Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss foresty 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 auf E-Periodica. 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. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

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. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

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. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.12.2025

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

Fertigfundament Vorfabriziertes Fundament, das an der Baustelle eingegraben wird.

Netz Aus Seilen bestehende Stützfläche.

Ortsfundament Fundament, das am Werkstandort hergestellt (z. B. betoniert) wird.

Pfette, obere Teil der Tragkonstruktion (ohne Bodenberührung), auf dem die oder untere Rostbalken eines Schneerechens aufgelagert sind.

Riegel Druck- und zugfeste Verbindung von Träger- und Stützenfundament.

Rost Aus Balken bestehende Stützfläche.

Schneebrücke Werk mit Rostbalken parallel zur Niveaulinie.

Schneenetz Werk mit Netz als Stützfläche.

Schneerechen Werk mit Rostbalken senkrecht zur Niveaulinie.

Schwelle Teil der Tragkonstruktion, der auf oder in dem Boden liegt und

zur Auflagerung der Rostbalken dient (Schneerechen).

Stütze Teil der Tragkonstruktion, der Träger oder Pfette talseitig abstützt.

Stützfläche Gesamte Fläche, in der die Schneedecke abgestützt werden kann

(Fläche innerhalb der Umgrenzung eines Rostes oder Netzes).

Tragkonstruktion Alle Konstruktionsteile, die Kräfte vom Rost oder Netz in die

Fundamente leiten.

Träger Teil der Tragkonstruktion, auf dem Rostbalken einer Schneebrücke

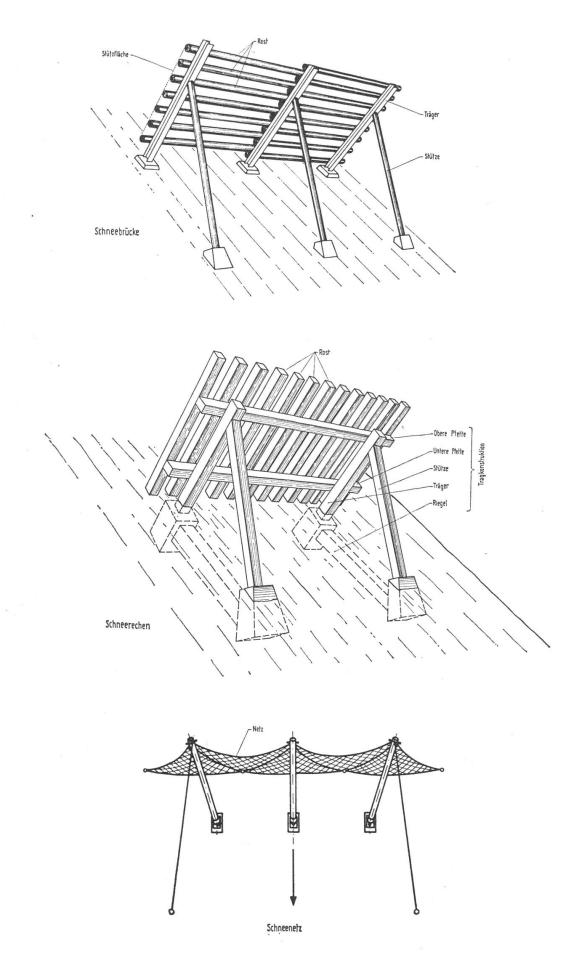
oder Pfetten aufgelagert sind.

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.

Bezeich- nung	Dimer sion	Bedeutung	Artikel
A	m	Seitlicher Werkzwischenraum (in der Niveaulinie gemessen)	
a	-	Verhältniszahl zur Bestimmung von ε (abhängig von der Schneeart)	28, 1./52, 3./55, 2./57, 3.
$\mathbf{B}_{\mathbf{K}}$	m	Rost-, bzw. Netzhöhe (mittlere Abmessung der Stützfläche senkrecht zur Niveaulinie gemessen)	
b	m	Belastungsbreite bei Rostbalken	55, 2./57, 1./57, 2./57, 3./ 57, 4./58, 1./58, 2./58, 5.



Bezeich- nung	Dime sion	n- $Bedeutung$	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) .	
D_{S}	m	Allgemeine Schneemächtigkeit (senkrecht zum Hang gemessen)	15/29/31, 4.
$f_{ m C}$	-	Höhenfaktor (berücksichtigt die Abhängigkeit des Raumgewichtes und des Kriechfaktors von der Meereshöhe)	
\mathbf{f}_{L}	_	Abstandsfaktor (zur Bestimmung von L)	21/22, 1.
\mathbf{f}_{R}	_	Randfaktor (zur Bestimmung der Randkräfte) .	25, 1./52, 5./53, 4.
\mathbf{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 hang- parallel	29/31, 2./31. 3.
Н	m	Extreme Schneehöhe (Höchstwert der maximalen Schneehöhe in einer langen Reihe von Jahren an einer bestimmten Stelle)	
Ħ	m	Durchschnittliche extreme Schneehöhe (Mittelwert der extremen Schneehöhe H über einen Geländeabschnitt, analog $H_{\rm m}$)	
\mathbf{H}_{K}	m	Werkhöhe (lotrecht gemessen)	
\mathbf{H}_{m}	m	Maximale Schneehöhe (Schneehöhenmaximum eines Winters, an einer bestimmten Stelle) .	
$\overline{\mathrm{H}}_{\mathrm{m}}$	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)	
L	m	Werkabstand (in der Fallinie gemessen)	
$l_{-\alpha_{\alpha_{\alpha}}}$	m	Werklänge (effektive Länge in der Niveaulinie gemessen)	
$l_{ m W}$	m	Wirkungslänge eines Werkes (Werklänge plus Länge der seitlichen Einflußzonen eines Werkes)	24, 2.
∆ l	m	Angriffslänge der Randkräfte (in der Niveaulinie gemessen)	30, 1./31, 3./31, 5./52, 5./ 53, 4./55, 2./55, 3.

Bezeich- nung	Dimen sion	n- 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 Bodenrauhigkeit und der Hangexposition)	
P'	t/m'	Komponente von R' senkrecht zur Stützfläche .	55, 2.
РВ	t/m'	Belastung eines Balkens senkrecht zur Stützfläche	55, 2./57, 4./57, 6./58, 5.
РН	t/m²	Spezifischer Schneedruck senkrecht zur Stütz- fläche im ersten Belastungsfall	
Ph	t/m²	Spezifischer Schneedruck senkrecht zur Stütz- fläche im zweiten Belastungsfall	55, 2./57, 4./58, 5./61
Q'	t/m'	Komponente von R' parallel zur Stützfläche .	57,3.
q_{B}	t/m²	Belastung eines Balkens parallel zur Stützfläche	57, 3./57, 4./57, 5./57, 6./ 58, 5.
$q_{ m H}$	t/m²	Spezifischer Schneedruck parallel zur Stützfläche im ersten Belastungsfall	•
$q_{\rm h}$	t/m²	Spezifischer Schneedruck parallel zur Stützfläche im zweiten Belastungsfall	57,3.
\mathbf{q}_{S}	t/m'	Querbelastung von Pendelstützen senkrecht zur Stützenachse	62, 2.
R'	t/m'	Resultierende sämtlicher Schneedruckkräfte .	<i>31</i> /53, 3./55, 2./57, 3./58, 5./59, 6.
S' _N	t/m'	Hangparallele Schneedruckkomponente (Kriech- und Gleitdruck)	
S'Q	t/m'	Hangsenkrechte Schneedruckkomponente (Kriechdruck)	
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/m²	Zulässige Scherspannung im gewachsenen Boden längs den Mantelflächen eines Ortsfundamentes (Zugbeanspruchung)	66, 3.
s_{B}	t/m²	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	Fundationstiefe (lotrecht gemessen)	66, 3./67, 2.

Bezeich- nung	Dime sion	n- 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	0	Winkel zwischen Kraftrichtung und Hangparal- leler (Fundamente)	64, 3./64, 4.
$\gamma_{ m H}$	t/m³	Mittleres Raumgewicht von Schnee entsprechend der Schneehöhe H	25, 2./52, 1./53, 2.
$\gamma_{ m h}$	t/m³	Mittleres Raumgewicht von Schnee entsprechend der Schneehöhe h	53,1./53,2.
$\gamma_{ m S}$	t/m^3	Allgemeines Raumgewicht von Schnee	25, 1./25, 6./27, 1./ 29/59, 4.
3	0	Winkel, den die Resultierende des Schneedrukkes aus S'_N und S'_Q (vektorielle Addition) mit der Hangparallelen bildet	28, 1./52, 3.
$\varepsilon_{ m R}$	0 -	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.
Q	0	Winkel, den die Stützfläche mit der hangsenkrechten Ebene bildet	
σ_{∞}	t/m^2	Bodenpressung in Kraftrichtung	<i>64,3.</i> /66, 1
σ_{0}	t/m^2	Bodenpressung hangparallel	64,3.
φ	0	Reibungswinkel bei der Gleitbewegung von Schnee auf Boden	21
$arphi_{ m E}$	0	Reibungswinkel bei Übertragung von Druck- kräften (Fundamente)	66, 3./67, 2.
ψ	0	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

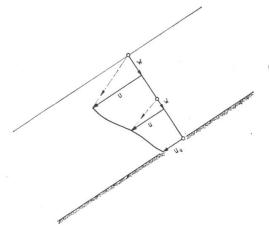


Fig. 1

Geschwindigkeitsprofil der Schneedecke

- v (u, v, w) Resultierender Geschwindigkeitsvektor
- u hangparallele Geschwindigkeitskomponente
- u_u Gleitgeschwindigkeit
- u-u₁₁ 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 Kriechund 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°/0). Dieser Fall ist praktisch bedeutungslos. Anrisse bei Hangneigungen unter 30° (57°/0) 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°/0-120°/0)

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 Lokkerschneerutsche, 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 anderseits 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

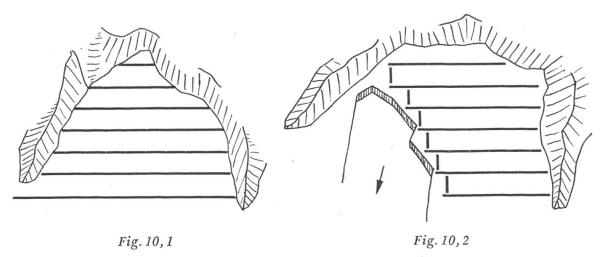
Art. 9 1. Wenn der zu verbauende Hang oben durch einen stark vergwächteten Grat begrenzt ist, sind die obersten Werke möglichst nahe an den Gwächtenfuß zu stellen, jedoch ohne daß sie in die Gwächte einbezogen werden. Sie sind im Hinblick auf die zu erwartende höhere Hinterfüllung und auf möglicherweise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



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.

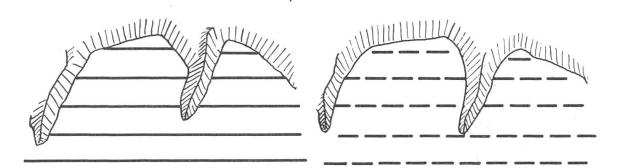


Fig. 11, 1 durchgehend

Fig. 11, 2 aufgelöst, unterbrochen

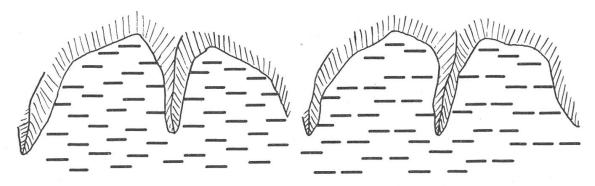


Fig. 11,3 aufgelöst, gestaffelt

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 Zwischen- räume möglich. Beanspruchung durch Rand- kräfte, die dem seitlichen Werkzwischenraum ent- sprechen.
aufgelöst gestaffelt (Art. 11, 4.)	 gute Anpassungsfähigkeit an Geländekonfiguration in allen Richtungen. Aufteilung von verbleibenden Zug- und Scherspannungs- zonen. Verminderung des Schnee- gleitens zwischen den Werken. 	 Beanspruchung durch Rand- kräfte, die dem freien Werk entsprechen. Erhöhung der Laufmeterkosten (im Vergleich zur durch- gehenden und aufgelöst unter- brochenen 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 (\overline{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 (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 Schneeverteilung 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 \overline{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 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:

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

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 $\overline{\rm H}_{\rm m}$ von 2.15 m als Höchstwert des betreffenden Winters gemessen worden. An einem der interessierenden Werkstandorte betrug der gleichzeitig vorgenommene Abstich $\rm H_{\rm m}=2.47$ m. Aus früheren Beobachtungen von Davos wurde für das Verbauungsgebiet eine mögliche extreme Schneedeckenhöhe von $\overline{\rm H}=3.70$ m geschätzt. Damit berechnet sich für den fraglichen Werkstandort als extreme, für die Werkhöhe maßgebende Schneehöhe:

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

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.

$$H_K \geqslant H$$
 (18)

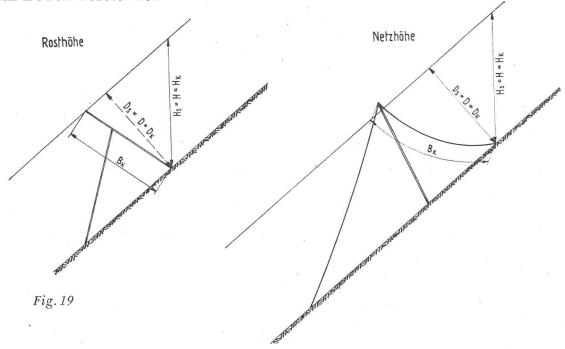
Auf der Erfüllung dieser fundamentalen Forderung beruht einerseits die Lawinensicherung in Katastrophensituationen und anderseits das Verfahren für die Dimensionierung der Werke.

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.



G. Werkabstände in der Fallinie

Art. 20 Der Abstand von Werken oder Werkreihen in der Fallinie 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

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

mit dem Abstandsfaktor f_L

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

wobei φ der Reibungswinkel zwischen Boden und Schnee bedeutet.

Fig. 21 gibt f_L als Funktion der Hangneigung ψ mit drei Reibungskoeffizienten tg φ als Parameter.

- Kurve 1 (tg $\varphi = 0.55$) ist Normalkurve.
- Bei glattem Boden (Gleitfaktor $N \ge 2$, 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

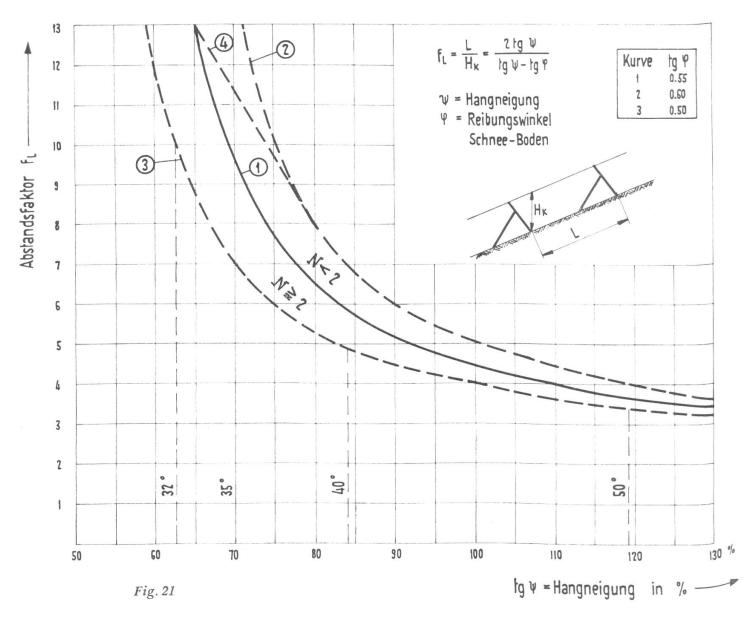
- Art. 22 1. Bei niedrigen Hangneigungen (unter zirka 35°, resp. $70^{\circ}/_{\circ}$) und großen Schneehöhen, ergeben sich im Vergleich zum wirksamen Staubereich theoretisch sehr große Abstandswerte. Da für solche Fälle die Gefährdung der Werke durch dynamische Schneewirkungen zurzeit noch nicht überblickt 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

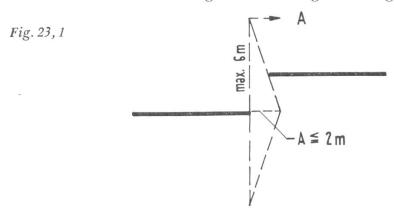
- Art. 23 Seitliche Zwischenräume zwischen benachbarten auf gleicher Niveaulinie liegenden Werken sind nach folgenden Gesichtspunkten zu bemessen:
- 1. Bei unterbrochener Verbauweise sind Zwischenräume A, die nicht durch lawinensichere Geländeabschnitte bedingt sind, auf maximal 2 m zu begrenzen:

$$A\leqslant 2\,\mathrm{m}$$

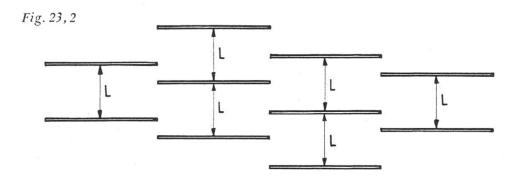
Sie sollen von oben durch Werke im Abstand L voll abgedeckt sein (gilt nicht für die oberste Werkreihe).



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



3. Bei gestaffelter Verbauweise sind die Unterbrüche 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.



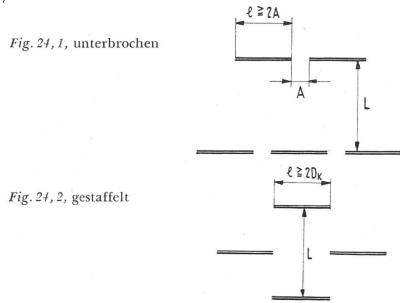
I. Werklänge

- **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 $l_{\rm W}$ eines Werkes setzt sich aus der Werklänge l und den Längen der seitlichen Einflußzonen zusammen.

Beispiel: Bei aufgelöst unterbrochener Verbauweise ist

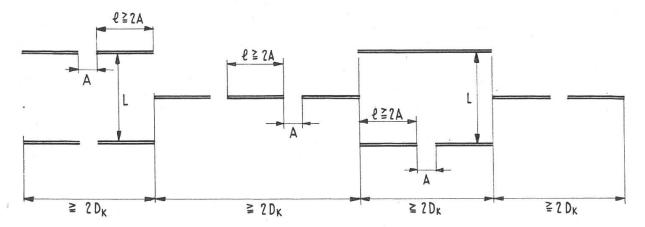
$$l_{\rm W} = l + 2\frac{A}{2}$$

- 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.).



5. Werden unterbrochene und gestaffelte Verbauweise kombiniert, soll die Länge der auf gleichem Niveau befindlichen (unterbrochenen) Verbauungsabschnitte, inkl. Lücke, mindestens $2\,\mathrm{D_K}$ 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
- Kriechfaktor,* abhängig vom Raumgewicht und von der Hangneigung
- N Gleitfaktor, abhängig von der Bewachsung, Rauhigkeit und Sonnenexposition 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

$$\gamma_{\rm H} = 270 \ {\rm kg/m^3}$$

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 $35^{\circ}-45^{\circ}$ 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 $\rm f_{\rm C}$ zu 1,00 und über 3000 m ü. M. zu 1,30 anzunehmen.

Bodenklassen	Gleitfa	Gleitfaktor N				
	Exposition N	Exposition N				
	WNW-N-ENE	ENE-S-WNW				
 Kl. I grober Blockschutt (d* ≥ 30 cm). von kleineren und größeren Felsblöcken stark durchsetztes Gelände. Kl. II 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. 	1,2	1,3				
— grobes Geröll (d* ca. 10—30 cm). Kl. III	1,6	1,8				
 kurzhalmige Grasnarbe, von Kleinsträuchern durchsetzt (Erika, Alpenrosen, Heidelbeeren, Erlengebüsch, Legföhren von unter ca. 1 m Höhe). feines Geröll (d* ≤ 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				
 Kl. IV 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 Rauhigkeit der Bodenoberfläche maßgebend ist.

L. Fundationsverhältnisse

- 7. Zu den Projektierungsarbeiten gehört eine gründliche Abklärung der Fundationsverhältnisse. 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 Fundationen stellen, sind die Fundationsverhältnisse vor der Wahl des Werktyps zu prüfen und bei dieser zu berücksichtigen.
- Art der Fundation (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 Fallinie 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

$$S'_{N} = \gamma_{S} \cdot \frac{H_{S}^{2}}{2} \cdot K \cdot N \qquad (27)$$

- S'_N hangparallele Schneedruckkomponente pro Längeneinheit der Stützfläche
- $\gamma_{\rm S}$ 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 Bodenrauhigkeit und Hangexposition abhängig)

Kriechfaktor K in Funktion von $\gamma_{\rm S}$ und ψ

$\gamma_{\rm S}$ (kg/m ³):	200	300	400	500	600
K/sin 2ψ :	0.70	0.76	0.83	0.92	1.05

Die gegebenen Zahlenwerte, multipliziert mit $\sin 2\psi$, 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, Rauhigkeit). Sie beträgt:

$$S'_{Q} = S'_{N} \frac{a}{N \cdot \operatorname{tg} \psi} \qquad (28, 1.)$$

$$\frac{a}{N \cdot tg \, \psi} = tg \, \epsilon = \frac{S'_{Q}}{S'_{N}} \qquad (28, 2.)$$

- S'_Q hangsenkrechte Schneedruckkomponente pro Längeneinheit der Stützfläche
- 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.

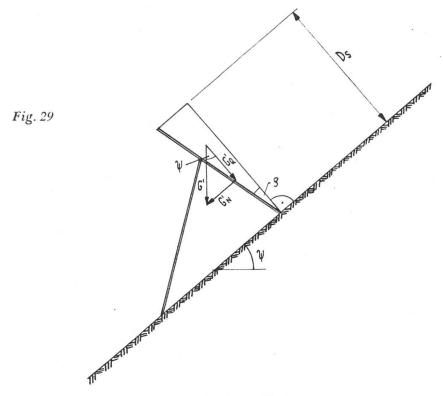
C. Zuschlag bei nicht hangsenkrechter Stützfläche

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:

$$G' = \gamma_S \cdot \frac{D_S^2}{2} \operatorname{tg} \varrho \qquad (29)$$

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



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 Oberflächenrauhigkeiten 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.

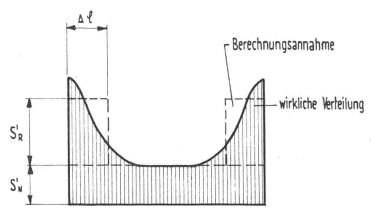


Fig. 30 Schneedruckverteilung an einer seitlich begrenzten Stützfläche.

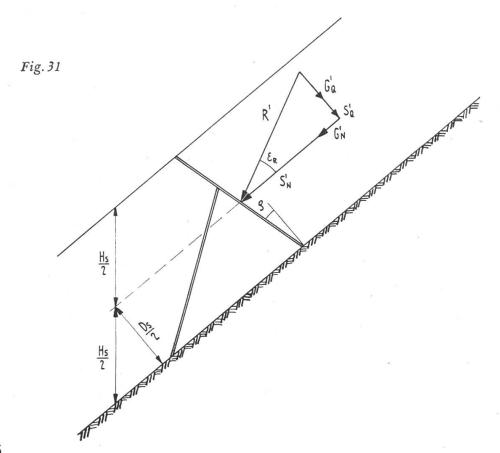
E. Resultierende

- 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:

$$R'_{N} = S'_{N} + G'_{N}$$
 (31, 1.)
 $R'_{Q} = S'_{Q} + G'_{Q}$ (31, 2)
 $R' = \sqrt{R'_{N}^{2} + R'_{Q}^{2}}$ (31, 3.)

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

$$R'_{N} = S'_{N} + S'_{R} + G'_{N}$$
 (31, 4.)



- 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 $Richtung \ \varepsilon_R$ der Resultierenden (in der Ebene senkrecht zur Niveaulinie) erhält man aus

$$\operatorname{tg} \varepsilon_{\mathrm{R}} = \frac{R'_{\mathrm{Q}}}{R'_{\mathrm{N}}} \qquad (31, 5.)$$

(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 Stützwerke mit starren oder (unter Berücksichtigung der speziellen Vorbehalte) nachgiebigen Stützflächen, die senkrecht zur Hangfallinie 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 17100 (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 17100 (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 17100 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 Auswechselmöglichkeit 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 Knikken) 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/cm²							
	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-
	I	II	III	HOIZ	I	II	III	holz
Biegung ohne Axial- kraft, Randspannung		ı						
σ _R Nadelholz	85	70	50	90	120	100	70	125
Laubholz	105	90	65	110	150	125	90	155
Druck und Zug¹ parallel zur Faser σ								
Nadelholz	70	60	401	75	100	85	601	105
Laubholz	90	80	501	95	125	105	751	130
Druck senkrecht zur Faser σ_1 Nadelholz								
ohne Vorholz			8				12	
mit Vorholz			11				16	
Laubholz ohne Vorholz mit Vorholz			25 35 ·				35 45	
Abscheren parallel zur Faser $ au$			-				-	
Nadelholz Laubholz			7 9			5	10 13	

Die gerade gedruckten Zahlen sind von untergeordneter Bedeutung.

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

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.

Zugversuch unter Einsetzung eines empirischen Korrelationskoeffizienten errechnet wird:

$$\sigma_{RS} = \frac{\sigma_{S}}{2} \left(1 + \frac{\lambda_{5}}{30} \right) \left[\text{kg/mm}^{2} \right] \quad (44)$$

σ_{RS} reduzierte Streckgrenze [kg/mm²]

 $\sigma_{\rm S}$ Streckgrenze [kg/mm²]

λ₅ Bruchdehnung auf 5 Stabdurchmesser Meßlänge [%]

- 2. Der Wert für λ_5 darf nicht größer als mit 30 Prozent eingesetzt werden ($\lambda_5 \leqslant 30\,\text{°/o}$).
- 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 Zanzuwenden.
- 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 . $\sigma_{ m RS}$	1,00 . $\sigma_{ m RS}$

 $\sigma_{\rm RS}$ 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 100
prozentiger Ausnützung von $\sigma_{\rm zul}$ 20/0 in 30 Jahren

bei 80
prozentiger Ausnützung von $\sigma_{\rm zul}$ 1º/0 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 l. 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 holzzerstörende 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 on 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 Einschneiung des Werkes mit der extremen Schneehöhe H (siehe Art. 14, 2. und 25, 2.), bei relativ kleinem mittleren Raumgewicht von

$$\gamma_{\mathrm{H}}=0.270\,\mathrm{t/m^3}$$

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 ψ = 1.00).

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

$$S'_{N} = 0.10 \cdot H^{2} \cdot N \cdot f_{C}$$
 [t/m'] (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:

$$S'_{Q} = S'_{N} \cdot \frac{a}{N \cdot tg \psi} \qquad [t/m'] \quad (52, 2.)$$

$$\frac{a}{N \cdot tg w} = tg \varepsilon = \frac{S'_{Q}}{S'_{N}} \quad (52, 3.)$$

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:

$$G' = 0.150 \cdot D^2 \cdot \text{tg } \varrho$$
 [t/m'] (52, 4.)

- D Extreme Schneemächtigkeit am Werkstandort in m (D = H \cdot cos ψ).
- 5. Die Randkräfte S'_R werden als zusätzliche hangparallele Laufmeterlasten mit der Angriffslänge Δ l angesetzt. (Es werden hier keine zusätzliche hangsenkrechte Randkräfte angenommen.)

$$S'_{R} = f_{R} \cdot S'_{N}$$
 [t/m'] (52, 5.)

mit dem Randfaktor f_R :

$$f_R = (0.92 + 0.65 \cdot N) \frac{A}{2} \leqslant (1.00 + 1.25 \cdot N)$$
 (52, 6.)

Gleitfaktor gemäß Art. 25, 5. N seitlicher Werkzwischenraum in m Der obere Grenzwert von \boldsymbol{f}_R gilt für das freie Werk

$$\Delta l = 0.60 \cdot \frac{A}{2} \leqslant \frac{D}{3}$$
 [m] (52, 7.)

Δl

Angriffslänge von S'_{R} in m extreme Schneemächtigkeit in m Der obere Grenzwert von Δ l gilt für das freie Werk

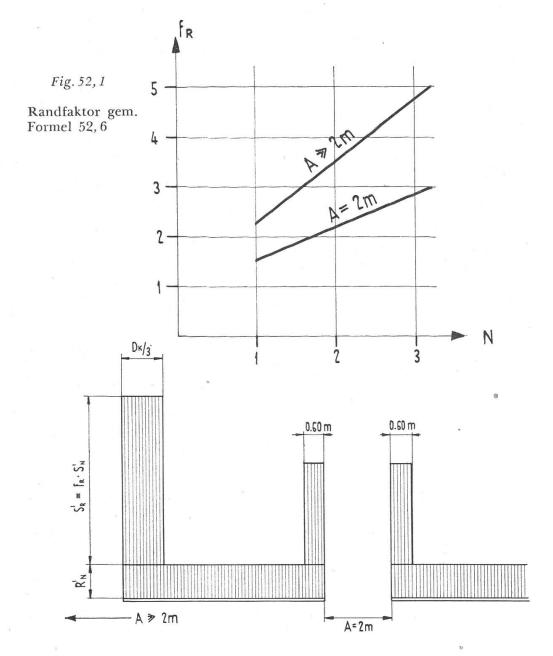


Fig. 52, 2 Verteilung der Randkräfte am freien Werkrand (D = DK) und bei einem Werkzwischenraum von 2 m.

Wenn seitlich benachbarte Werke in der Fallinie 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.

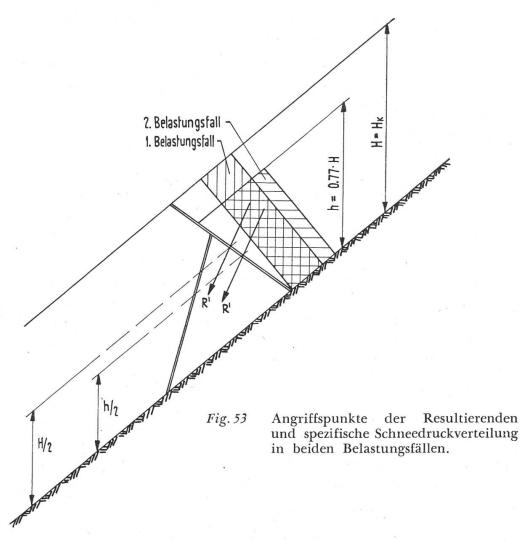
6. Die Resultierende aller Schneedruckkräfte ist in halber extremer Schneehöhe H/2 anzusetzen.

b) Zweiter Belastungsfall

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

$$\gamma_{\rm h} = 0.400 \; {\rm t/m^3}$$

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



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

$$h = 0.77 \cdot H \qquad [m] \qquad (53)$$

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 $H\ddot{o}he~h/2=0.385~\cdot~H$
- im höheren spezifischen Schneedruck [t/m²] (Faktor 1/0,77 = 1,3)
- 4. Die Randfaktoren \mathbf{f}_{R} und die Angriffslängen \varDelta l 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 $S_{\rm S}$ zu berücksichtigen (siehe Art. 32). Sie beträgt:

$$S_{S} = 0.10 \cdot S'_{N} \cdot l_{o} \qquad [t] \qquad (54)$$

 $l_{\rm o}$ 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.

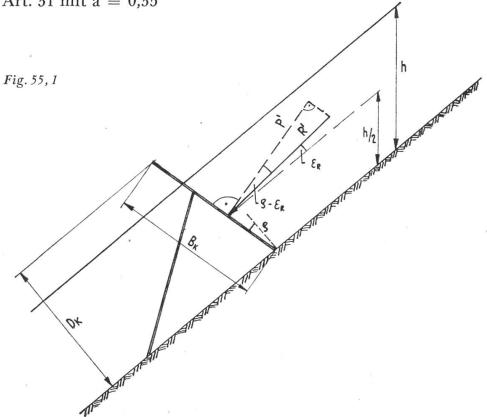
2. Die spezifische Belastung des zweiten Belastungsfalles ist als Grundlast über die ganze Höhe des Rostes anzunehmen.

Gemäß Figur 55, 1. ist für einen ebenen Rost

$$P' = R' \cdot \cos(\varrho - \varepsilon_R)$$
 [t/m'] (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



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

$$p_h = \frac{P' \cdot \cos \varrho}{0.77 \cdot D_K} = \frac{P'}{0.77 \cdot B_K} \quad [t/m^2] \quad (55, 2.)$$

(innerhalb der Angriffslängen der Randkräfte erhöht)

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

- 3. Zur spezifischen Belastung aus Art. 55, 2. soll von der Bodenoberfläche bis in ½ der Rosthöhe und über die ganze Werklänge ein Zuschlag von 25 Prozent des außerhalb der Angriffslängen der Randkräfte auftretenden spezifischen Schneedruckes ph 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' $_{\rm R}$
- Belastungsfall ohne die Randkräfte S'_R.

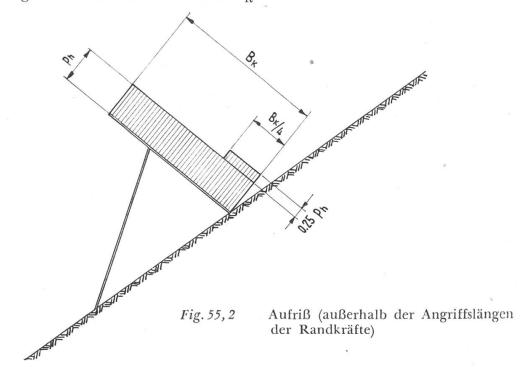
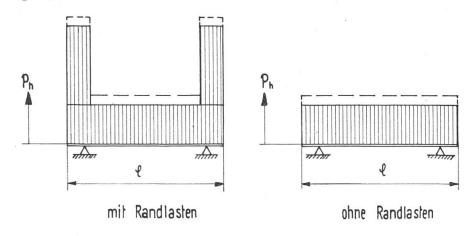


Fig. 55,3 Grundriß

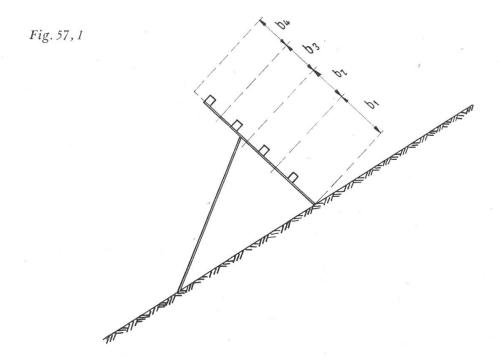


b) Belastung parallel zur Rostebene (Querbelastungen)

- 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.



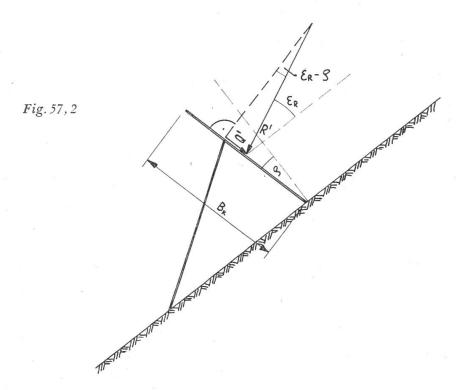
2. Die Belastungsbreite des untersten Balkens reicht bis zur Bodenoberfläche (Figur 57, 1.).

2. Querbelastungen

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

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



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

 $\varepsilon_{\rm R}$ Winkel von R' mit der Hangparallelen, zu berechnen nach Art. 31 mit a = 0,5

Die gleichmäßig verteilte spezifische Querbelastung q_h wird:

$$q_h = \frac{Q' + \cos\varrho}{0.77 + D_K} = \frac{Q'}{0.77 + B_K} \qquad [t/m^2] \qquad (57, 2.)$$

Die gesuchte auf einen Balken wirkende Linienquerlast:

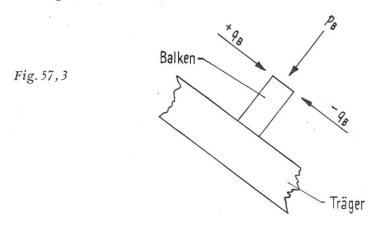
$$q_B = q_h \, \cdot \, b \hspace{0.5cm} [t/m'] \hspace{0.5cm} (57, \, 3.) \label{eq:qB}$$

4. Als Minimalwert für die Querlast ist zu berücksichtigen:

$$q_B = 0.20 \cdot p_B$$
 [t/m'] (57, 4.)

$$(p_B = p_h + b, p_h \text{ gemäß Art. 55, 2. und 55, 3.})$$

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



- 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. Querbelastungen

5. Als ungünstigste Querbelastung 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:

$$q_B = 0.10 \cdot p_B$$
 [t/m'] (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 $Werkh\"{o}he$ 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.).

$$S'_{N} = 0.10 \cdot f_{S} \cdot H^{2} \cdot N \cdot f_{C} \qquad [t/m'] \qquad (59)$$

f_S Reduktionsfaktor für eine nachgiebige (schlaffe) Stützfläche.

H Extreme Schneehöhe am Werkstandort in m

Eine vorsichtige Schätzung von $f_{\rm S}$ für mittlere Gleitverhältnisse lautet auf $f_{\rm S}\sim 0.8$

- 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 $Werkh\"{o}he$ H_K wird das arithmetische Mittel zwischen h\"{o}chstem 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 ebensosehr von der Seite der Fundationen 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 Querbelastung infolge Schneedrucks berücksichtigt werden. Dieser Schneedruck kann als relativ klein angenommen werden in der Form einer gleichmäßig verteilten Linienlast q_S von der $Gr\ddot{o}\beta e$

$$q_{S} = 0.10 \cdot \eta \cdot H^{2} \cdot N \cdot f_{C} \cdot \frac{St \ddot{u} tz endurchmesser}{St \ddot{u} tz enl \ddot{u} nge}$$
 [t/m'] (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.

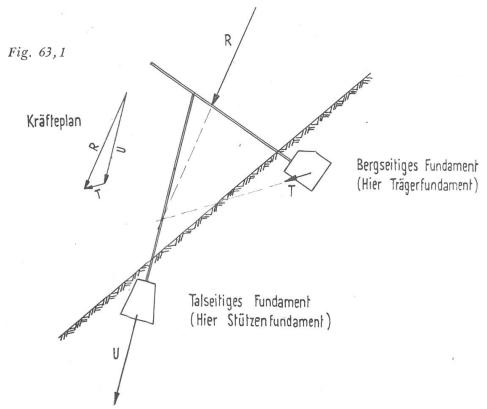
3. Kann als Folge der Konstruktionseigenart eine exzentrische Beanspruchung der Stütze auftreten, so ist auf die Druckkraft mit der maximal möglichen Exzentrizität zu dimensionieren.

I. Fundation

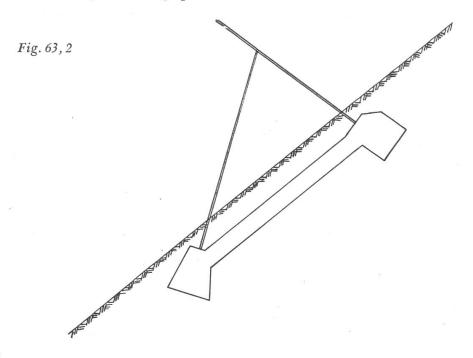
a) Fundierungsarten

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.



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).

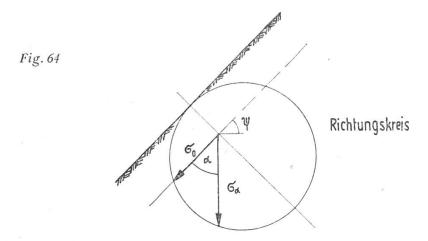
Zugkräfte können (sofern Fels vorhanden ist) mit Seilanker aufgenommen werden.

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

00	150	300	450	600 .	750	900
1,00	1,32	1,66	2,0	2,26	2,43	2,50



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 Fundation 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.

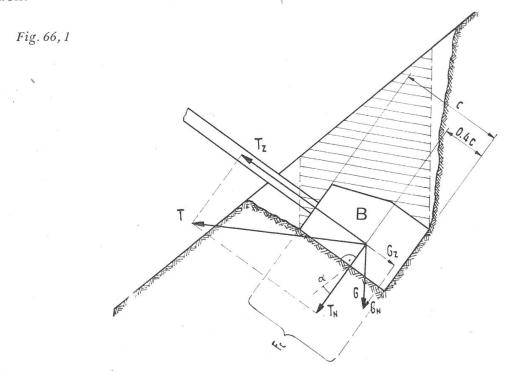
d) Ortsfundamente

- 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.



Die talseitige Fundamentfläche F_c muß folgende Bedingung erfüllen:

$$F_c \geqslant \frac{T_N + G_N}{\sigma_{\alpha zul}}$$
 [m²] (66, 1.)

- $T_{\rm N}$ Komponente der resultierenden Auflagerkraft senkrecht zur Fundamentfläche $F_{\rm c}$
- G_N Komponente des Gewichtes des Fundamentes (inklusive schraffierter Erdkörper in Fig. 66, 1) senkrecht zur Fundamentfläche F_c
- $\sigma_{\alpha zul}$ 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.

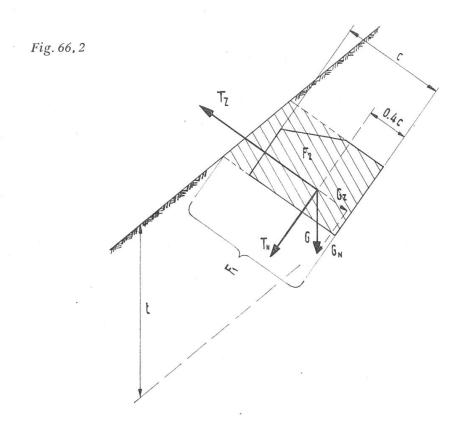
- 2. Dimensionierung der bergseitigen Fundamente auf Bodenzugkräfte
- 3. Die Zugkraft T_Z muß folgende Bedingung erfüllen. (Man beachte auch Art. 54, 1.)

$$T_{Z} \leqslant (F_1 + 2F_2) \cdot s_{zul} + G_{Z} + (T_N + G_N) \cdot tg \varphi_{Ezul}$$
 [t] (66, 2.)

- F1 talseitige Mantelfläche des Fundamentes bis zur Bodenoberfläche
- F₂ 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

$$s_{\rm zul}={}^{1/2}\,s_{\rm B}$$
 [t/m²] (66, 3.) s. Tabelle Seite 159

- G Gewicht des Fundamentes einschließlich Erdauflast (schraffiert)
- T_N Druckkomponente der resultierenden Auflagerkraft T senkrecht zu F₁ (Voraussetzung: *starre* Verbindung Tragkonstruktion-Fundament)



 φ_{Ezul} zulässiger Reibungswinkel bei der Übertragung der Druckkräfte

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

Sofern nicht besondere Testversuche zur Bestimmung von $s_{\rm B}$ durchgeführt werden, sind folgende Werte, die für eine totale Fundationstiefe t von 1 m gelten, einzusetzen:

Bodenart	s _B [t/m²]
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	$\begin{array}{cccccccccccccccccccccccccccccccccccc$
1,0	1,0 · S _{3 (1 m)}
1,5	1,2 · S _{3 (1 m)}
2,0	1,3 · S _{B (1 m)}
3,0	1,4 · S _{B (1 m)}

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

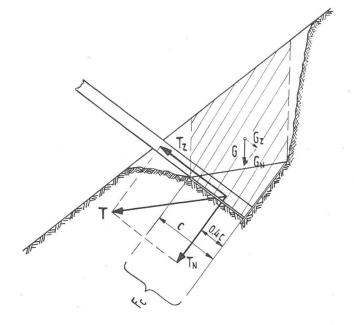
e) Fertigfundamente

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.
- $^{\rm 1}$ Beispiel: Bei sehr grobem, dicht gelagertem Kies betrage der s $_{\rm B}$ -Wert für 1 m Fundationstiefe 3,0 $\rm t/m^2.$ Für eine Fundationstiefe von 1.25 m wird

$$s_{\rm B} = 1.1 \cdot 3.0 = 3.3 \text{ t/m}^2 \text{ und } s_{\rm zul} = 1/2 \cdot 3.3 = 1.65 \text{ t/m}^2$$



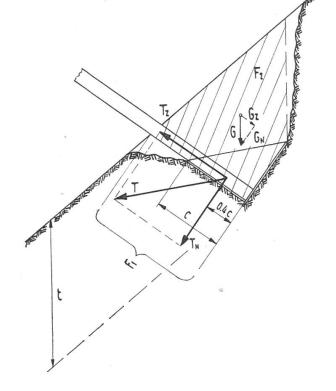
- 2. Dimensionierung der bergseitigen Fundamente auf Bodenzugkräfte
- 2. Für nicht unterschnittene Fertigfundamente sind die s_B-Werte gemäß Art. 66, 3. ungültig, weil sich der Bruch beim Herausziehen des Fundamentes im wiedereingefüllten Material vollzieht, dessen Kohäsion vermindert ist. Der Boden 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.):

$$T_{\rm Z} \leqslant (F_1 + 2F_2) \ s^*_{\rm zul} + G_{\rm Z} + (T_{\rm N} + G_{\rm N}) \ tg \varphi_{\rm Ezul}$$
 [t] (67, 1.)

- F1 talseitige Mantelfläche des Fundamentes bis zur Bodenoberfläche
- F₂ 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:

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

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

$$s^*_{zul}(t) = \frac{s^*_{zul}(1 m)}{2}(1 + t)$$
 [t/m²] (67, 3.)

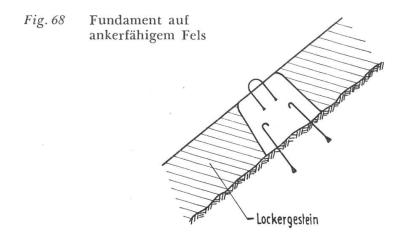
- G Gewicht der schraffierten Erdauflast und des Fertigfundamentes.
- T_N Druckkomponente der resultierenden Auflagerkraft T senkrecht zu F_1 (Voraussetzung: starre Verbindung Tragkonstruktion-Fundament). φ_{Ezul} zulässiger Reibungswinkel bei der Übertragung der Druckkräfte

$$tg \varphi_{Ezul} = 0.40$$
 [t/m²] (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.



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.

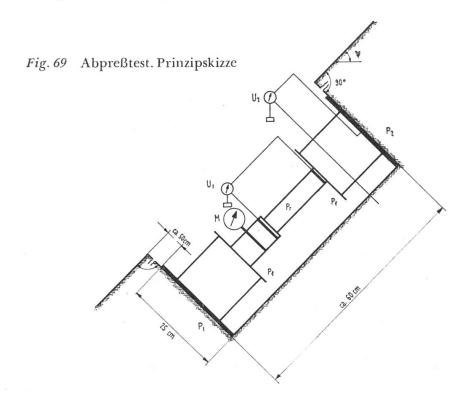
Da die auftretende Belastungsrichtung (wenigstens bei den bergseitigen Fundamenten) hauptsächlich hangparallel verläuft, wurde ein Verfahren entwickelt, bei dem eine Versuchsbelastung in dieser Richtung angesetzt wird.

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 cm² Testplattenfläche, die innere die pro cm² Kolbenfläche wirkende Kraft an. Die Kolbenfläche der Presse beträgt 15,4 cm² 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)



$P_1 =$	Testplatte 1000 cm ² (25 cm	M =	Manometer
$P_2 =$	× 40 cm) Gegenplatte 1500 cm ²	Pr =	Presse, Kolbenfläche = 15,6 cm², Maximalkraft =
12 —	$(25 \text{ cm} \times 60 \text{ cm})$		8 Tonnen
Pl =	Übertragungsplatten	$\sigma_{\mathrm{m}} =$	Belastung der Testplatte in
$U_1 =$	Meßuhr 1, mißt Kolbenhub		kg/cm ²
$U_2 =$	Meßuhr 2, mißt Weg v. P2	$\psi =$	Hangneigung
8 -	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.

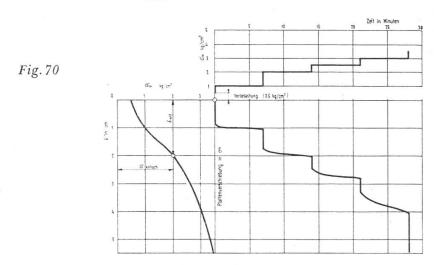
Die Deformation des Bodens unter der Testplatte wird in Funktion der spezifischen Plattenbelastung graphisch aufgetragen (Fig. 70). Für den Versuch wird eine Verschiebung der Testplatte um 2 cm vom Moment der aufgebrachten Vorbelastung weg als kritische Verformung des Bodens betrachtet. Aus der graphischen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

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

Tritt beim Test Bruch des Bodens ein, so berechnet sich

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

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



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 Sondierschlitze 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 Teste 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. Fundationen Lawinenverbau. 6. Bericht. 30. 11. 1957