

Zeitschrift:	Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse
Herausgeber:	Schweizerischer Forstverein
Band:	139 (1988)
Heft:	3
Artikel:	Impuls- und Energieverlust von Schneeblocken beim Aufprall auf Stützwerke im Lawinenverbau
Autor:	Bachmann, Othmar
DOI:	https://doi.org/10.5169/seals-766701

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: 06.02.2026

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

Impuls- und Energieverlust von Schneeblocken beim Aufprall auf Stützwerke im Lawinenverbau

Von *Othmar Bachmann*

Oxf.: 384.1

(Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, CH-7260 Weissfluhjoch/Davos)

1. Problemstellung

Die Untersuchung gibt Antwort auf folgende Fragen:

- Wie gut wird ein abgleitender Schneeblock durch ein Stützwerk aufgehalten?
- Wie gross sind die Unterschiede in der Bremswirkung bei den heute in Anrissgebieten eingesetzten Verbauungstypen (Schneerechen, Schneenetz, Schneebrücke)?
- Welches ist der Einfluss des Balkenabstandes bzw. der Maschenweite auf das Rückhaltevermögen der untersuchten Stützwerke?

2. Einleitung

Der Lawinenverbau im Anrissgebiet hat neben der statischen Abstützungsfunktion auch die Aufgabe, zwischen den Werkreihen entstehende Anrisse in ihrer Ausbreitung und Auswirkung einzuschränken (*EISLF* 1968). Eine wesentliche Voraussetzung dafür ist ein grosser Impulsverlust solcher Schneemassen beim Durchfliessen eines Werkes, so dass der Rutsch gestoppt oder zumindest in seiner Schadenwirkung klein gehalten werden kann.

Von diesem Standpunkt aus erscheint ein wenig durchlässiger Stützwerkrost von Vorteil. Diese Forderung steht aber im Widerspruch zu anderen Aspekten, wie Einschneien und daraus resultierende Schanzenbildung oder Keilbildung während des Aufpralls. Nicht zuletzt sind im Sinne der bestmöglichen Ausnutzung von Investitionen finanzielle Gesichtspunkte zu berücksichtigen.

Um bessere Voraussetzungen zur Wahl des optimalen Füllungsgrades (Definition siehe *Abbildung 4*) zu schaffen, soll in dieser Arbeit das Rückhaltever-

mögen der Stützwerke in Abhängigkeit des Balkenabstandes bzw. der Maschenweite experimentell untersucht werden. Die Ergebnisse erlauben ebenfalls einen Vergleich der Bremswirkung der untersuchten Verbauungstypen, und es lassen sich Richtlinien für die Konstruktion und Dimensionierung ableiten.

3. Messmethoden

Auf der Gleitbahn des EISLF (*Abbildungen 1 und 2*) können Kräfte, die beim Aufprall eines Schneeblockes (rund 12 m³) auf ein Stützwerk auftreten, dynamisch gemessen werden. Der Winkel der Gleitbahn bezüglich der Horizontalen wurde auf 31,5° fixiert. Die Beschleunigungsstrecke bis zum Aufprall beträgt 10,4 m und entspricht somit in etwa der Situation eines Anrisses zwischen zwei Werkreihen im Anbruchgebiet.

Die vier Druckdosen, an denen das Stützwerk aufgehängt ist, messen zusammen die hangparallele Komponente der einwirkenden Stosskraft. Die Nennlast der Kraftgeber beträgt 50 kN, die zeitliche Auflösung liegt bei 10 msec, was eine dynamische Messung der Aufprallkräfte erlaubt.

Die Methode zur Messung des Impulsverlustes ΔI ist gegeben durch das zweite Axiom von Newton (Kraftstoss), welches eine Impulsänderung mit dem Integral der wirkenden Kräfte $F(t)$ über die Stosszeit gleichsetzt.

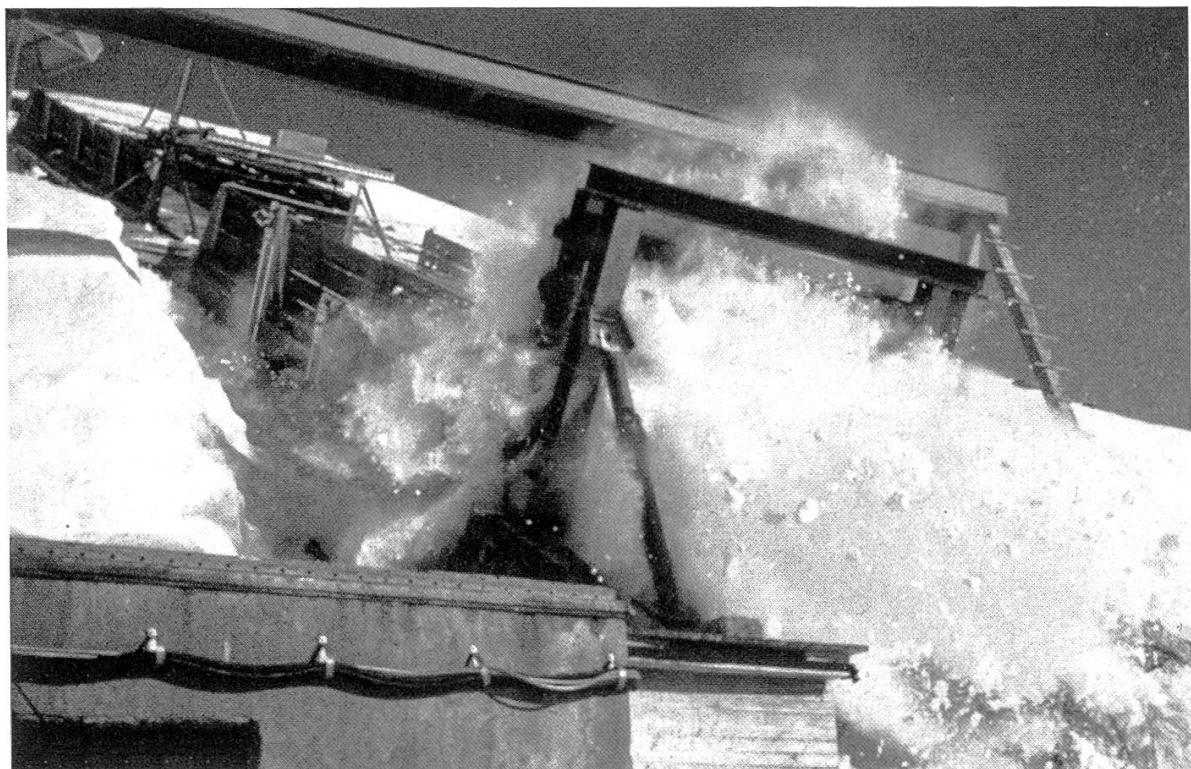


Abbildung 1. Aufprall eines Schneeblocks auf Schneebrücke.

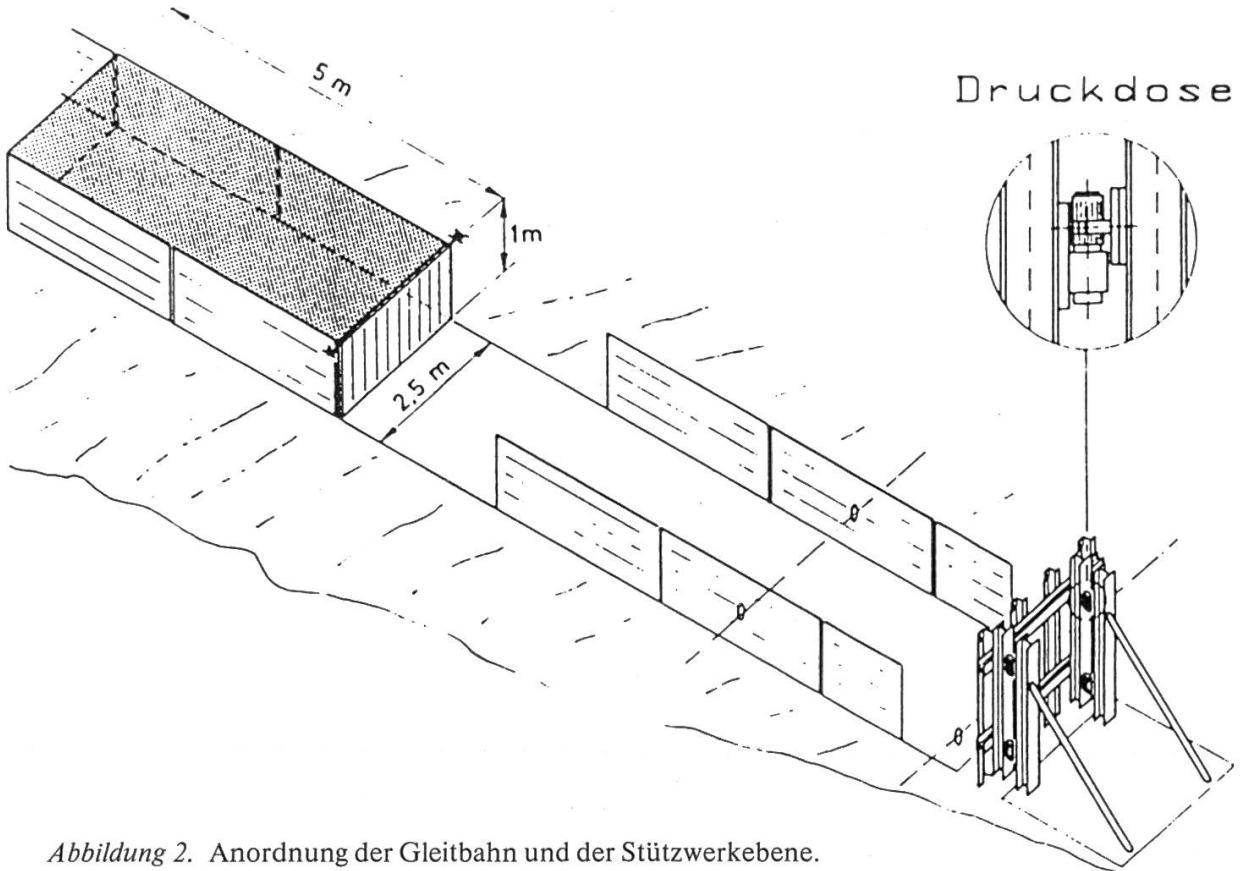


Abbildung 2. Anordnung der Gleitbahn und der Stützwerkebene.

$$\Delta I = \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt = \Delta (m * v) = | I(t_2) - I(t_1) | \quad (1)$$

t_1 ist der Zeitpunkt des Aufpralls. Das Ende des Stosses entspricht der Zeit t_2 (I : Impuls, m : Masse, v : Geschwindigkeit).

Der ermittelte Impulsverlust ΔI wird nun ins Verhältnis zum Impuls vor dem Aufprall I_o gesetzt. Der Impuls I_o ist bestimmt durch die Messung der Geschwindigkeit v_o und der Masse m_o (Volumen * Schneedichte). Anhand der so erhaltenen Impulsverlustraten (Gl. 2) kann die Durchlässigkeit eines Stützwerkes unabhängig von Schneedichte und Aufprallgeschwindigkeit angegeben werden. Die Grösse $\Delta I/I_o$ bewegt sich zwischen 0 und 1.

$$\frac{\Delta I}{I_o} = \frac{1}{m_o * v_o} * \int_{t_1}^{t_2} F(t) dt \quad (2)$$

Die Energieverlustrate (Gl. 3) ist durch die Menge der hinter dem Werk deponierten Schneemasse Δm bestimmt (m^l : durchgeflossene Masse, m_o : Masse des Schneeblockes; $m_o = m^l + \Delta m$).

$$\frac{\Delta E}{E_0} = 1 - \frac{m_o}{m^l} * \left(1 - \frac{\Delta I}{I_o} \right)^2 \quad (3)$$

Die Experimente bestimmen nun die Größen $\Delta I/I_o$, $\Delta E/E_0$ und $\Delta m/m_o$, das heisst, welcher Teil des Impulses, der Energie und der Masse am Werk aufgehalten wird. Die Abhängigkeit vom Füllungsgrad des Werkes steht dabei im Mittelpunkt.

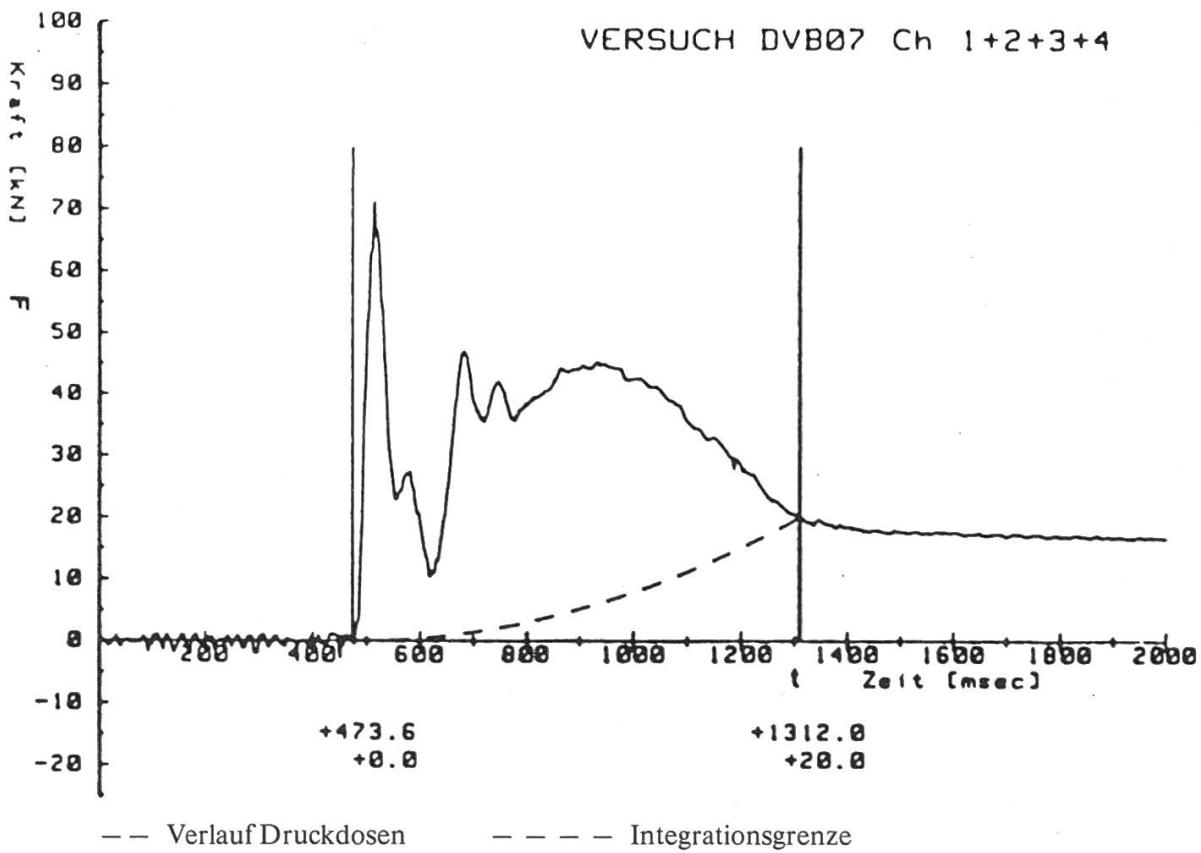


Abbildung 3. Kraftverlauf $F(t)$ eines Aufpralls.

Der Füllungsgrad s wird definiert durch das Verhältnis der materiellen Fläche zur Gesamtfläche des Stützwerkes (siehe Abbildung 4) und liegt zwischen 0 und 1.

Es ist bekannt, dass das mechanische Verhalten des Schnees – nicht zuletzt durch äussere Einflüsse (Strahlung, Temperatur usw.) – sehr unterschiedlich sein kann. Der einem bestimmten Balkenabstand entsprechende Impulsverlust wird also zusätzlich auch von der Schneeart mitbestimmt. Durch diese Variation ist es unmöglich, einem Balkenabstand einen exakten Wert für den Impulsverlust zuzuordnen. Es kann lediglich ein Mittelwert von Resultaten verschiedener Schneearten und deren Streuung angegeben werden.

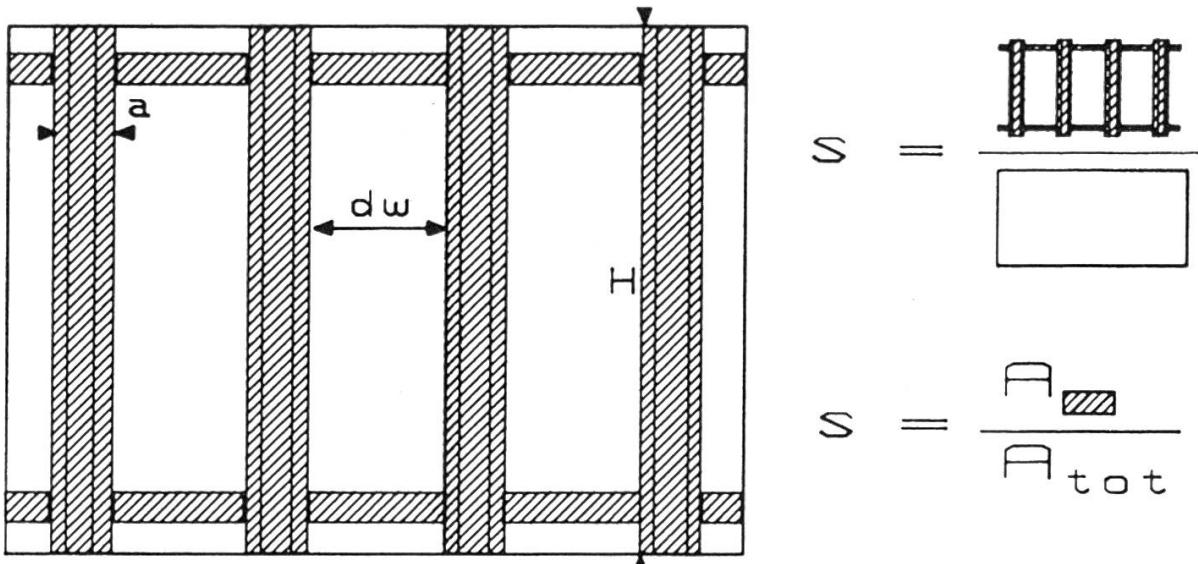


Abbildung 4. Definition des Füllungsgrades s anhand des Schneerechens.

Versuche mit einer ungestörten, natürlichen Schneedecke sind nur wenige durchführbar, da die Gleitbahn zu selten im richtigen Moment eingeschneit wird und solche Schneeblocke bei der Auslösung oft hängenbleiben. Deshalb wird der Einfüllbereich der Gleitbahn in der Regel mit in der Nähe abgelagertem Schnee gefüllt. Dies ergibt eine Durchmischung verschiedenster Kornformen und Dichten.

4. Resultate

In der Versuchsreihe wurden folgende Werke auf ihr Rückhaltevermögen hin untersucht:

Wand: Füllungsgrad: $s = 1$

Höhe 2 m

Schneerechen: Die Abstände zwischen den senkrecht stehenden 21 cm breiten Balken betragen 20, 30 und 45 cm, was den Füllungsgraden 0,572, 0,494 und 0,415 entspricht (Querbalken innerhalb des Fließbereiches).

- Schneenetze:*
- Drahtseilnetz mit Maschenweite 10 cm (Seildurchmesser 7,5 mm), Füllungsgrad $s = 0,200$.
 - Drahtseilnetz mit Maschenweite 20 cm mit aufgelegtem Maschengitter (Drahtstärke 2,5 mm; Maschenweite 5 cm), Bezeichnung: 20&5, Füllungsgrad insgesamt $s = 0,180$.
 - Drahtseilnetz mit Maschenweite 15 cm, Füllungsgrad $s = 0,123$.

- Drahtseilnetz mit Maschenweite 20 cm,
Füllungsgrad $s = 0,088$.
- Drahtseilnetz mit Maschenweite 25 cm,
Füllungsgrad $s = 0,068$.

Schneebrücken: Die Abstände zwischen den horizontal montierten 21 cm breiten Balken betragen 16,5 cm, 24 cm und 35 cm, was den Füllungsgraden 0,560, 0,467 und 0,375 entspricht (die senkrechten Trägerbalken lagen ausserhalb des Fliesskanals).

Einen Ausschnitt der Resultate zeigt die *Abbildung 5*, in der die Impulsverluste $\Delta I/I_0$ für Schneebrücken in Abhängigkeit des Füllungsgrades dargestellt sind.

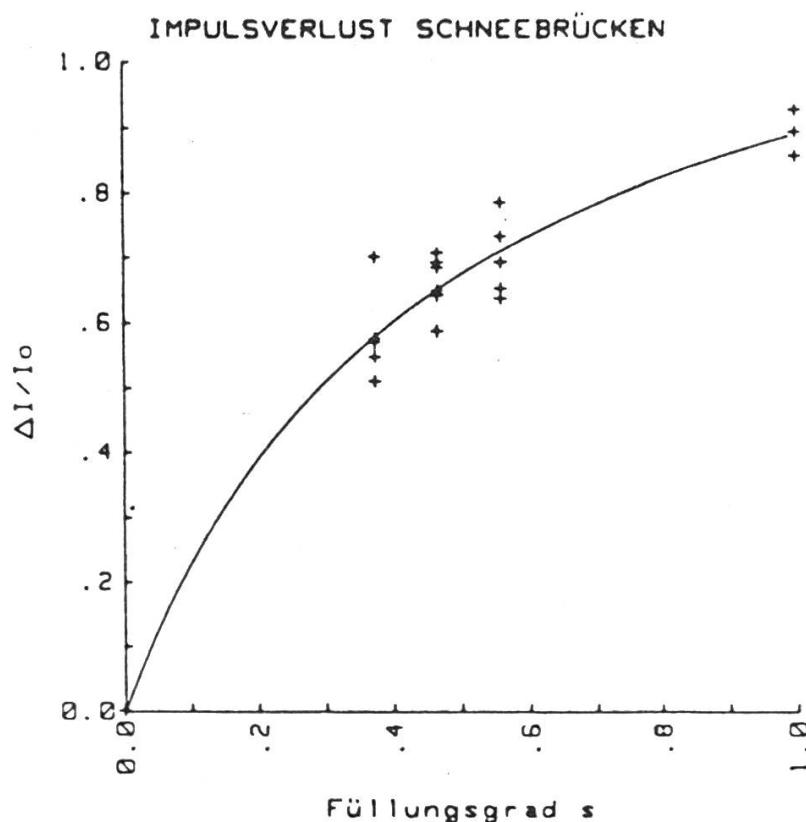


Abbildung 5.
Impulsverlust als Funktion
des Füllungsgrades für
Schneebrücken.

Auffallend in der *Abbildung 5* ist die grosse Streuung der Einzelmessungen innerhalb von $s = \text{konstant}$. Sie ist hauptsächlich zurückzuführen auf unterschiedliches mechanisches Verhalten der verschiedenen Schneearten (Lockerschnee, Schwimmschnee, Harschformen usw.)

Vergleich der drei Stützwerk-Typen

Eine Gegenüberstellung von drei typischen Vertretern der untersuchten Stützwerke zeigt Abbildung 6. Bei den Schneenetzen wurde eine Maschenweite von 20 cm mit aufgelegtem Maschengitter (5 cm) gewählt. Damit verglichen werden eine Schneebrücke mit Balkenabstand 24 cm und ein Schneerechen mit einer lichten Weite von 30 cm. Diese Dimensionen sind auch für den Stützverbau typisch. Man beachte, dass beim Schneerechen die zwei Querbalken auch im Fliessbereich liegen, bei der Schneebrücke befinden sich die zwei Trägerbalken jedoch ausserhalb des Fliesskanals.

Deshalb hat der Rechen trotz grösserem Balkenabstand den höheren Füllungsgrad s. Vergleicht man das Schneenetz mit den beiden Balkenwerken, so kann im Mittelwert (grob karierte Schraffierung) ein ähnliches Rückhaltevermö-

VERGLEICH DES RÜCKHALTEVERMÖGENS unterschiedlicher Stützwerke

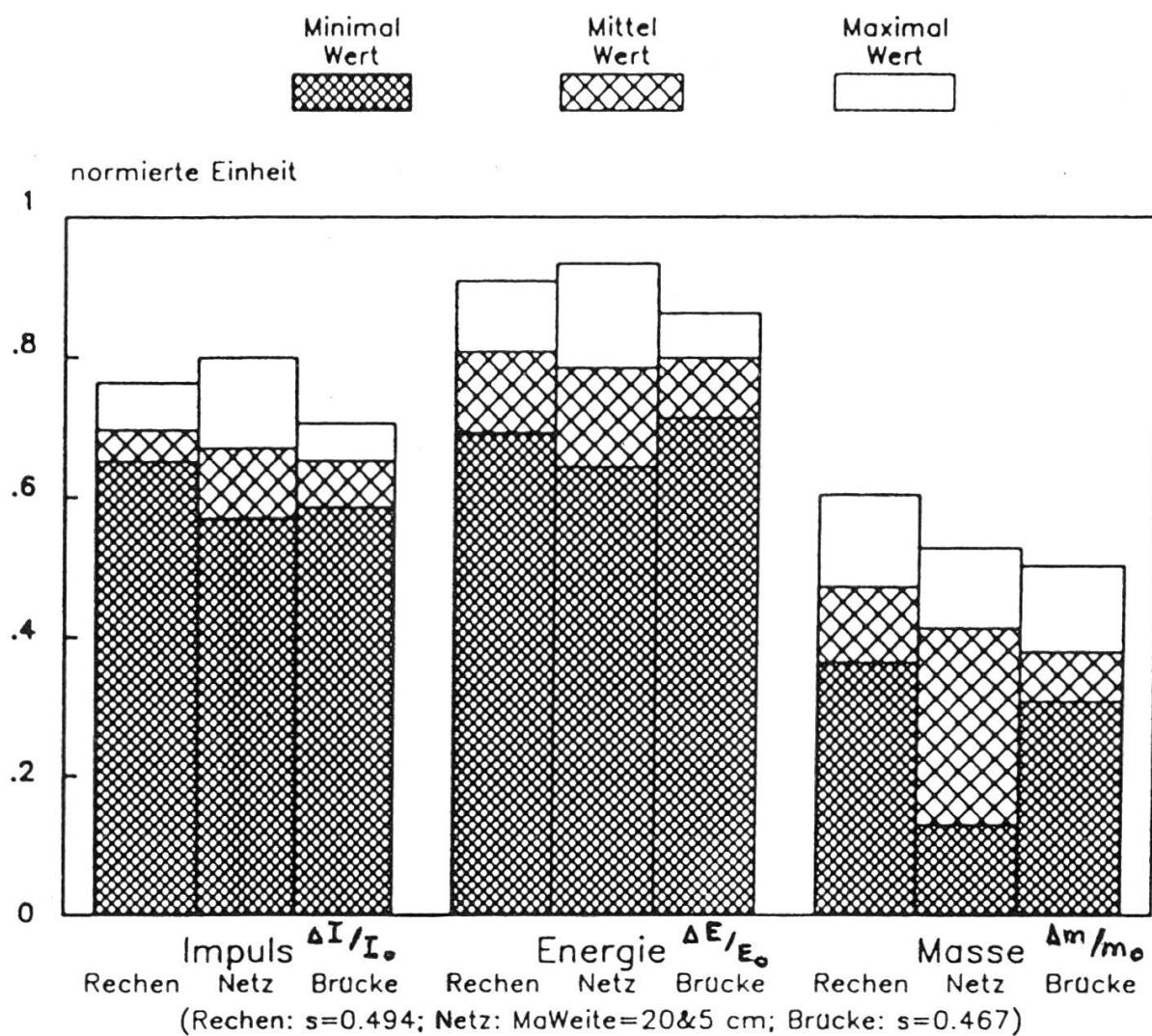


Abbildung 6. Vergleich des Rückhaltevermögens (Trockenschnee).

gen festgestellt werden. Erst beim Betrachten der Extremwerte (Maximum und Minimum) hebt sich das Verhalten des Schneenetz es deutlich ab. Die Streuung der Resultate ist fast doppelt so gross wie bei den Balkenwerken. Dies liegt daran, dass die Bremswirkung des Schneenetz es stark mit der Schneecharakteristik verknüpft ist. Insbesondere lockere Schneearten (isothermer Schnee, Neuschnee) – die ja oft bei einer Katastrophensituation anzutreffen sind – werden am Netz schlecht aufgehalten.

Beim Vergleich der Balkenwerke untereinander schneidet der Schneerechen etwas besser ab. Vor allem das Rückhaltevermögen der Masse liegt bei der Schneebrücke tiefer (mehr, als dies auf Grund des nur unbedeutend kleinen Füllungsgrades zu erwarten wäre). Die Streuung der Resultate beider Balkenwerke ist in der gleichen Größenordnung.

Das unterschiedliche mechanische Verhalten verschiedener Schneearten zeigt sich in Abbildung 7, wo der stationäre Druck P_{st} an Schneerechen in Abhängigkeit von $\frac{1}{2} \rho * v_o^2$ aufgetragen ist. Zur Berechnung von P_{st} wird F_{st} (Kraft im stationären Teil) durch die materielle Fläche im Fliessbereich ($2,5 \text{ m} * 1 \text{ m} * a$) geteilt. Eine stationäre Kraft tritt in der Umgebung von 1000 ms auf. In Abbildung 3 beträgt sie 40 kN.

$$P_{st} = C_w * \frac{\rho}{2} * v_o^2 \quad (4)$$

Mit Gl. (4) lassen sich für die Stützwerke Widerstandsbeiwerte C_w berechnen. Beim Schneerechen ergibt sich im Mittel über alle Versuche mit Trocken-

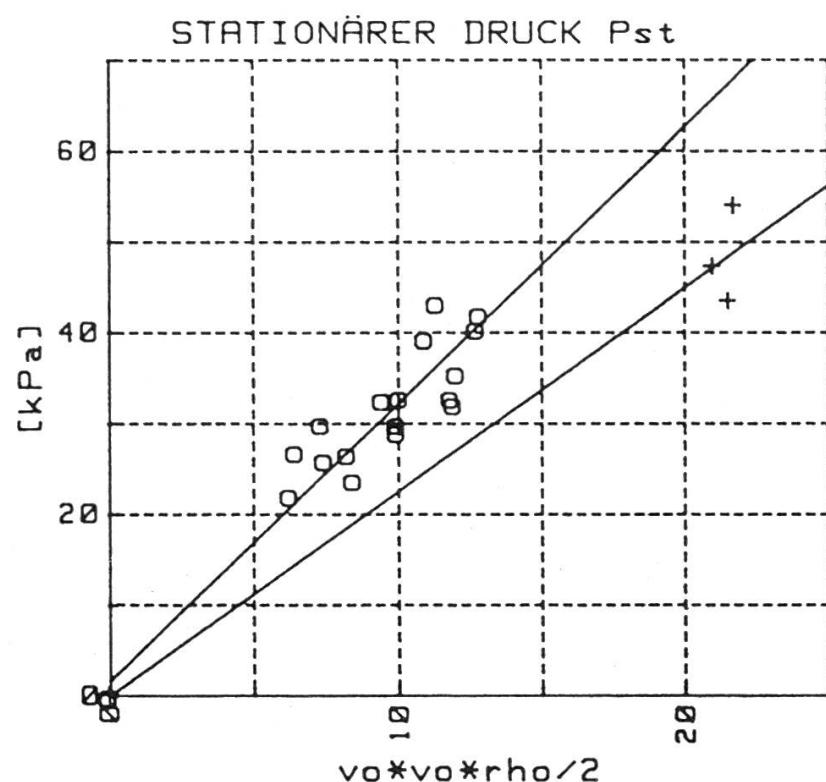


Abbildung 7.
 P_{st} bei Schneerechen für
Trockenschnee (o) und
Feuchtschnee (+).

schnee (o) ein Wert von $C_w = 3,05$. Es fällt auf, dass die Feuchtschnee-Versuche (+) einen markant tieferen C_w -Wert von 2,25 aufweisen.

Extrapolation der C_w -Werte auf grosse Abstände

Eine interessante Grösse ist der Widerstandsbeiwert C_w (gemäss Gl. 4) eines umflossenen Einzelobjektes (zum Beispiel ein in der Fliesszone stehender Mast). Durch Extrapolation der C_w -Werte für die Balkenabstände 20, 30 und 45 cm auf grössere Abstände lässt sich ein Näherungswert der genannten Grösse finden.

Trennt man die in der Abbildung 7 aufgeführten stationären Drücke nach den drei Füllungsgraden, erhält man die C_w -Werte 2,85, 3,1 und 3,64 mit zunehmendem Balkenabstand. Je weiter die Balken auseinander stehen, um so mehr wird der einzelne durch den umfliessenden Schnee belastet.

Obwohl diese Zahlen noch nicht konvergieren, liegt der C_w -Wert für grosse Objektabstände (zum Beispiel Baumstämme im Wald) sehr wahrscheinlich in der Nähe von 4. Dies gilt dann auch für Einzelobjekte. Die Lasthöhe ist für diese Fälle nur wenig grösser als die Fliesshöhe.

5. Schlussfolgerungen

Anhand der rund 75 Aufprallversuche, die in den vergangenen drei Wintern durchgeführt wurden, ergibt sich ein Bild über die Wirkungsweise der untersuchten Stützverbauungen (Rechen, Netze und Brücken). Insbesondere die Abhängigkeit des Impulsverlustes am Werk vom Balkenabstand oder von der Maschenweite kann nun exakt angegeben werden (siehe zum Beispiel Abbildung 5). Dabei hat die Variation der Maschenweite beim Netz verglichen mit der Änderung des Balkenabstandes beim Rostwerk einen stärkeren Einfluss auf das Bremsvermögen.

Im Durchschnitt wurde an den Stützwerken, die heute auch in den Anrissgebieten aufgestellt werden, auf der Gleitbahn 40% der abgleitenden Masse aufgehalten. Rund 65% des Aufprall-Impulses und rund 80% der Aufprall-Energie werden dadurch am Werk absorbiert (vgl. Abbildung 6).

Das Rückhaltevermögen hängt jedoch nicht nur vom Füllungsgrad des Werkes ab. Einen ebenso starken Einfluss hat die Schneebeschaffenheit. Nach Berücksichtigung der Messfehler (3 bis 5%) bleibt eine durchschnittliche Streuung um den jeweiligen Mittelwert (innerhalb des gleichen Füllungsgrades) von 6% bei den Balkenwerken und 9% bei den Schneenetzen, die allein durch das unterschiedliche mechanische Verhalten des Schnees verursacht wird.

Die Resultate der Versuche mit natürlich eingeschneiten Schneeblocken lassen eine noch grössere Streuung des Rückhaltevermögens im wirklichen Anrissgebiet erwarten.

Durch den Quervergleich der Bremswirkungen kristallisieren sich Stärken und Schwächen der untersuchten Stützwerke heraus, wobei sich die letzteren durch Anpassung der Dimensionierung zum Teil korrigieren lassen:

Der Schneerechen erzielt — dank der Ausrichtung seiner Balken senkrecht zur Schneeschichtung und senkrecht zur Gleitfläche abgehender Schneeschollen — auch bei grossen Balkenabständen eine gute Impulsverlustrate. Da die Keilbildung bei hohen Füllungsgraden häufig ist, sollte die obere Grenze des Balkenabstandes aus den Richtlinien (EISLF 1968) (30 cm) voll ausgenutzt werden.

Bei der Schneebrücke ist die Keilbildung und das Darübergleiten nachfolgender Schneemassen nicht so problematisch (quergestellte Balken blockieren das Aufgleiten). Die etwas tiefere Bremswirkung sollte durch eine Verringerung des Balkenabstandes auf 25 cm kompensiert werden.

Für die Entscheidung zwischen Schneebrücke und Schneerechen sind meist konstruktive Gründe ausschlaggebend.

Schneenetze erreichen trotz kleineren Füllungsgraden *im Durchschnitt* ähnliche Impulsverlustraten wie die Balkenwerke. Die Maschenweite soll jedoch ohne aufgelegtes Maschengitter 10 cm nicht übersteigen. Mit Maschengitter (5 cm Maschengitter) kann der Abstand zwischen den Drahtseilen auf 20 oder 25 cm erhöht werden. Der Nachteil der untersuchten Schneenetze liegt aber auch dann noch in der schlechten Bremswirkung bei kohäsionsarmen Schnearten. Auch ist beim Netz mit einer grösseren Gefahr des Einschneiens und dadurch verursachten Schanzenbildung zu rechnen.

Korrigieren lassen sich die genannten Nachteile des Schneenetzes durch eine Variation des Füllungsgrades. Schachbrettartig werden die Quadrate des Netzes mit Maschenweite 20 oder 25 cm offengelassen oder mit einem Blech abgedeckt. Die erzielten Resultate eines solchen Netzes sind zufriedenstellend.

Einen grossen Vorteil hat das Netz im Anrissgebiet, welches zusätzlich durch Steinschlag gefährdet ist. Die hohen Aufprallkräfte werden gedämpft und das Werk wird weniger zerstört.

Résumé

Pertes du moment cinétique et d'énergie de blocs de neige lors de la collision avec des ouvrages de défense paravalanche

Avec la glissoire à neige de l'IFENA, on peut mesurer dynamiquement les forces développées par la collision d'un bloc de neige ($10-12 \text{ m}^3$) avec un ouvrage. La mesure de la perte du moment cinétique permet d'examiner le pouvoir de freinage de filets, de claires et de râteliers. Les résultats obtenus donnent lieu à des recommandations pour la construction des ouvrages, surtout pour les filets dont l'efficacité peut être améliorée.

Literatur

- EISLF, 1968: Lawinenverbau im Anrissgebiet, Richtlinien des Eidgenössischen Oberforstinspektors für den Stützverbau, Mitteilung des EISLF.
- Bachmann, O., 1987: Impuls- und Energieverlust von Schneeblocken beim Aufprall auf Schneerechen, Interner Bericht EISLF Nr. 635.
- Bachmann, O., 1987: Impuls- und Energieverlust von Schneeblocken beim Aufprall auf Schneenetze und Schneebrücken, Interner Bericht EISLF Nr. 636.