungsbreite gleich dem Achsabstand vom Nachbarbalken anzunehmen ist, und über die der erhöhte spezifische Schneedruck am Rand wirkt.

2. Nach unten reicht die Belastungsbreite eines Balkens bis zur Bodenoberfläche.

3. Der 25prozentige Zuschlag zum spezifischen Schneedruck gemäß Art. 55, 3. hat für Rostbalken von Schneerechen keine Gültigkeit (hingegen beachte man Art. 61).

4. Bei den Rostbalken muß auch der zweite Belastungsfall als maßgebend mitberücksichtigt werden.

2. Querbelastrungen

5. Als ungünstigste *Querbelastrung in der Rostebene* und parallel zur Niveaulinie soll für einen Balken eine Linienlast q_B mit *Angriffspunkt* am äußersten (bergseitigen) Rand des Balkens angenommen werden. Die Größe dieser Last beträgt:

$$q_B = 0,10 \cdot p_B \quad [t/m'] \quad (58, 1.)$$

p_B maximale Normalbelastung eines Balkens ($p_B = p_h \cdot b$
 p_h gemäß Art. 55, 2., 58, 1., 2. und 3.)

Die Setzungsquerkraft (hangsenkrechte Komponente von R') ist bei der Befestigung der Balken zu beachten.

6. Die *lichte Weite* w zwischen den Balken soll 35 cm nicht überschreiten. Die lichte Weite zwischen Balkenunterkante und Boden ist auf 20 cm zu begrenzen.

7. Als wirksame *Werkhöhe* H_K wird die lotrechte Entfernung der Verbindungsgeraden der oberen Enden der Rechenbalken vom Boden bezeichnet.

e) *Besonderheiten für Schneenetze*
(Nachgiebige Stützfläche aus Seilen)

Art. 59 1. *Reduktion des Schneedruckes.* Die Abminderung der hangparallelen Schneedruckkomponente infolge der nachgiebigen Stützfläche wird mit einem *Reduktionsfaktor* f_s berücksichtigt. Dieser ist streng genommen von vielen Faktoren abhängig wie: Gleiten der Schneedecke auf der Unterlage (f_s wächst mit N), Durchhang, Form, Neigung und Maschenweite des Netzes (je kleiner der Durchhang und die Maschenweite, um so größer ist f_s).

Die *hangparallele Schneedruckkomponente* wird (in Abänderung von Art. 52, 2.).

$$S'_N = 0,10 \cdot f_s \cdot H^2 \cdot N \cdot f_C \quad [t/m'] \quad (59)$$

f_s Reduktionsfaktor für eine nachgiebige (schlaffe) Stützfläche.

H Extreme Schneehöhe am Werkstandort in m

Eine vorsichtige Schätzung von f_s für mittlere Gleitverhältnisse lautet auf $f_s \sim 0,8$

2. Weil die Beanspruchung der Schneenetze besonders stark vom Durchhang abhängt, ist es notwendig, den Durchhang nach der Montage zu kontrollieren.

3. Die *hangsenkrechte Schneedruckkomponente* (Art. 52, 3.) wird nicht berücksichtigt.

4. Das *Schneeprisma*, dessen Gewicht G' ($\gamma_s = 300 \text{ kg/m}^3$) dem Schneedruck beizufügen ist, wird gebildet aus der Netzfläche und der durch den bergseitigen Netzrand verlaufenden hangsenkrechten Fläche.

5. Für die Dimensionierung des Netzes muß nur der erste Belastungsfall (Art. 52 mit den Änderungen gemäß Art. 59, 1., 3. und 4.) berücksichtigt werden. Art. 55 hat daher keine Gültigkeit.

6. Der spezifische Schneedruck wird als gleichmäßig über die Höhe der Netzfläche angenommen und in Richtung parallel zur Resultierenden R' .

7. Die *lichte Weite* w zwischen den die Stützfläche bildenden Seilen soll (auch im belasteten Zustande) 25 cm nicht überschreiten. In besonderen Fällen (häufige Lockerschneerutsche) kann die Maschenweite durch Auflegen eines Drahtgeflechtes verkleinert werden.

8. Als wirksame *Werkhöhe* H_K wird das arithmetische Mittel zwischen höchstem und tiefstem Punkt der talseitigen Begrenzung der Netzfläche eines mittleren Feldes im *belasteten Zustand* bezeichnet.

9. Als *Werklänge* l wird bei trapez- oder dreieckförmiger Netzfläche das arithmetische Mittel zwischen der Basislänge und der Länge über die Stützenköpfe bezeichnet.

H. Dimensionierung der Tragkonstruktion

a) Belastungsfälle

Art. 60 1. Für die Dimensionierung der Tragkonstruktion sind die zwei Belastungsfälle Art. 52 und 53 nebst Art. 54 maßgebend.

2. Die *konstruktive Gestaltung* der Tragkonstruktion wird grundsätzlich freigestellt. Dies bezieht sich auch auf deren *Geometrie* (Anzug und Auflagerungspunkt von Stützen, Winkel mit dem Gelände, Feldweiten usw.), wobei die optimalen Lösungen nicht allein in Berücksichtigung der äußeren Kräfte und der Hangneigung zu suchen sind, sondern ebenso sehr von der Seite der *Foundationen* bestimmt werden. Es sei darauf verwiesen, daß bei *wechselnder* Hangneigung eine ungefähr gleichbleibende Sicherheit für sämtliche Werkteile (inkl. Fundamente) gewährleistet ist, wenn die Winkel des Dreiecks gebildet aus Rost, Stütze und Bodenoberfläche *konstant* gehalten werden.

b) Besonderheiten für Schneerechen

Art. 61 Für die Dimensionierung der *unteren Pfette* (bodennaher Bauteil, auf den die Balken des Rostes aufgelagert sind) auf Normalbelastung, ist der zweite Belastungsfall mit der 25prozentigen Erhöhung von p_h (gem. Art. 55, 3.) maßgebend.

c) Besonderheiten für Schneenetze

Art. 62 1. Die Belastungen des Netzes im Art. 59 gelten auch für die Tragkonstruktion.

2. Sicherheitshalber muß bei der Dimensionierung der *Pendelstützen* außer der zentrischen Druckkraft mit Wirkungslinie in der Stützenachse noch eine Querbelastrung infolge Schneedrucks berücksichtigt werden. Dieser Schneedruck kann als relativ klein angenommen werden in der Form einer gleichmäßig verteilten *Linienlast* q_s von der *Größe*

$$q_s = 0.10 \cdot \eta \cdot H^2 \cdot N \cdot f_c \cdot \frac{\text{Stützendurchmesser}}{\text{Stützenlänge}} \quad [\text{t/m}'] \quad (62)$$

η Wirkungsgrad, zu 1.00 angenommen

H Extreme Schneehöhe am Werkstandort in m

Stützendurchmesser und -länge in m

Die *Richtung* von q_s ist senkrecht zur Stützenachse (nur talwärts gerichtet, wenn eine Drehbarkeit der Stütze um ihre Achse verhindert ist)

Der *Angriffspunkt* liegt in der Stützenachse.

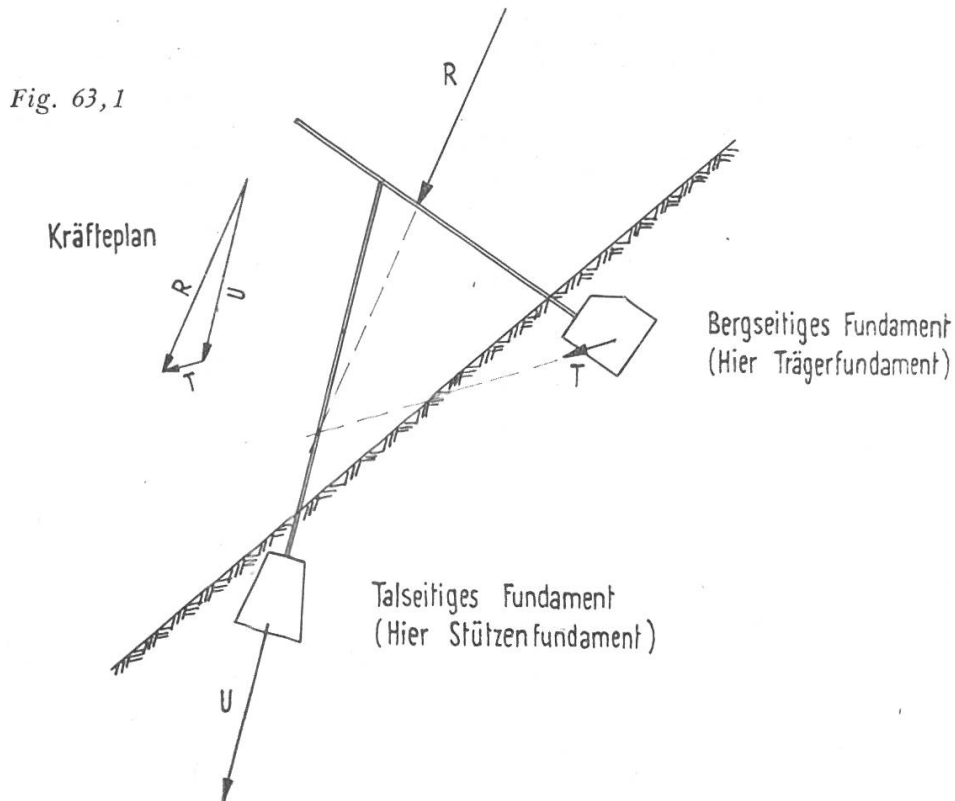
3. Kann als Folge der Konstruktionseigenart eine *exzentrische Beanspruchung der Stütze* auftreten, so ist auf die Druckkraft mit der maximal möglichen Exzentrizität zu dimensionieren.

I. Foundation

a) Fundierungsarten

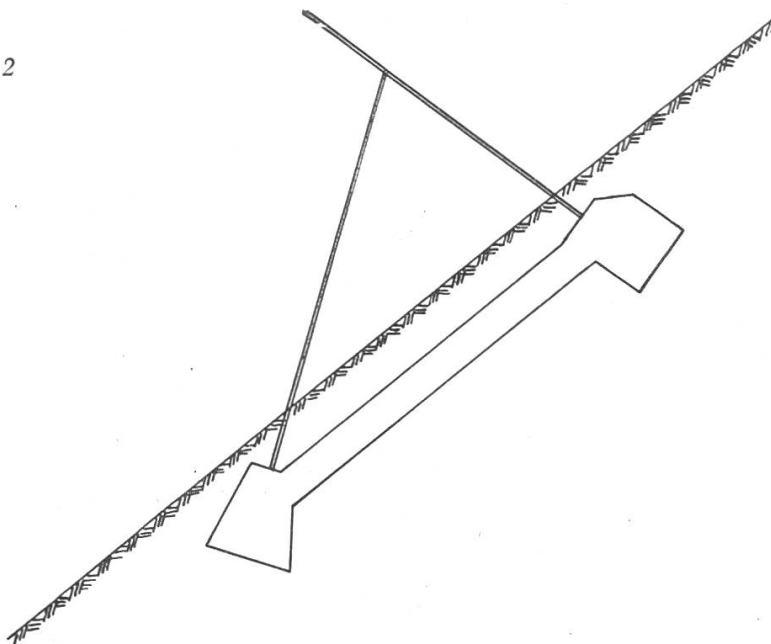
Art. 63 1. Starrer Stützverbau (Art. 12, 1.)

Es werden im allgemeinen zwei *getrennte Fundamente*, ein *bergseitiges* (Trägerfundament oder Schwelle) und ein *talseitiges Fundament* (Stützenfundament), angewendet (Fig. 63, 1.).



Getrennte Fundamente, mit angegebener graphischen Bestimmung der Fundamentkräfte bei einer beidseitig nicht eingespannten Stütze.

Fig. 63, 2



Liegt ein sehr nachgiebiger, beweglicher und wenig tragfähiger Boden vor, so empfiehlt es sich, zwischen Träger- und Stützenfundament einen druck- und zugfesten *Riegel* einzubauen (Fig. 63, 2.).

2. *Nachgiebiger Stützverbau* (Art. 12, 2.) und *Spezialkonstruktionen* (Zäune, Hängeroste).

Zugkräfte können (sofern Fels vorhanden ist) mit Seilanker aufgenommen werden.

b) Allgemeines über die Dimensionierung

Art. 64 1. Für die Dimensionierung der Fundamente gelten die zwei Belastungsfälle Art. 52 und 53 nebst Art. 54.

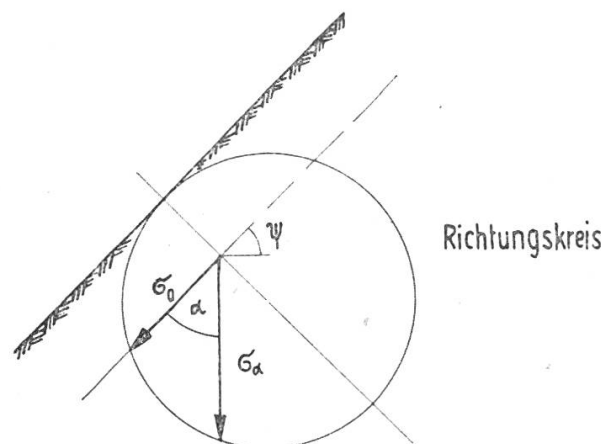
2. Die belasteten Fundamentflächen sollen vollständig unter einer Oberflächenzone liegen, deren Mächtigkeit im Minimum mit 50 cm senkrecht zum Hang gemessen, anzunehmen ist.

3. Die zulässigen *Bodenpressungen* in hangparalleler Richtung sollen auf Grund von normierten Versuchen (Abpresstest) evtl. in Verbindung mit Rammversuchen festgelegt werden.

Die Abhängigkeit der zulässigen Bodenpressungen von der Krafrichtung wird auf Grund des *Richtungskreises* angenommen. Ist $\sigma_{0\text{zul}}$ die zulässige hangparallele Bodenpressung und α der Winkel zwischen der Krafrichtung und der Hangparallelen, so gelten folgende Verhältniszahlen zwischen den zulässigen hangparallelen Bodenpressungen $\sigma_{0\text{zul}}$ und den zulässigen Bodenpressungen $\sigma_{\alpha\text{zul}}$ in Krafrichtung α (Fig. 64).

0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
1,00	1,32	1,66	2,0	2,26	2,43	2,50

Fig. 64



4. Diese Beziehung gilt nur für α -Werte zwischen 0° und 180°, d. h. nur für *Bodendruckkräfte*. Sobald *Bodenzugkräfte* auftreten, müssen die

Fundamente ähnlich wie Mastfundamente dimensioniert werden (näheres darüber in den folgenden Abschnitten).

c) Verbindung Tragkonstruktion und Fundament bei Foundation im Lockergestein

Art. 65 1. Grundsätzlich sind im Lawinenverbau sowohl *starre* wie *gelenkige* Anschlüsse der Tragkonstruktion an die Fundamente anwendbar.

2. Beim *bergseitigen Fundament* der Tragkonstruktion kommt der gelenkige Anschluß nur dann in Frage, wenn der anstehende Fels an der Terrainoberfläche liegt oder in so geringer Tiefe, daß der das Gelenk tragende Kragarm im Fels einwandfrei eingespannt werden kann. Andernfalls, d. h. in Lockergesteinen, führt der gelenkige Anschluß entweder zu einer sehr ungünstigen Beanspruchung des Bodens mit unzulässigen Deformationen oder zu unwirtschaftlichen Fundamentabmessungen. Deshalb ist bei Lockergesteinen die starre Verbindung des Trägers mit dem Fundament zu empfehlen, wobei eine Vergrößerung der Spannweite in Kauf genommen werden muß. (Weil keine den Oberbau entlastenden Einspannungen berücksichtigt werden dürfen [Solifluktion usw.])

3. Beim *talseitigen Fundament* ist ein gelenkiger Anschluß der Stütze möglich, ohne daß ungünstige Bodenpressungen oder unwirtschaftliche Fundamentabmessungen entstehen.

4. Bei *getrennten Fundamenten* (Art. 63, 1. Fig. 63, 1) ist die Stütze an den Träger normalerweise gelenkig anzuschließen.

Wird hingegen ein Riegel (Art. 63, 1. Fig. 63, 2) eingebaut oder kann auf Fels fundiert werden, darf auf die gelenkige Verbindung zwischen Träger und Stütze verzichtet werden.

5. Bei einbetonierten Bauteilen, vor allem bei Aluminiumlegierungen, ist die *Korrosionsgefahr* zu beachten. Diesbezügliche spezielle Vorschriften sind einzuhalten.

d) Ortsfundamente

Art. 66 *Ortsfundamente* sind Fundamente, die am Werkstandort hergestellt werden (z. B. betoniert werden).

1. Dimensionierung der bergseitigen Fundamente auf Bodendruckkräfte

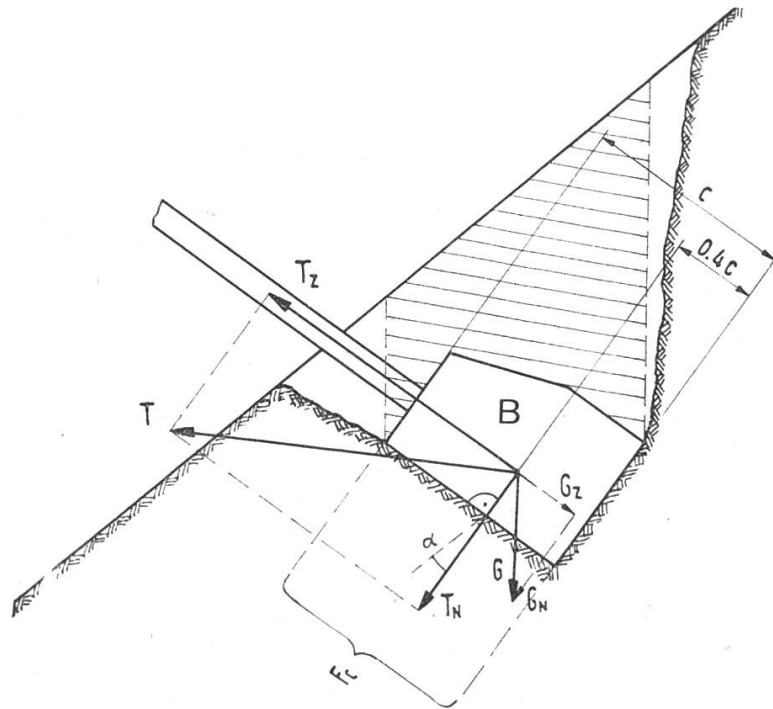
1. *Starre (biegesteife) Verbindung zwischen Tragkonstruktion und Fundament*

Die Belastung des Fundamentes besteht aus einer Einzelkraft T . Der Angriffspunkt B von T soll mit $0,4 c$ über der Fundamentsohle angenommen werden (c = Fundamenthöhe).

B entspricht der unteren punktförmig gedachten Auflagerung des

betreffenden Bauteils und bestimmt die Spannweiten. Für die Dimensionierung des Trägers soll die Lagerung bei B als frei drehbar angenommen werden.

Fig. 66, 1



Die talseitige Fundamentfläche F_c muß folgende Bedingung erfüllen:

$$F_c \geq \frac{T_N + G_N}{\sigma_{\text{azul}}} \quad [\text{m}^2] \quad (66, 1.)$$

- T_N Komponente der resultierenden Auflagerkraft senkrecht zur Fundamentfläche F_c
 G_N Komponente des Gewichtes des Fundamentes (inklusive schraffierter Erdkörper in Fig. 66, 1) senkrecht zur Fundamentfläche F_c
 σ_{azul} zul. Bodenpressung in Richtung senkrecht zu F_c .

2. Gelenkige (nicht biegesteife) Verbindung zwischen Tragkonstruktion und Fundament.

Die Belastung des Fundamentes besteht aus einer exzentrisch angreifenden Einzelkraft T . Der Angriffspunkt von T befindet sich im Gelenk.

Nach Art. 65, 2. kommt dieser gelenkige Anschluß im Lockergestein bei getrennten Fundamenten i. A. nicht in Frage.

2. Dimensionierung der bergseitigen Fundamente auf Bodenzugkräfte

3. Die Zugkraft T_z muß folgende Bedingung erfüllen. (Man beachte auch Art. 54, 1.)

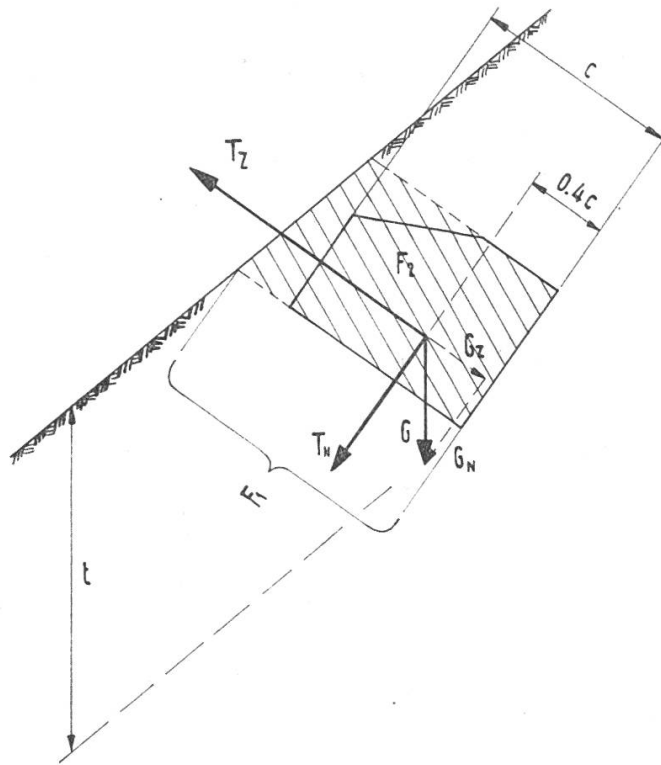
$$T_Z \leq (F_1 + 2F_2) \cdot s_{zul} + G_Z + (T_N + G_N) \cdot \operatorname{tg} \varphi_{Ezul} \quad [t] \quad (66, 2.)$$

- F_1 talseitige Mantelfläche des Fundamentes bis zur Bodenoberfläche
 F_2 seitliche Mantelfläche des Fundamentes bis zur Bodenoberfläche (In Fig. 66, 2 schraffiert)
 s_{zul} zulässige Scherspannung längs der Mantelfläche im gewachsenen Boden
 s_B Bruch-Scherspannung längs der Mantelfläche im gewachsenen Boden

$$s_{zul} = \frac{1}{2} s_B \quad [t/m^2] \quad (66, 3.) \quad \text{s. Tabelle Seite 159}$$

- G Gewicht des Fundamentes einschließlich Erdauflast (schraffiert)
 T_N Druckkomponente der resultierenden Auflagerkraft T senkrecht zu F_1 (Voraussetzung: *starre* Verbindung Tragkonstruktion-Fundament)

Fig. 66, 2



- φ_{Ezul} zulässiger Reibungswinkel bei der Übertragung der Druckkräfte

$$\operatorname{tg} \varphi_{Ezul} = 0.40 \quad (66, 4.)$$

Sofern nicht besondere Testversuche zur Bestimmung von s_B durchgeführt werden, sind folgende Werte, die für eine totale Fundationstiefe t von 1 m gelten, einzusetzen:

Bodenart	s_B [t/m ²]
Guter, kompakter Fels	> 80
Schlechter, zerklüfteter Fels	$8,0 \approx 80$
Stark vorbelastete Böden, Moräne	$2,0 \approx 8,0$
Sehr grober, dicht gelagerter Kies	$2,0 \approx 4,0$
Lehmiger und dicht gelagerter Kiessand	$2,0 \approx 2,5$
Locker gelagerte Kiessande und Felsschutt	$1,5 \approx 2,0$

Die Zunahme der s_B -Werte mit der Fundationstiefe t darf gemäß folgender Tabelle in Rechnung gesetzt werden:

Fundationstiefe t in m, lotrecht gemessen	Effektiver s_B -Wert in Funktion des s_B - Wertes für 1 m Fundationstiefe
1,0	$1,0 \cdot s_B (1 \text{ m})$
1,5	$1,2 \cdot s_B (1 \text{ m})$
2,0	$1,3 \cdot s_B (1 \text{ m})$
3,0	$1,4 \cdot s_B (1 \text{ m})$

Für andere Tiefen können Zwischenwerte durch lineare Interpolation errechnet werden.¹

e) Fertigfundamente

Art. 67 Fertigfundamente sind Fundamente, die fabrikmäßig hergestellt und an der Baustelle eingegraben werden.

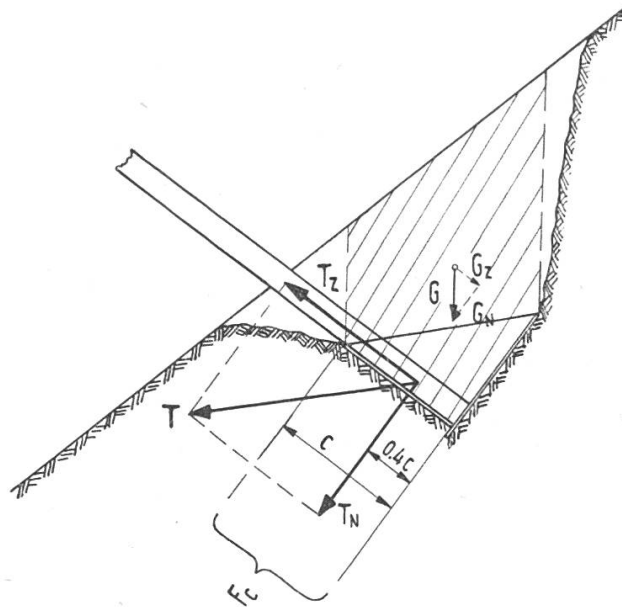
1. Dimensionierung der bergseitigen Fundamente auf Bodendruckkräfte

1. *Starre (biegesteife) Verbindung zwischen Tragkonstruktion und Fundament:* Gemäß Art. 66, 1.

¹ *Beispiel:* Bei sehr grobem, dicht gelagertem Kies betrage der s_B -Wert für 1 m Fundationstiefe 3,0 t/m². Für eine Fundationstiefe von 1,25 m wird

$$s_B = 1,1 \cdot 3,0 = 3,3 \text{ t/m}^2 \text{ und } s_{zul} = 1/2 \cdot 3,3 = 1,65 \text{ t/m}^2$$

Fig. 67, 1



2. Dimensionierung der bergseitigen Fundamente auf Bodenzugkräfte

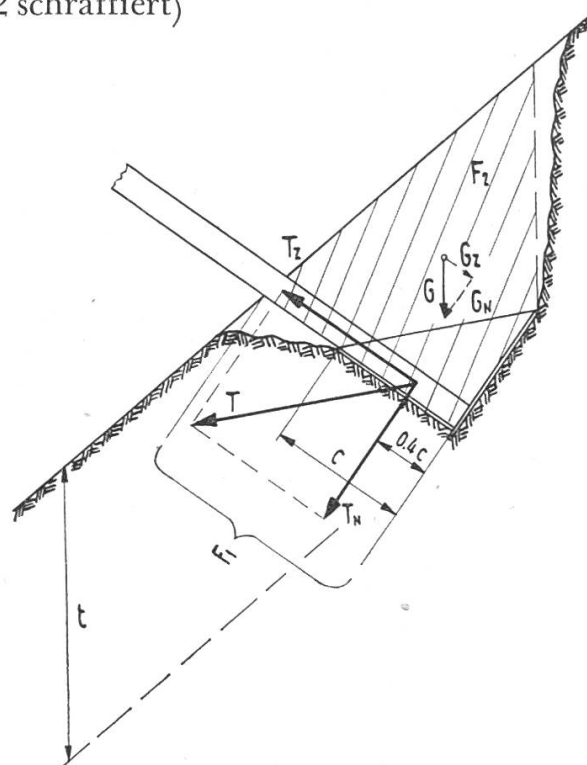
2. Für nicht unterschrittene Fertigfundamente sind die s_B -Werte gemäß Art. 66, 3. ungültig, weil sich der Bruch beim Herausziehen des Fundamentes im wiedereingefüllten Material vollzieht, dessen Kohäsion vermindert ist. Der Boden soll beim Wiedereinfüllen möglichst gut verdichtet werden, was die nachfolgenden Berechnungsannahmen zur Voraussetzung haben.

Die Zugkraft T_Z muß folgende Bedingung erfüllen (Man beachte auch Art. 54, 1.):

$$T_Z \leq (F_1 + 2F_2) s_{zul}^* + G_Z + (T_N + G_N) \operatorname{tg} \varphi_{Ezul} \quad [t] \quad (67, 1.)$$

- F_1 talseitige Mantelfläche des Fundamentes bis zur Bodenoberfläche
 F_2 seitliche Mantelfläche des Fundamentes bis zur Bodenoberfläche
(In Fig. 67, 2 schraffiert)

Fig. 67, 2.



s_{zul}^* zulässige Scherbeanspruchung längs der Mantelfläche im wiedereingefüllten Material. Für eine Fundationstiefe t von 1 m gilt:

$$s_{zul(1\text{ m})}^* = 0.50 \text{ t/m}^2 \quad (67, 2.)$$

Die Zunahme der s^* -Werte mit der Fundationstiefe t darf gemäß folgender Formel in Rechnung gesetzt werden:

$$s_{zul(t)}^* = \frac{s_{zul(1\text{ m})}^*}{2} (1 + t) \quad [\text{t/m}^2] \quad (67, 3.)$$

G Gewicht der schraffierten Erdauflast und des Fertigfundamentes.

T_N Druckkomponente der resultierenden Auflagerkraft T senkrecht zu F_1 (Voraussetzung: *starre* Verbindung Tragkonstruktion-Fundament).

φ_{Ezul} zulässiger Reibungswinkel bei der Übertragung der Druckkräfte

$$\text{tg } \varphi_{Ezul} = 0,40 \quad [\text{t/m}^2] \quad (67, 3.)$$

3. Der *Korrosionsgefahr* ist bei Fertigfundamenten besondere Beachtung zu schenken. (Evtl. Bodenproben durch Eidg. Materialprüfungsanstalt auf korrodierende Bestandteile prüfen lassen.)

f) *Felsverankerung*

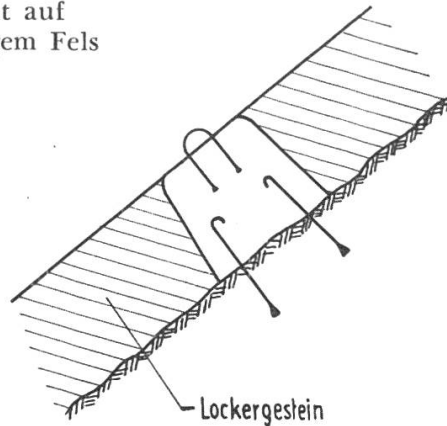
Art. 68 Die in Art. 66 und 67 angegebenen Berechnungsannahmen gelten nur im Lockergestein und dort wo keine Möglichkeit einer zusätzlichen Verankerung im Fels besteht.

1. Wenn das *Fundament auf ankerfähigem Fels steht* gilt:

- *Zugkräfte* können, bei entsprechender Bemessung, von einer Felsverankerung übernommen werden.
- *Gelenkiger Anschluß* der Tragkonstruktion an das Fundament ist vorteilhaft, weil das Drehmoment am Fundament (hervorgerufen durch den exzentrischen Kraftangriff von T), das die großen Fundamentabmessungen bedingt, bei entsprechender Bemessung, von der Felsverankerung übernommen werden kann.

2. Die Enden der Verankerungseisen sind aufzustauchen. Es sind *weiche Stahlsorten* mit einem hohen Arbeitsvermögen (bei Temperaturen bis -30°C) zu verwenden. Offene Haken sind nicht zulässig, da sie leicht aufgebogen werden. In wichtigen Fällen empfiehlt sich der Beizug von Spezialisten.

Fig. 68 Fundament auf
ankerfähigem Fels



3. Die Verwendung von *Schneenetzen* ist weitgehend auf die Verankerungsmöglichkeit in Fels angewiesen. Die Felsanker sind besonders sorgfältig auszubilden, da der Bruch einer Verankerungsstelle den Zusammensturz des ganzen Werkes nach sich ziehen kann.

IV. Anhang

A. Abpreßtest

a) Allgemeines

Für eine genügende und wirtschaftliche Dimensionierung der Fundationen ist die möglichst genaue Kenntnis der zulässigen Bodenpressungen Voraussetzung. In Art. 64, 3. der vorliegenden Richtlinien wird deshalb gefordert, daß diese Bodenpressungen auf Grund von normierten Versuchen festgelegt werden.

Da die auftretende Belastungsrichtung (wenigstens bei den bergseitigen Fundamenten) hauptsächlich hangparallel verläuft, wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem eine Versuchsbelastung in dieser Richtung angesetzt wird.

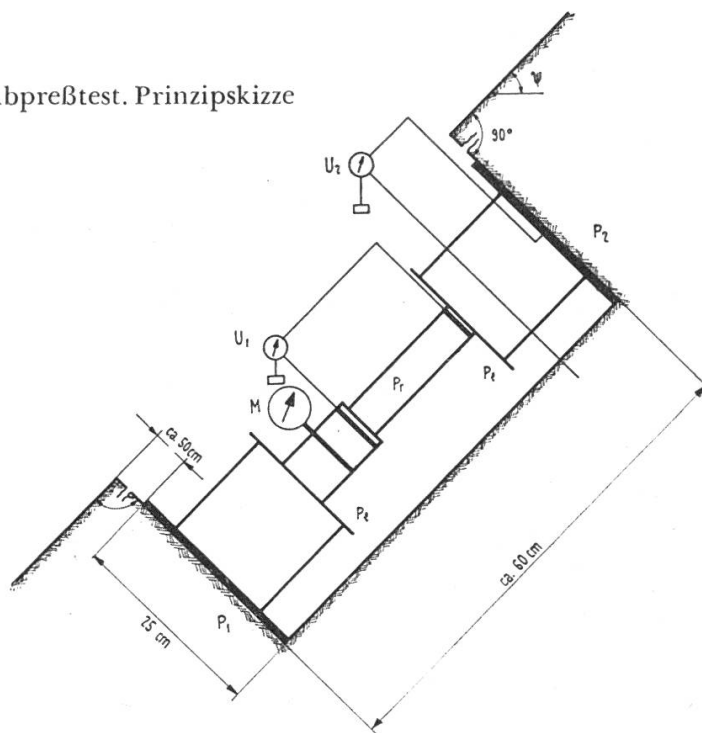
b) Beschreibung der Testmethode

Grundsätzlich besteht die für diesen Zweck geschaffene Abpreßvorrichtung¹ aus einer talseitigen Testplatte (Fläche 1000 cm²), einer hydraulischen Presse zur Erzeugung des Druckes und einer Gegenplatte (Fläche 1500 cm²). Die beiden Platten sind Aluminiumbalkenprofile von Schneebrücken. Als hydraulische Presse wird ein Wagenheber mit angeschlosse-

¹ Haefeli R. und Zehnder M.: Fundationen Lawinenverbau 3. Bericht, Fundationskurs 1955, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH. 28.5.1955

nem, zweiskaligem Manometer benützt. Die äußere Skala gibt die Belastung pro cm^2 Testplattenfläche, die innere die pro cm^2 Kolbenfläche wirkende Kraft an. Die Kolbenfläche der Presse beträgt $15,4 \text{ cm}^2$ die Maximalkraft 8 t. Die Kraft wird über je eine flache Übertragungsplatte auf die Stege der Druckplatten übertragen. Um Torsionen und Biegungen des Kolbens zu vermeiden, wirkt die Kraft auf der Kolbenseite der Presse über eine Kugel auf die Übertragungsplatte. Der Weg der Testplatte wird indirekt gemessen, da ihr Schwerpunkt infolge der Anordnung von Übertragungsplatte und Presse unzugänglich ist. Man mißt deshalb den Kolbenhub und den Weg der Gegenplatte. Der Weg der Testplatte ist gleich der Differenz von Kolbenweg und Weg der Gegenplatte. Die Messung erfolgt durch Huggenberger Meßuhren mit Rollenantrieb. (s. Fig. 69)

Fig. 69 Abpreßtest. Prinzipskizze



$P_1 =$	Testplatte 1000 cm^2 ($25 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$)	$M =$	Manometer
$P_2 =$	Gegenplatte 1500 cm^2 ($25 \text{ cm} \times 60 \text{ cm}$)	$P_r =$	Presse, Kolbenfläche = $15,6 \text{ cm}^2$, Maximalkraft = 8 Tonnen
$P_l =$	Übertragungsplatten	$\sigma_m =$	Belastung der Testplatte in kg/cm^2
$U_1 =$	Meßuhr 1, mißt Kolbenhub	$\psi =$	Hangneigung
$U_2 =$	Meßuhr 2, mißt Weg v. P_2		
$\delta =$	Weg von $P_1 = U_2 - U_1$		

c) Durchführung und Auswertung des Testes

Die Fläche der Testplatte soll vollständig unterhalb der in Art. 64, 2. erwähnten Oberflächenzone von 50 cm Mächtigkeit angreifen. Die Länge der zu öffnenden Testgrube in der Niveaulinie wird so gewählt, daß die

Vorrichtung sorgfältig montiert und bedient werden kann, also ca. 120 cm. Der Kolben muß aus konstruktiven Gründen von unten nach oben bewegt werden. Nach dem Einbau der Apparatur wird der Boden so lange vorbelastet, bis die Meßuhren zur Ruhe kommen und die Testplatte mit ihrer ganzen Fläche einwandfrei aufliegt. (Nötige Vorbelastung ca. 0,25 bis 0,5 kg/cm²). Dann werden die Uhren wieder auf 0 gestellt. Hernach wird die Belastung stufenweise aufgebracht; die Laststufen betragen je nach Bodenart 0,25 kg/cm² bis 0,5 kg/cm². Die Meßuhren werden im Moment abgelesen, in dem das Manometer die gewünschte Belastung erreicht (Zeit 0). Nach Intervallen von 1, 2, 4, 8 usw. Minuten wird bei konstant gehaltenem Druck weiter abgelesen, bis die Uhren zur Ruhe kommen. Darauf wird die nächste Stufe aufgebracht und entsprechend abgelesen. Dieser Vorgang wird so lange fortgesetzt, bis die kritische Deformation des Bodens erreicht wird (s. unten). Wenn es die Verhältnisse erlauben, ist der Boden immer bis zum Bruch zu belasten.

Die Deformation des Bodens unter der Testplatte wird in Funktion der spezifischen Plattenbelastung graphisch aufgetragen (Fig. 70). Für den Versuch wird eine Verschiebung der Testplatte um 2 cm vom Moment der aufgetragenen Vorbelastung weg als *kritische Verformung* des Bodens betrachtet. Aus der graphischen Darstellung ergibt sich die der kritischen Verschiebung entsprechende spezifische Belastung σ_{kritisch} . Gegenüber dieser kritischen, bruchfreien Belastung soll die zulässige Belastung $\sigma_{0 \text{ zul}}$ eine Sicherheit von 1,5 aufweisen.

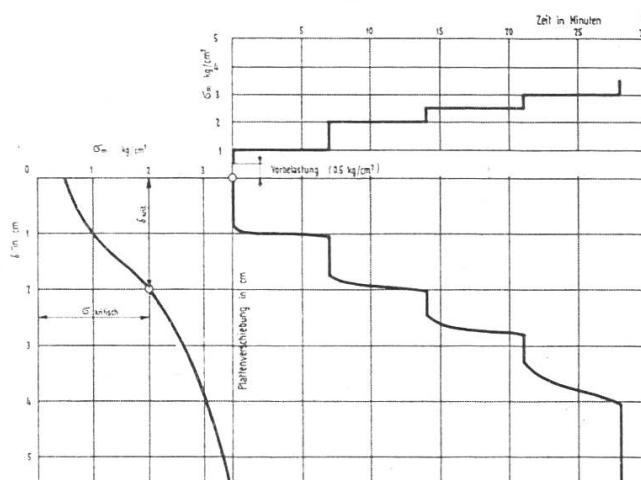
$$\text{Also} \quad \sigma_{0 \text{ zulaessig}} = \frac{\sigma_{\text{kritisch}} (2 \text{ cm})}{1,5}$$

Tritt beim Test Bruch des Bodens ein, so berechnet sich

$$\sigma_{0 \text{ zulaessig}} = \frac{\sigma(\text{Bruch})}{2}$$

Als maßgebendes $\sigma_{0 \text{ zul}}$ wird der kleinere dieser beiden Werte betrachtet.

Fig. 70



B. Rammprofil

Das Rammprofil, das mit einer speziellen Rammsonde² ermittelt wird, dient als Ergänzung zum Abpreßtest. Unter der Voraussetzung gleicher Bodenbeschaffenheit besteht zwischen Abpreß- und Rammwiderstand eine Korrelation, indem der letztere ein Vielfaches des ersteren beträgt.³ Um nun mit der Durchführung von Abpreßtesten möglichst wenig Zeit zu verlieren, können mit der Rammsonde die Zonen gleichen (oder mindestens ähnlichen) Rammwiderstandes lokalisiert werden. Nach bisheriger Erfahrung genügt es dann, wenn pro Zone zwei Abpreßversuche durchgeführt werden. Unter Umständen wird die Verwendung der Rammsonde durch Steine erschwert oder gar verunmöglicht. In diesem Falle ergeben Sondierschlitz Anhaltspunkte über die Bodenverhältnisse.

C. Praktische Durchführung der Bodenteste

Nachdem die Werke abgesteckt sind, werden die Fundamentstandorte mit der Rammsonde abgetastet. Daraus können Zonen ähnlicher Rammwiderstände ermittelt werden. Pro Zone werden vorerst in zwei Probeschächten Abpreßteste durchgeführt. Decken sich die Resultate, so werden sie als repräsentativ für die Zone betrachtet. Andernfalls sind weitere Tests notwendig.

² Haefeli R., Amberg G. und von Moos A.: Eine leichte Rammsonde für geotechnische Untersuchungen. Mitteilung Nr. 21 aus der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH

³ Haefeli R. und Zehnder M.: Korrelationen zwischen dem spezifischen Rammwiderstand und der zulässigen Bodenpressung in hangparalleler Richtung. Foundationen Lawinenverbau. 6. Bericht. 30. 11. 1957