

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 73 (1955)  
**Heft:** 19

**Artikel:** Über die Zerstörungskraft von Lawinen  
**Autor:** Voellmy, A.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-61910>

#### 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:** 03.02.2026

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

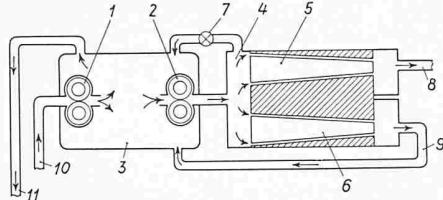


Bild 6. Prinzipschema eines volumetrischen Viskositätsreglers. 1 Primäre Oelpumpe, 2 sekundäre Oelpumpe, 3 primäre Kammer, 4 sekundäre Kammer, 5 erstes Viskositätsventil, 6 zweites Viskositätsventil, 7 Regulierventil, 8 Oelleitung zum Brenner, 9 Oelrückleitung nach 3, 10 Oelzuleitung vom Tank, 11 Oelrückleitung zum Tank

konstant hält. Die Viskositätsregelung arbeitet meist entweder nach dem thermischen oder nach dem volumetrischen Prinzip. Im ersten Fall steuert ein im Oelkreislauf eingebauter Thermostat ein elektrisches Heizelement derart, dass die Oeltemperatur vor dem Brenner konstant bleibt. Bei der selben Oelqualität bleibt dann auch seine Viskosität konstant.

Die Arbeitsweise der volumetrischen Viskositätsregelung geht aus dem Prinzipschema Bild 6 hervor. Eine erste Oelpumpe 1 fördert das Oel vom Tank in eine zentrale Kammer 3, von der die zweite Pumpe 2 eine kleinere konstante Oelmenge absaugt und in eine zweite Kammer 4 fördert. Diese Oelmenge ist grösser als der Oelbedarf des Brenners bei voller Leistung, während die Fördermenge der Pumpe 1 etwa 60 % grösser ist, als die der Pumpe 2. An der Kammer 4 schliessen zwei Viskositätsventile 5 und 6 an, die aus langen konischen Kegeln bestehen, die in konische Oeffnungen hineinpassen und auf bestimmte Durchflussquerschnitte eingestellt werden können. Ausserdem ist ein Rückflusseventil 7 angebracht. An das Ventil 5 schliesst die Oelleitung zum Brenner an, an das Ventil 6 eine Rückleitung zur Kammer 3. Ist das Ventil 7 geschlossen, so verteilt sich die von der Pumpe 2 geförderte Oelmenge in einem durch die Einstellung der Ventile 5 und 6 bestimmten konstanten Verhältnis auf die Brennerleitung 8 und die Rücklaufleitung 9. Dieses Verhältnis bleibt insbesondere auch bei Änderungen der Viskosität konstant; nur der Oeldruck in der Kammer 4 ändert sich. Da die Fördermenge der Pumpe 2 konstant ist, wird dem Brenner stets gleichviel Oel zugeführt. Muss der Brenner auf eine kleinere Oelmenge eingestellt werden, so kann das in einfacher Weise durch teilweises Öffnen des Regulierventiles 7 bewirkt werden. Handelt es sich nicht um eine vorübergehende Veränderung, so wird man mit Vorteil die Ventile 5 und 6 den geänderten Verhältnissen entsprechend neu einstellen. Bei automatischer Leistungsregelung wird das Regulierventil durch einen Thermostaten oder einen Pressostaten ferngesteuert.

## 8. Steuerung

Es gibt Schwerölbrenner mit Handbedienung, halbautomatische und vollautomatische Typen. Der Brenner mit Handbedienung wird mit einer Lunte entzündet; die Einstellung der Oelmenge und der entsprechenden Verbrennungsluftmenge erfolgt von Hand. Der Halbautomat wird ebenfalls von Hand entzündet, die Regulierung besorgen aber Steuerorgane. Der Vollautomat arbeitet ohne jegliche Bedienung; auch die Entzündung mit elektrischer Zündspirale oder Gasflamme tritt automatisch in Funktion, wenn Wärme verlangt wird. Ob nun eine Handbedienung, eine halb- oder eine vollautomatische Bedienung gewählt werden soll, hängt von den Betriebsverhältnissen ab. Spielt der Aufwand an Arbeit für die Bedienung eine unwichtige Rolle und werden keine hohen Ansprüche an eine konstante Wärmeerzeugung gestellt, so kann der Brenner mit Handbedienung seine Aufgabe vollauf erfüllen. Wird aber ein grösseres Gewicht auf gute Wärmeregulierung gelegt, so muss dem Halb- oder Vollautomaten der Vorzug gegeben werden, wobei die bestehenden gesetzlichen Vorschriften zu beachten sind.

Die automatische Regulierung ist nur bei Rotationsbrennern stufenlos möglich. Ein auf Temperatur oder Druck des Heizmediums reagierendes elektrisches Steuerorgan beeinflusst progressiv einen Motor, der die Oelmenge und zwangsläufig auch die Menge der Verbrennungsluft reguliert. Auch bei reduzierter Oelmenge arbeitet der Schleuderbecher genau gleich. Der stufenlose Regulierungsbereich des Rotationsbrenners variiert je nach Brennergrösse von etwa 25 bis 100 % der vollen Leistung.

Beim Düsenbrenner kann die Oelmenge nicht reduziert werden, da sonst die Zerstäubung in der Düse infolge Druckabfall ungenügend würde. Wird bei diesem Brennertyp eine gewisse Regulierung verlangt, so werden vielfach zwei Düsentöpfe eingebaut, deren Leistungen verschieden sind und auf die verlangten Betriebsverhältnisse abgestimmt werden. Beispielsweise ist eine Düse dauernd im Betrieb, während die zweite Düse nur bei Spitzenbedarf an Wärme in Funktion tritt.

Jede Oelfeuerung muss mit den behördlich vorgeschriebenen Sicherheitsapparaten versehen sein. Dazu gehören u. a. Flammenwächter; hierfür werden heute fast ausschliesslich Photozellen verwendet. Ihre Aufgabe besteht darin, bei plötzlichem Abreissen der Flamme die Oelzufuhr abzustellen und die Anlage zu blockieren. Gegen Ueberschreitung des maximalen Druckes im System bzw. der maximalen Temperatur muss die Anlage auch gesichert sein.

Adresse des Verfassers: J. Schregenberger, Girtannerstrasse 25, St. Gallen.

DK 624.182

Schluss von Seite 249

$\gamma_m$  = mittleres Raumgewicht für die dynamische Druckberechnung bei maximalem Ueberdruck  $p$  in kg/m<sup>2</sup> über den Atmosphärendruck  $p_0 = 10\,000$  kg/m<sup>2</sup>

$\gamma_F$  = 600 bis 900, im Mittel 800 kg/m<sup>3</sup>: Maximal erreichbares Raumgewicht des Schnees

$$(II) \quad \gamma_{max} = \frac{\gamma_0 + \gamma_F \frac{p}{p_0}}{1 + \frac{p}{p_0}} \text{ nach Gl. (22)}$$

= maximales Raumgewicht nach Verdichtung durch den Ueberdruck  $p$  über den Atmosphärendruck  $p_0$

$\gamma_L \sim 10$  kg/m<sup>3</sup> = Raumgewicht der Luft

$\psi$  = Hangneigungswinkel

$\psi_0$  im Abrissgebiet

$\psi_u$  im Wirkungsgebiet

$\psi_m$  Mittlerer Neigungswinkel

$\xi \sim 400$  bis 600, im Mittel 500 m/s<sup>2</sup> = Geschwindigkeitskoeffizient für grobblockiges Terrain bis zu Rasenhängen.

$\mu \sim \frac{\gamma}{c}$  = Reibungskoeffizient der Bewegung;

## Über die Zerstörungskraft von Lawinen

Von Dr. A. Voellmy, Sektionschef der EMPA, Zürich

### IV. Zur Lawinen-Wirkung und ihrer Bekämpfung

#### 1. Vereinfachte Berechnung

##### A. Grundlagen

Einheiten [m], [kg], [s]

Bezeichnungen und Berechnungsformeln

$h$  = Vertikal gemessene, natürliche Schneehöhe, bzw. Höhe der abgleitenden Schneeschicht

$h'$  = Fliesshöhe der Lawine

$\gamma_0$  = Mittleres Raumgewicht der natürlichen Schneedecke, bzw. der abgleitenden Schneeschicht

$\gamma$  = Raumgewicht des fliessenden Schnees

$$(I) \quad \gamma_d = \gamma \frac{1 + \frac{p}{p_0}}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_F} \frac{p}{p_0}} \text{ nach Gl. (19)}$$

Raumgewicht infolge dynamischer Verdichtung auf den Druck  $p$  über den Atmosphärendruck  $p_0$

$$(I') \quad \gamma_m = \gamma \frac{1 + \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\gamma}{\gamma_F}\right) \frac{p}{p_0}}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_F} \frac{p}{p_0}} \text{ nach Gl. (21): } \gamma_m = \frac{\gamma + \gamma_d}{2}$$

Vorläufige Schätzung für Fliesslawinen:  $c \sim 1000$  bis  $2000$   $\text{kg/m}^3$ ; für Nasschnee-Lawinen und Staublawinen ist  $\mu \sim 0$  zu setzen. Klassifikation der Lawinen nach Abschn. III, 2 und [14].

### B. Geschwindigkeit und Fliesshöhen

$$(III) v^2 = \xi \cdot h' \left(1 - \frac{\gamma_L}{\gamma}\right) (\sin \psi - \mu \cos \psi) \text{ nach Gl. (4)}$$

a) Oberlawinen und Schneebretter:  $h' \sim h$ ,  $\gamma \sim \gamma_0$ .

$$b) \text{ Staublawinen: } \gamma = \frac{\gamma_L}{2g} \xi \cdot \sin \psi \text{ nach Gl. (10)}$$

$$h' \sim \frac{\gamma_0}{\gamma} h \text{ nach Gl. (9)}$$

$$\mu \sim 0$$

$$\text{hiermit wird } v^2 \sim 2gh \frac{\gamma_0}{\gamma_L} \text{ nach Gl. (11)}$$

$$< 2gH \quad (H = \text{vertikale Fallhöhe})$$

c) Bodenlawinen, Grundlawinen:

$$h' \sim 2,6h \text{ nach Gl. (16)}, \gamma \sim \gamma_0.$$

Für Nasschnee-Lawinen ist  $\mu \sim 0$ .

d) Geschwindigkeitsverteilung:

$$(IV) v' = v \left[ \frac{4}{3} - \left( \frac{z}{h'} \right)^2 \right] \text{ nach Gl. (26)}$$

1. Grenzfall:  $z = \text{Tiefe unter der Fliess-Oberfläche}$

2. Grenzfall:  $z = \text{Abstand von der halben Fliesshöhe}$   
(Staublawinen und Grundlawinen)

e) Einfluss von Gefällsabminderungen von  $\psi_0$  auf  $\psi_u$ :

$$(V) \frac{v_u}{v_0} = \frac{h'_0}{h'_u} \cong \sqrt[3]{\frac{\sin \psi_u}{\sin \psi_0}} \text{ nach Gl. (8)}$$

### C. Stau- und Druckwirkung

Druckhöhe für die Auftreff- bzw. Endgeschwindigkeit  $v_u$ :

$$(VI) H = h' + \frac{v^2}{2g} \left[ 1 - \left( \frac{v_u}{v} \right)^2 (1 - \sin \beta) \right]$$

nach Gl. (17) und (27)

Maximale Stauhöhe

$$H' = \frac{\gamma_m}{\gamma_{max}} H = \frac{p}{\gamma_{max}} \text{ nach Gl. (24)}$$

$\beta = \text{Winkel zwischen Stossrichtung und getroffener Fläche.}$

Horizontal gemessene Auslaufstrecke

$$(VII) s \sim \frac{v^2}{2g(\mu \cos \psi_u - \tan \psi_u + v^2/2g \cdot \gamma_L/\gamma_F)} \text{ nach Gl. (23)}$$

Spezifischer Stossdruck:

$$(VIII) p = \gamma_m \cdot H \text{ nach Gl. (25)}$$

$$\text{oder } p = \gamma_F \left[ \sqrt{\left( \frac{q}{2} \right)^2 + H \frac{p_0}{\gamma_F}} - \frac{q}{2} \right]$$

$$\text{worin } q = \frac{p_0}{\gamma} - \frac{H}{2} \left(1 + \frac{\gamma}{\gamma_F}\right)$$

Druckverteilung:  $p = \gamma_m (H - h^*)$

$h^* = \text{Höhe der betrachteten Stelle über dem Boden}$

In  $H$  kann für die betrachtete Stelle die Geschwindigkeitsverteilung nach Gl. (IV) berücksichtigt werden.

Vor kleinen Hindernissen (z. B. Stangen, Maste vom Durchmesser  $\varnothing$ ) kann sich die Schneeverdichtung nicht auswirken, es gilt nach Gl. (27')

$$p \sim \frac{\pi d}{4} \frac{\gamma v^2}{2g} \text{ kg/m}$$

$$(IX) P_V = \Sigma p \cdot F_H + \Sigma \mu \cdot p \cdot F_V \sim \mu^* \cdot p \cdot F_V^*$$

= Auftrieb auf in Fliessrichtung liegende, unterstaute (z. B. vorstehende) Flächenteile  $F_H$  und Reibungskraft auf getroffene Flächen  $F_V$ , beide Kräfte in möglicher Richtung des Schneeaufstaus oder Schneeeabflusses wirkend. Für normale Fassadenmauern von der Gesamtfläche  $F_V^*$  kann zur Berücksichtigung von Auftrieb und Reibung im Durchschnitt  $\mu^* = 0,3$  gesetzt werden. Bei steil abfallendem Gelände können je nach Verdichtungs- und Abflussmöglichkeit des Schnees nach unten wirkende Stoss- und Reibungskräfte auftreten.

Dynamischer Stossdruck auf ein von der Lawine überfahrenes, horizontales Dach; total pro m Breite:

$$(X) P = \gamma h' \left( \frac{h'}{2} + \frac{v^2}{g} \right) \tan \frac{\psi_u}{2}$$

Die Druckverteilung ist derart, dass der spezifische Staudruck  $\gamma \cdot v^2 \sin \psi_u/2g$  nicht überschritten wird. Zusätzlich wirkt der spezifische statische Druck:  $\gamma h'_u$  und die spezifische Reibungskraft  $\mu \cdot \gamma \cdot h'$ .

### 2. Nachrechnung örtlicher Feststellungen

A. Blons und Sonntag (vgl. Abschn. I, 2A)

a) Staublawinen, ohne Aufwirbelung der unteren Schneeschicht.

$$h = 1,6 \text{ m}, \gamma_0 = 150 \text{ kg/m}^3, \psi_m \sim 30^\circ.$$

$$\text{Nach Gl. (III, 10): } \gamma = 15,6 \text{ kg/m}^3$$

$$(III, 9): h' = 15,4 \text{ m}$$

$$(III, 11): v = 62 \text{ m/s}$$

$$(VI): H = 205 \text{ m}$$

$$(VIII): p = 3800 \text{ kg/m}^2$$

(Oertliche Feststellung:  $p = 3000$  bis  $5000 \text{ kg/m}^2$ )

$$(II): \gamma_{max} = 330 \text{ kg/m}^3$$

$$(VI): H' = 11 \text{ m}$$

$$(IX): p_V = 570 \text{ kg/m}^2$$

Durchschnitt für Fassade bis 6,5 m Höhe vom Boden:

$$p_V = 800 \text{ kg/m}^2$$

(Oertliche Feststellung:  $p_V = 650$  bis  $800 \text{ kg/m}^2$ )

b) Eschtobel-Bodenlawine

$$h = 1,6 \text{ m}, \gamma_0 = 150 \text{ kg/m}^3, \psi_m \sim 30^\circ; \mu = \gamma_0/1000, \beta = 60^\circ.$$

$$Gl. (III, 16): h' = 4,15 \text{ m}$$

$$(III): v = 27,5 \text{ m/s}$$

$$(VI): H = 38,5 \text{ m}$$

$$(VIII): p = 7350 \text{ kg/m}^2$$

(Oertliche Feststellungen nach Absch. I, 2, A, d:

$$p > 6000 \text{ kg/m}^2$$

B. Oberlawine Dalaas

Die Tatsache, dass der von der Lawine getroffene Eisenbahnnzug die dahinter liegenden Gebäudeteile zu schützen vermochte, beweist die geringe Fliesshöhe der Lawine. Bei den vorliegenden Schneeverhältnissen (Abschn. I) konnte es sich nur um eine Oberlawine handeln.

$$h = 1,6 \text{ m}, \gamma_0 = 150 \text{ kg/m}^3, \text{ Längenprofil Bild 2:}$$

im Abrissgebiet  $\Psi_0 = 45^\circ$ , im Wirkungsgebiet  $\psi_u = 13^\circ$ , für Oberlawinen  $\mu \sim \gamma_0/2000$

$$Gl. (III, a) und (V): h_u = 2,35 \text{ m}$$

$$(III): v = 13,5 \text{ m/s}$$

$$(VI): H = 11,3 \text{ m}$$

$$(VIII): p = 1800 \text{ kg/m}^2$$

(Oertliche Feststellung nach Abschn. I, 2, B:  $p = 1200$  bis  $2400 \text{ kg/m}^2$ )

$$(II): \gamma_{max} = 250 \text{ kg/m}^3$$

$$VI: H' = 7,3 \text{ m}$$

(Oertliche Feststellung nach Abschn. I, 2, B:  $H' \sim 7 \text{ m}$ )

Der Auftrieb der durch Fenster und Türen in die Parterräume eingedrungenen Schnees (Bild 12) wirkte auf eine totale Horizontalfläche von ähnlicher Grösse, wie die getroffene Fassadenfläche; der mittlere Auftrieb pro  $\text{m}^2$  getroffene Fassadenfläche erreichte nach Gl. (X):  $p_v = p/2 = 900 \text{ kg/m}^2$  (Oertliche Feststellung:  $p_v = 500$  bis  $1000 \text{ kg/m}^2$ )

Im Bahngebiet mit Böschungsterrasse, Gräben, schneegeräumten Schienen usw. wird der mittlere Koeffizient der Bodenreibung etwa  $\mu = 1/5$  erreichen. Hierfür wird die Auslaufstrecke im horizontalen Bahnhofgebiet bei Freiheit von Hindernissen nach Gl. (VII):  $s \sim 45 \text{ m}$ . Nach Aufprall der Lawine auf den Eisenbahnnzug musste sich diese bis zur Erzeugung der Kippkraft ( $850 \text{ kg/m}^2$  für die Lokomotive) stauen und hat hierbei nach Gl. (17) ihre Geschwindigkeit von  $13,5$  auf  $9 \text{ m/s}$  verringert. Vor dem Aufprall betrug die kinetische Energie pro  $\text{m}^3$  Lawinenschnee  $\gamma \cdot v^2/2g = 1350 \text{ mkg/m}^3$ , das Umwerfen der Lokomotive verzehrte die Bewegungsenergie von etwa  $20 \text{ m}^3$  Lawinenschnee. Die hierbei erzeugte Aufstauung verursacht auch für den nachfolgenden Lawinenschnee eine Geschwindigkeitsreduktion von der oben

angegebenen Größenordnung. Für das Weiterschieben der umgeworfenen Lokomotive ist nach Abschnitt I eine Druckkraft von etwa  $400 \text{ kg/m}^2$  erforderlich. Die hierdurch hervorgerufene Geschwindigkeitseinbusse ergibt sich nach dem Impulssatz

$$p = \frac{\gamma}{g} v \Delta v \quad \text{zu } \Delta v = 3,3 \text{ m/s}$$

Für die verbleibende Geschwindigkeit von  $5,7 \text{ m/s}$  ergibt Gl. (VII) mit  $\mu = 1/5$  die Auslaufstrecke  $s \sim 8 \text{ m}$ . Die obigen Berechnungsergebnisse stehen in Einklang mit den Beobachtungen (Abschnitt I).

### C. Schweizerische Erfahrungen

Gesamthaft betrachtet, führt die Untersuchung der verwertbaren Unterlagen von der Katastrophe 1951 zu Kräften ähnlicher Größenordnung, wie diese bei der Katastrophe 1954 in Vorarlberg festgestellt wurden (vgl. Abschnitt I). Es wird deshalb im folgenden nur auf wenige typische Fälle näher eingetreten, welche die Wirkung erheblich grösserer Kräfte erkennen lassen oder eine Ueberprüfung spezieller Berechnungen ermöglichen.

Ein Unterschied gegenüber den Verhältnissen in Vorarlberg besteht darin, dass bei den schweizerischen Schadensfällen das Gelände meist nach einer relativ kurzen Rampe schwacher Neigung in steiles, z. T. felsiges Gebiet bis zu den meist hoch gelegenen Abrisszonen ansteigt. Der steile Lawinen-Niedergang verursachte oft beträchtliche, nach unten wirkende Stosskräfte [vgl. Bemerkung zu Gl. (IX)], wie dies z. B. in Vals und Andermatt beobachtet wurde.

#### a) Andermatt 1951 [11]

Über dem Verbauungsgebiet am Kirchberg angebrochene Oberlawine.

$h = 2,2 \text{ m}$ ,  $\gamma = 150 \text{ kg/m}^3$ ,  $\psi_0 = 34^\circ$ ,  $\psi_m = 24^\circ$ , Talbodenneigung  $\sim 5\%$  ( $\psi_u \sim 3^\circ$ ),  $\mu = \gamma/2000$ .

Gl. (V):  $h_u = 2,45 \text{ m}$

(III):  $v = 20,5 \text{ m/s}$

(VIII):  $p = 4000 \text{ kg/m}^2$

(27'): Druck auf Telephonstangen  $\varnothing 20 \text{ cm}$ :

$P = 625 \text{ kg/m}$

$$\text{Biegemoment } M = P \frac{h^2 u}{2} = 1900 \text{ mkg}$$

$$\text{Beanspruchung } \sigma = \frac{M}{W} = 240 \text{ kg/cm}^2$$

(VII) Auslaufstrecke  $s = 380 \text{ m}$

Oertliche Beobachtungen [11]: Obschon die im Lawinenzug stehenden Telephonstangen zumeist intakt blieben (die Bruchspannung von etwa  $400 \text{ kg/cm}^2$  wurde nicht erreicht), wurden doch Trümmer von den zerstörten Bauten bis  $350 \text{ m}$  weit in die Talebene hinausgetragen.

#### b) Bruch des Tragmastes 37 der 50 kV-Leitung Davos—Filisur im Jahre 1951 [15]

Konstruktion nach Plänen MC (9706/82); Masthöhe 19 Meter. Winkel zwischen Wirkungsrichtung der Lawine und Leitungskabel  $\psi_s \sim 30^\circ$ . Natürliche Neuschneehöhe  $h = 1 \text{ m}$ ,  $\gamma_0 = 200 \text{ kg/m}^3$ . Abrissgebiet 30 %, Wirkungsgebiet 20 % Neigung.

(III, b):  $\gamma_u = 6 \text{ kg/m}^3$ ,  $h_u = 33 \text{ m}$  (III):  $v = 56,5 \text{ m/s}$

Der Schneedruck der Staublawine wirkte auf die ganze Masthöhe.

Druck auf die vier Stahlrohre  $\varnothing 10 \text{ cm}$  bei Berücksichtigung der Geschwindigkeitsverteilung nach Gl. (IV):

$$P = 4 \frac{\pi d}{4} \frac{\gamma v^2}{2 g} = 300 \text{ kg/m}$$

Moment aus Schneedruck  $M = 50000 \text{ mkg}$

Moment in Längsrichtung der Lawine  $M \cdot \cos \beta = 44000 \text{ mkg}$

Nachrechnung der Konstruktion: Der mit rd. 2,5-facher Sicherheit für die normalen Beanspruchungen konstruierte Mast wies in Leitungsrichtung ein rechnerisches Bruchmoment von rd.  $20000 \text{ mkg}$ , bezogen auf den Mastfuss auf. Durch den Lawinendruck wurde die Bruchlast um rund das doppelte Mass überschritten.

#### c) Lawinenunfall Zuo 1951 [15]

$h = 1,23 \text{ m}$ ,  $\gamma_0 = 282 \text{ kg/m}^3$ ,  $\psi_m = 24^\circ$ , im Abrissgebiet  $\psi_0 = 29^\circ$ , im Talboden  $\psi_u \sim 10^\circ$  (Mittelwert).

Staublawine:

Gl. (III, 10):  $\gamma = 15 \text{ kg/m}^3$

(III, 9):  $h' = 23 \text{ m}$

(V):  $h_u = 24,5 \text{ m}$

(III, 11):  $v = 75 \text{ m/s}$

(VI):  $H = 302 \text{ m}$

(VIII):  $p = 5800 \text{ kg/m}^2$

Die Konstruktionspläne eines zerstörten, massiven Steinhauses lassen auf eine Bruchlast von etwa  $5000 \text{ kg/m}^2$  schliessen.

Gl. (VII):  $s \sim 1000 \text{ m}$

Die Staublawine überquerte den Talboden und erreichte etwa den gegenüberliegenden Hangfuß. Die Reichweite des kompakteren Lawinenkerns ist geringer und wird zudem durch die getroffenen Hindernisse abgebremst.

#### d) Waldlawine von Glaris 1951 [11]

In Glaris ist eine Lockerschneelawine durch anfänglich steilen Waldbang ( $\psi_0 = 36^\circ$ ) gerisselt, und hat erst in einem darunter liegenden, flacheren Waldgelände ( $\psi = 15$  bis  $25^\circ$ ) Fichten bis zu  $15 \text{ cm}$  Stammdurchmesser gebrochen oder umgeworfen. Trotz dieser schwachen Wirkung hat die Lawine in der flachen Wiese rd.  $100 \text{ m}$  vom Waldrand noch eine Scheune zerstört.

Diese Erscheinungen sind erklärlich durch Abrieseln einer Neuschneeschicht geringer Stärke ( $\sim 0,5 \text{ m}$ ) und sukzessive Ausbildung einer kleinen Staublawine. Gl. III: (9) und (10) ergibt für stärkere Hangneigungen grössere Raumgewichte und geringere Fliesshöhen, während nach Gl. III (11) die Geschwindigkeit erhalten bleibt. Bei Annahme eines Neuschnee-Raumgewichts von  $50$  bis  $100 \text{ kg/m}^3$  lässt sich nach Gl. VIII nachweisen, dass im ersten, steilen Steilhang keine Bäume zerstört werden, während dies bei den daran anschliessenden, flacheren Waldhängen auftrat. Die Geschwindigkeitseinbusse durch den Widerstand einer Reihe von Bäumen vom Durchmesser  $\varnothing$  und Abstand  $a$  ergibt sich mit Gl. (27') nach dem Impulssatz

$$P = \frac{m}{\Delta t} \Delta v$$

$$\text{oder } \frac{\gamma v^2}{2 g} \frac{\pi d}{4} h' = a h' v \frac{\gamma}{g} \Delta v$$

$$\text{zu } \Delta v = \frac{\pi d}{8 a} v$$

Nach Durchfahren von  $n$  Baumreihen beträgt die Geschwindigkeit noch

$$v_u = \left(1 - \frac{\pi d}{8 a}\right)^n v$$

z. B. beträgt die Geschwindigkeit nach Durchfahren von 100 Reihen von Bäumen von durchschnittlich  $15 \text{ cm}$  Durchmesser und je  $3 \text{ m}$  Abstand längs und quer noch rund  $1/6$  der Anfangsgeschwindigkeit. Für die Zerstörung einer Scheune genügt eine geringe Auf treffgeschwindigkeit; die Reichweite von Staublawinen in ebenem Gelände ist nach Gl. (VII) sehr gross.

#### e) Staublawine Mauvoisin

Bei Mauvoisin lag im Februar 1954 eine Schneedecke von  $1,76 \text{ m}$  Stärke und rd.  $100 \text{ kg/m}^3$  mittlerem Raumgewicht. In etwa  $2500 \text{ m}$  Höhe ü. M. ist eine Lawine losgebrochen, hat sich am Felshang von durchschnittlich  $\psi_0 = 47^\circ$  Neigung zur Staublawine ausgebildet und ist nach Auf treffen auf den Grund des verhältnismässig engen Tobels (Sohle  $1740 \text{ m}$  ü. M.) am Gegenhang von durchschnittlich  $\psi_u = 36^\circ$  Neigung wieder bis zur Höhe  $1960 \text{ m}$  ü. M. hinauf getrieben worden.

Nach Gl. (III, 11) betrug die Maximalgeschwindigkeit  $v = 53 \text{ m/s}$ . Die horizontal gemessene Auslaufstrecke beträgt nach Gl. (VII):  $s = 150 \text{ m}$ . Am Gegenhang stieg also die Staublawine bis zur Höhe  $s \cdot \tan \psi_u = 110 \text{ m}$  über die Talsohle hinauf, der oberste Teil der Staublawine noch um die Stauhöhe  $v^2/2g = 140 \text{ m}$  höher, somit erreicht die rechne-

rische Gesamthöhe der Schneestaubwolke 250 m, d. h. sie erreichte im höchsten Punkt die Kote 2000 m ü. M., was etwa mit der Beobachtung übereinstimmt. Staublawinen sind im Grenzgebiet der höchsten Aufstauung infolge Abbau der kinetischen Energie verhältnismässig ungefährlich.

#### f) Schneedruckmessungen an einem Bremsbock (SLF)

Geländewinkel  $\psi_0 = 45-50^\circ$ ,  $\psi = 24^\circ$   
 Nassschnee:  $\gamma_0 = 400 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu \sim 0$ ,  $h = 0,7 \text{ m}$   
 Gl. (III):  $v = 22 \text{ m/s}$   
 Gl. (VIII):  $p = 12000 \text{ kg/m}^2$ .  
 Gemessener Maximaldruck:  $p = 11825 \text{ kg/m}^2$ .

#### g) Erfahrungen mit Stützverbauungen

Von unzähligen Konstruktionen, die dem Schneedruck Stand gehalten haben, wird hier auf drei nach bisherigen Belastungsannahmen mit verschiedenen Materialien konstruierten Stützverbauungen hingewiesen, die ausnahmsweise Schaden erlitten und die dank ihrer statisch klaren Konstruktion für zwei- bis dreifache Sicherheit eine Abschätzung der aufgetretenen Lasten erlauben. Der Neuschnee ( $\gamma_0 \sim 200 \text{ kg/m}^3$ ,  $\mu \sim \gamma_0/2000$ ) lag 1,5 m hoch. Etwa 50 m über den Werken wurden nach ihrer Beschädigung Schneebrettanrisse festgestellt, im ersten Fall von 50 cm, im zweiten Fall von 1 m Höhe, im dritten Fall lagen bis 10 m hohe Schneeverwehungen über dem betroffenen Werk.

1. Stützkonstruktion für  $1,2 \text{ t/m}^2$  Schneedruck mit  $d_0 = 3 \text{ m}$  Werkhöhe, senkrecht zum Hang von 65 bis 70 % Neigung gemessen.

Schneebrett von  $\frac{1}{2} \text{ m}$  Fliesshöhe:

$$\begin{aligned} \text{Gl. (III): } v &= 11 \text{ m/s} \\ \text{Gl. (VIII): } p &= 1,4 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Oberlawine von  $1,5 \text{ m}$  Fliesshöhe:

$$\begin{aligned} \text{Gl. (III): } v &= 20 \text{ m/s} \\ \text{Gl. (VIII): } p &= 4,5 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Nach Gl. (3) und (5) lässt sich nachweisen, dass die Anlaufstrecke von 50 m genügt, um die obigen Geschwindigkeiten zu erreichen.

2. Stützkonstruktion für  $3,4 \text{ t/m}^2$  Schneedruck mit  $d_0 = 2,5 \text{ m}$  Werkhöhe, senkrecht zum Hang von 80 % Neigung gemessen.

Schneebrett von  $1 \text{ m}$  Fliesshöhe:

$$\begin{aligned} \text{Gl. (III): } v &= 16,5 \text{ m/s} \\ \text{Gl. (VIII): } p &= 3 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Oberlawine von  $1,5 \text{ m}$  Fliesshöhe:

$$\begin{aligned} \text{Gl. (III): } v &= 21 \text{ m/s} \\ \text{Gl. (VIII): } p &= 5 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

3. Stützkonstruktion für  $1,9 \text{ t/m}^2$  Schneedruck bei  $d_0 = 3 \text{ m}$  Werkhöhe, senkrecht zum Hang von 60—80 % Neigung gemessen. Die Konstruktion gab nach, weil ausserordentliche Schneehöhen eine Ueberschreitung des vorgesehenen statischen Kriechdrucks bedingten. Die Entstehung der ausgedehnten, bis 10 m hohen Schneeverwehungen ist wahrscheinlich durch die Verbauungen begünstigt worden, sie waren vorher an dieser Stelle nie beobachtet worden.

Maximaler Kriechdruck [16] für  $d = 3 \text{ m}$ ,  $\gamma_0 = 400 \text{ kg/m}^3$ , Druckkonzentrationsfaktor  $k = 3$  für Randelemente:

$$\begin{aligned} p_{max} &\sim k \cdot \gamma_0 \cdot d \cdot \sin \psi = 1,8 \text{ t/m}^2, \\ \text{bei } h = 10 \text{ m: } p_{max\ max} &\sim k \gamma_0 h \sin \psi \cdot \cos \psi \sim 5,2 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

Der Kriechdruck kann den oberen Grenzwert des Ranskineschen Spannungszustandes in keinem Fall überschreiten; dieser lässt sich nach [17] für den letztgenannten Fall bei Annahme eines inneren Reibungswinkels  $\psi_0 \sim 30^\circ$  zu  $p_{max} = 6 \text{ t/m}^2$  ermitteln.

Nach Erreichen des Grenzzustandes beginnt der Schnee sich vor der Stützwand aufzustauen und kann auf diese nach oben gerichtete Kräfte ausüben. Das Kriechen ist nichts anderes als ein sehr langsames, laminares Fliessen.

In allen oben besprochenen Fällen wurde die Wirkung einer Zugkraft in den oberen Hauptträgern der Verbauungsstützen durch Abheben der bergseitigen Fundamente und deren Verschiebung beobachtet. Diese nach oben gerichteten Kräfte sind durch Auftrieb bei Aufprall kleiner Schneerutsche verständlich (Gl. IX), sie treten aber im dritten Fall aus statischen Gründen auch infolge Kriechdruck auf.

Es war nicht möglich, alle Einzelheiten der besprochenen Beispiele mit der erwünschten Vollständigkeit zu beschaffen; die Nachrechnungen dürften aber trotzdem die nachgewiesenen Zusammenhänge nicht bezweifeln lassen und mögen als Anregung zu weiteren Auswertungen von Lawinenbeobachtungen dienen.

#### 3. Folgerungen für Schutzkonstruktionen

a) Die dargelegte Untersuchung ermöglicht die notwendige, systematische Sammlung weiterer Erfahrungen, insbesondere über den Fliess- und Reibungswiderstand der Lawinen bei wechselnden Witterungs-, Schnee- und Untergrundverhältnissen. Die vereinfachten Gleichungen (I) bis (X) erlauben nach erbrachten Belegen schon jetzt eine zutreffende Abschätzung der Lawinenwirkungen, denen Bauten unter gegebenen Verhältnissen ausgesetzt sind und damit die Konstruktion genügend lawinensicherer Schutz- oder Neubauten. Eine Verstärkung bestehender Gebäudekonstruktionen, speziell auch zur Aufnahme nach oben gerichteter Kräfte, kann die Sicherheit in lawinengefährdetem Gebiet beträchtlich erhöhen. Bei der Stosswirkung der Lawinen treten nach Massgabe von Gl. (IX) in der Regel beträchtliche, nach oben gerichtete Kraftkomponenten auf. Der Widerstand gegen Lawinenwirkungen ist für Bauten irgendwelcher Art jeweils in erster Linie durch ihre genügende Kippsicherheit bedingt, die ihrerseits, je nach Konstruktionssystem, bergseitige Verankerungen im Baugrund erfordert. Für die Beständigkeit irgendwelcher Schutzbauten ist eine genügende Ableitung des Oberflächen-Schmelz- und Sickerwassers wichtig.

b) Die Konstruktionselemente lawinensicherer Schutz- und Neubauten müssen dem Stossdruck Gl. (VIII) und (X) des Lawinenschnees widerstehen. Unterlagen für die einer Berechnung zu Grunde zu legenden Schneehöhen und -Raumgewichte sind in den S. L. F.-Berichten [1] zu finden.

In der Regel ist für  
 Bildung von Staub- und Oberlawinen: Neuschneehöhe  $> 1 \text{ m}$   
 Gefährliche Staub- und Oberlawinen: Neuschneehöhe  $> \frac{3}{2} \text{ m}$   
 Grundlawinengefahr: Gesetzter Schnee  $> \frac{1}{2} \text{ m}$   
 Katastrophengefahr: Neuschneehöhe  $> \frac{5}{2} \text{ m}$   
 Gesetzter Schnee  $> 1 \text{ m}$   
 wobei für Staublawinen:  $\gamma_0$  bis  $200 \text{ kg/m}^3$   
 Oberlawinen:  $\gamma_0$  bis  $300 \text{ kg/m}^3$   
 Bodenlawinen:  $\gamma_0$  bis  $400 \text{ kg/m}^3$

Da die Lawinenbahnen nicht selten von der steilsten Fall-Linie abweichen, müssen Schutzbauten und Verbauungen genügende Seitensteifigkeit aufweisen.

Den lokalen Stossbeanspruchungen durch vom Lawinenschnee mitgerissene Trümmer, Steinschlag oder abrollendem Schnee widerstehen am besten Konstruktionselemente mit grossem Brucharbeitsvermögen oder grosser Masse. Trümmerstücke werden von einer Lawine mitgerissen, sobald die Stosskraft des Lawinenschnees mit Berücksichtigung des Auftriebs zum wiederholten Kippen des Stücks oder Steins ausreicht. Lawinenschnee vom Raumgewicht  $\gamma$  und der Geschwindigkeit  $v$  kippt einen prismatischen Stein vom Raumgewicht  $\gamma_1$ , der Grundfläche  $a \cdot b$  und der Höhe  $c$ , sobald

$$v^2 > 2g \frac{b^2}{c} \left( \frac{\gamma_1}{\gamma} - 1 \right)$$

wobei  $b$  die Breite, d. h. das kleinste Mass der Grundfläche bedeutet. Der Stein wird durch den Auftrieb gehoben, sobald

$$v^2 > 2gc \left( \frac{\gamma_1}{\gamma} - 1 \right)$$

wobei  $c$  die kleinste Abmessung des Stücks bedeutet. Die für das Mitreißen der Trümmer aufgewendete Arbeit kann in der Regel vernachlässigt, d. h. die Trümmergeschwindigkeit kann der Fliessgeschwindigkeit der Lawine gleichgesetzt werden. Ueber die Stossbeanspruchung von Baukonstruktionen enthält der EMPA-Bericht Nr. 136 Angaben [18], die auch zur Beurteilung der Steinschlag-Wirkung dienen können. Die Geschwindigkeit eines den Hang hinunter rollenden Steines oder einer abrollenden Schneekugel ergibt sich aus der Gleichsetzung von kinetischer und potentieller Energie zu:

$$v = 0,845 \sqrt{2g H^*}$$

wobei  $H^*$  die vertikal gemessene, totale Fallhöhe bedeutet. Für  $\operatorname{tg} \Psi > 3,5 \mu$  kann Gleiten eintreten. Die Geschwindigkeit ist unabhängig von Grösse und Material der abrollenden Kugel. Der maximale Stossdruck einer Schneekugel vom Durchmesser  $\varnothing$  und vom Raumgewicht  $\gamma$  kann für ein schichtenweises Abbremsen der Geschwindigkeit nach dem Impulsatz geschätzt werden:

$$P dt = \frac{\pi \varnothing^2}{4} \frac{\gamma}{g} v dt \Delta v$$

d. h., da  $dt$  beliebig klein gewählt werden kann:

$$P_{\max} \sim \frac{\pi \varnothing^2}{4} \frac{\gamma}{g} v^2$$

Beispielsweise ergibt sich für das Auftreffen einer Schneekugel aus 50 m Distanz bei 60—80 % Hangneigung auf die in Abschnitt IV, 2, g besprochenen Verbauungen eine maximale Stosskraft von 6 bis 7 t bei  $\varnothing \sim 1$  m.

c) Unmittelbar vor dem zu schützenden Bau errichtete Spaltkeile sind am wirksamsten gegen alle Lawinenarten; ihre Höhe ist so gross und ihr Keilwinkel  $2\beta$  so gering zu wählen, dass die Stauung des Lawinenschnees nach Gl. (VI) das Schutzobjekt nicht mehr überfluten kann. Die Schutzwirkung gegen Staublawinen ist mit Berücksichtigung der seitlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit Gl. (1) und der Wurfmekanik für freie Strahlen zu überblicken. Staublawinen lagern jeweils unmittelbar hinter Schutzkonstruktionen durch Wirbelbildung ohne grosse Druckwirkung viel Schnee ab. Die Flügelmauern der Spaltkeile müssen entsprechend der seitlichen Ausbreitungsgeschwindigkeit Gl. (1) und (2) der Lawinen genügend lang sein. Derartige Spaltkeile haben sich nach den bisherigen Erfahrungen bewährt, sofern sie genügend hoch ausgeführt wurden [1, 3, 5]. Die Spaltkeile können kleiner ausgeführt werden, wenn sich deren Schutzwirkung auf das Erdgeschoss beschränkt, dessen Decke dann einem allfälligen Ueberfahren durch eine Lawine standhalten muss. Zum Schutz von Personen auf Verkehrswegen sind bergseitig genügend nah angeordnete Schutznischen zweckmäßig.

d) In beträchtlicher Distanz von den zu schützenden Objekten angeordnete Ablenkmauern oder Prellböcke schützen nur bei genügender Höhe in beschränktem Mass gegen Bodenlawinen und Oberlawinen; nach Hinterfüllung dieser Schutzbauten mit Schnee wird der durch sie erzeugte Geschwindigkeitsverlust der Lawinen stark herabgesetzt, wie auch die Katastrophe von Airolo zeigte. Immerhin verursacht das Auftreffen eines freien Strahls auf eine horizontale Fläche jeweils eine Aufteilung der vertikalen Geschwindigkeitskomponente und die plastische Kompressibilität bestimmter Schneearten bei jeder Stauung oder Umlenkung der Lawine merkliche Energieverluste, die sich anhand der Gl. (I) und (II) überblicken lassen. Die kinetische Energie des Lawinenschnees ist gleich dem Staudruck  $p_s = \gamma v^2 / 2g$  mkg/m³, bei einer Ablenkung der Lawine um den Winkel  $\beta$  entsteht dort der Druck  $p \sim p_s \sin \beta$ . Hatte der Schnee vor der Ablenkung das Raumgewicht  $\gamma_0$ , so wird dieses durch  $p$  auf das Raumgewicht  $\gamma_d$  erhöht, das bei genügend langer Einwirkung von  $p$  erhalten bleibt. Die bleibende Kompressionsarbeit beträgt

$$p dV \sim p \left(1 - \frac{\gamma_0}{\gamma_d}\right) \text{ in mkg/m}^3$$

und die Verringerung der kinetischen Energie pro m³ Schnee  $p dV$ . Die Geschwindigkeit  $v_1$  nach der Ablenkung ergibt sich aus

$$\gamma v_1^2 / 2g = p_s - p dV$$

Zur Ueberprüfung des zeitabhängigen Verdichtungsgesetzes sind dynamische Versuche notwendig. Orientierende Modellversuche haben bereits auf die beträchtliche Energieeinbusse der Lawinen bei Ueberfahren von Terrassen in genügender Grösse und Zahl hingewiesen (vgl. auch Gl. VI).

Die Erfahrung bestätigt das allgemeine Postulat des Impuls-Satzes: Ohne Druckaufnahme keine Energievernichtung — und umgekehrt.

Die Ablenkung einer Lawine durch Leitmauern ist um so sicherer, je kleiner der Winkel zwischen denselben und der Strömungsrichtung der Lawine ist. Besser als eine quer zum Lawinenzug angeordnete Mauer grosser Länge wirken gestaffelt hintereinander angeordnete, kurze Prellmauern, da

dadurch die einheitliche Fliessbewegung der Lawine verhindert wird. Hierbei kann die totale Werklänge reduziert werden, diese Einsparung wird zweckmässig in grössere Höhe und Stärke der Einzelwerke umgesetzt, soweit allein technische Gesichtspunkte massgebend sind.

e) Keilförmige Prellböcke werden weniger beansprucht, sind aber auch weniger wirksam als rechtwinklig zum Lawinenlauf angeordnete Prellwände. Alle diese Prell-Konstruktionen sind zum Schutz dahinterliegender Gebäude gegen Staublawinen wenig wirksam. Erfahrungen weisen darauf hin, dass eine ungenügende Grösse der Werke nicht durch deren grössere Zahl aufgewogen werden kann, ob es sich hierbei um Prell- und Ablenkbaute oder um Verbauungen im Abrissgebiet hande. Wenn letztere nicht genügend hoch sind, um die Entstehung von Oberlawinen zu verhindern, können sie lawinenauslösend wirken [19], besonders, wenn sie in ihrem Gebiet die Bildung hoher Schneeverwehungen begünstigen.

Verbauungen im Abrissgebiet der Lawinen ergaben bis jetzt keinen sicheren Schutz gegen Lawinenbildung in ihrem Gebiet, da sie früher meist zu wenig hoch und zu wenig eng angeordnet wurden [1], [3]. Die modernen Verbauungen haben sich aber bei den jüngsten Katastrophenperioden im allgemeinen bewährt.

Die im Abschnitt IV, 2 besprochenen Erfahrungen zeigten, dass schon kleine Schneerutsche beträchtliche dynamische Stoss- und Auftriebskräfte auf Verbauungen ausüben können. [Gl. (3), (5), (VIII), (IX)]. Auch der Kriechdruck kann in seinem Endzustand, nach Erreichen des oberen Grenzwertes für das Gleichgewicht durch Seitendruck, grundsätzlich nach oben gerichtete Komponenten erlangen, die allerdings bis jetzt noch nicht gemessen, wohl aber beobachtet werden konnten [16]. Es ist zum mindesten nicht ratsam, die Sicherheit statischer Berechnungen auf eine nach unten wirkende Komponente des Kriechdrucks abzustellen. Bisher ausnahmsweise beobachtete Schäden von Stützverbauungen verschiedener Art und in verschiedenem Material wurden in erster Linie durch Abheben und Verschieben der bergseitigen Fundamente verursacht. Eine wesentliche Erhöhung der Sicherheit ist durch eine Verbindung des bergseitigen Fundamentes des Trägers und des talseitigen Fundamentes der Stütze durch Druckriegel zu erwarten. In Sonderfällen, welche den Gültigkeitsbereich der bisherigen Kriechuntersuchungen [6] [7] überschreiten, kann der maximal mögliche Kriechdruck nach den Methoden der Berechnung des passiven Erddrucks abgeschätzt werden [17, 20]. Der Abstand der Einzelwerke von Verbauungen ist durch die Bedingung beschränkt, dass zwischen Schnee und Boden ein Reibungswinkel  $\varphi$  nicht überschritten werden sollte, welcher einer Hangneigung  $\psi_R \sim \varphi \sim 25^\circ$  entspricht, unter der noch keine Lawinenablösungen beobachtet werden. Eine Ueberschreitung dieses Reibungswinkels wird grössere Gleitbewegung des Schnees verursachen, die im Verlauf des Kriechens zur Ueberschreitung des Grenzwertes für das innere Gleichgewicht des Schnees und zur Aufstauung desselben vor der Stützwand führen kann, was gefährliche, nach oben wirkende Kräfte hervorruft (Bild 30). Wenn die etwa senkrecht zum Hang gestellte Stützwand für den Kriechdruck  $K \text{ kg/m}^2$  des Schnees vom Raumgewicht  $\gamma_{\max} \text{ kg/m}^3$  bemessen ist, darf, nach obiger Bedingung und geometrischer Betrachtung des Gleichgewichts, der in Hangneigung  $\psi$  gemessene Abstand  $L$  der Einzelwerke folgenden Wert nicht überschreiten:

$$L < \frac{K}{\gamma_{\max}} \frac{\cos \varphi}{\sin(\psi - \varphi)}$$

Wenn nach [7] gesetzt wird:  $K_{\max} = \gamma_{\max} \cdot d_0 \cdot \sin \psi$ , wo  $d_0$  die senkrecht zum Hang gemessene Werkhöhe bedeutet, so ist

$$L < \frac{d_0}{1 - \frac{\operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg} \psi}}$$

Auch das oberste Werk sollte höchstens einen Abstand  $L$  von einer darüber liegenden Geländeabflachung (Grat oder Terrasse mit  $\psi_R \sim \varphi$ ) aufweisen.

Es ist nicht nur eine wirtschaftliche Frage, ob die in diesem Bericht nachgewiesenen Ueberlastungen von Verbau-Konstruktionen bei der Dimensionierung zu berücksichtigen sind. Solche Ueberlastungen treten wohl selten auf, aber kaum seltener als das Zusammentreffen der ungünstigsten Schnee-

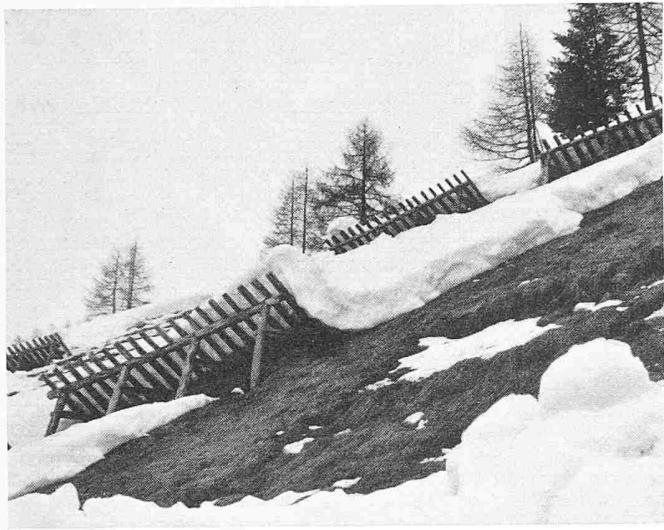


Bild 30. Auf Rechen aufgeschobene Schneeschicht. Im Vordergrund und im Hintergrund Schneeschicht bis auf Grasnarbe abgeglitten. Photo SLF, M. Schild.

und Witterungsverhältnisse, die jeweils nach Jahrzehnten wieder zu einer typischen Katastrophen-Situation führen, gegen welche sich Verbauungen und Schutzbauten eines Tages zu bewähren haben.

\*

Die mit dem vorliegenden Aufsatz bekanntgegebenen Untersuchungen wurden durch Angaben des Eidg. Oberforstinspektorate und der Forstinspektoren der Kantone Graubünden und St. Gallen sowie von der Abt. für Wildbach- und Lawinenverbauung, Vorarlberg (Hofrat Wagner und Forstingenieur Brantner) wesentlich gefördert; von grossem Wert war zudem die durch Dr. M. de Quervain freundlich bewilligte Mitwirkung des S. L. F. (meteorologische Unterlagen von Dr. Th. Zingg und Auswertung der Messungen von Dr. M. Oechslin durch Ing. A. Roch).

**Berichtigung.** In Nr. 17, S. 249, Spalte rechts, soll Gl. (30) lauten wie folgt:

$$(30) \quad P = 2\gamma' h' \left( \frac{v^2}{g} + \frac{h'}{2} \right) \sin \frac{\vartheta}{2}$$

#### Literaturverzeichnis

- [14] «Die Alpen» 1955, März/April: Abhandlungen über Lawinen von M. Oechslin, R. U. Winterhalter, M. de Quervain, E. Rohrer, Th. Zingg, M. Schild, A. Roch, P. Favre, E. Correvon, L. Henchoz, Ch. Salisbury und speziell R. Haefeli, M. de Quervain und Mitarbeiter (SLF): Gedanken und Anregungen zur Benennung und Einteilung von Lawinen.
- [15] H. Jenny: Der Lawinenwinter 1950/51 im Kanton Graubünden, Nr. 6 von [3], sowie mündliche Mitteilungen vom genannten Forstinspektor des Kantons Graubünden und von Dr. J. Killer, Motor-Columbus, Baden.
- [16] M. de Quervain und R. Figilister: Zum Schneedruckproblem, Davos 1954.
- [17] A. Voellmy: Eingebettete Rohre, Zürich 1937.
- [18] A. Voellmy: Tonnengewölbe, Zürich 1942.
- [19] Beiheft 2 zur «Zeitschrift für das Forstwesen» 1928.
- [20] R. Haefeli: Zur Erd- und Kriechdrucktheorie, SBZ Bd. 124, S. 256 und 267, Nov. 1944.

Adresse des Verfassers: Dr. A. Voellmy, Sektionschef der EMPA, Leonhardstrasse 27, Zürich 1.

## MITTEILUNGEN

**«Kleine Bahnverlegung» zur Lösung des Badener Verkehrsproblems.** Am 31. Juli letzten Jahres (S. 541) haben wir hier dieses Projekt zur Darstellung gebracht. Seither ist nochmals eine andere Lösung in die Diskussion geworfen worden, die sich aber nicht als vorteilhafter erwiesen hat. Infolgedessen hat der Regierungsrat des Kantons Aargau das schon 1954 von der Stadt Baden durch Volksabstimmung gutgeheissene Projekt am 4. März einstimmig genehmigt, und am 31. März hat Bundesrat Etter als Vorsteher des Eidg. Departementes des Innern die Bundessubvention zugesichert. Damit ist für die Beschlussfassung im Aarg. Grossen Rat und

für die Ausführung der Bauten der Weg frei, und es handelt sich nur noch um die Ausarbeitung des Bauprojektes, das vermutlich Elemente beider Varianten S und K aufweisen wird. Die Baukosten dürften zwischen 22 und 24 Mio Fr. liegen, wovon auf die SBB 4,5 und auf den Bund 8 Mio entfallen. In den Rest teilen sich der Kanton Aargau und die Stadt Baden. Diese Verkehrsverbesserung stellt eine Sofortlösung dar, die auf alle Fälle dringend nötig ist und die einer grossen Lösung im Rahmen des schweizerischen Hauptstrassenbaues in keiner Weise voreilt. Wir beglückwünschen Kollege E. Schmidlin, Prof. K. Leibbrand, die Projektverfasser Gebrüder Locher, Stadtammann M. Müller und nicht zuletzt die zuständigen Instanzen von Kanton, Bund und SBB zum glücklichen Ergebnis, das nicht ohne überzeugten Einsatz auf der einen Seite und Bereitschaft zum Nachgeben auf der andern Seite hat erreicht werden können. Beides muss man können und beides ist gleich wichtig, wenn etwas Gutes entstehen soll — und hier ist es zweifellos der Fall.

W. J.

**Die Iuazeiro-Brücke über den San-Francisco-Fluss in Brasilien** ist die längste Durchlaufbrücke in vorgespanntem Beton. Sie trägt zwei Fahrbahnen von je 3,35 m Breite und dazwischen ein Eisenbahngleis. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 801 m. Von den insgesamt 20 Feldern bilden die ersten 13 eine durchlaufende Konstruktion von 561 m Länge. Von den übrigen sieben Feldern sind drei einfache Balken, eines eine dreifeldige Durchlaufkonstruktion und eines eine stählerne Hubbrücke. Die Spannweiten variieren von 25 bis 45 m. Jedes Feld der Brücke — ausgenommen die Stahlkonstruktion — wird durch sechs vorgespannte, vorfabrizierte Beton-T-Träger gebildet, die dicht aneinander liegen. Die mittlere Feldhöhe beträgt 1,98 m, an den Auflagern 2,69 m. Diese Träger erhielten eine innere Vorspannung am Fabrikationsort; nach dem Aufsetzen auf die Flusspfeiler wurde durch Anspannen von zusätzlichen, neben den Trägerstegen verlaufenden Kabeln die Durchlaufwirkung hergestellt. Schliesslich erfolgte noch eine Quervorspannung mit Kabeln, die durch Versteifungsträger geführt wurden. Man hat Beton mit einer 28-Tage-Festigkeit von 450 kg/cm<sup>2</sup> verwendet. Die Spannkabel (neun Stück innerhalb jedes Trägers) bestehen aus je zwölf Drähten von 5 mm Durchmesser und 8450 kg/cm<sup>2</sup> Nutzspannung. Nach der Montage der vorfabrizierten Teile wurde auf die Oberflanschen der Träger eine Betondecke von 11,5 cm Dicke aufgebracht. Die Fahrbahnen erhielten einen Asphaltbelag, das Gleis ein Schotterbett. Weitere Einzelheiten über Gründung, Montage und Vorspannung finden sich in «Engineering News Record» vom 8. April 1954.

**Die Baumaschinen-Messe in Zürich** (SBZ 1955, S. 175) wurde während der Dauer von zehn Tagen von 20 500 Personen besucht und erreichte somit rund die doppelte Besucherzahl der ersten im Jahre 1951 in Bern durchgeföhrten schweizerischen Baumaschinen-Messe. Nach dem Urteil der Baufachleute war sie überaus reichhaltig und dürfte sowohl in der Anzahl der vertretenen Fabrikmarken als auch in den einzelnen Gerätetypen und in der Internationalität der Beschickung als einzigartig in der Welt angesehen werden. Die Aussteller sind im allgemeinen zufrieden mit dem seitens der Bauunternehmer gezeigten Interesse sowie mit den Beziehungen, die neu angeknüpft werden konnten. Auch das Echo im Ausland machte sich durch lebhafte Besuch gelöst, insbesondere aus Deutschland, Frankreich und Italien, aber auch aus Holland, Belgien, Schweden und Finnland.

**Die Untergrundbahn von Rom**, deren Bau unter der Initiative Mussolini vor 18 Jahren begonnen wurde, hat ihren Betrieb am 9. Februar auf der Strecke Stazione Termini—E. U. R. aufgenommen. E. U. R. ist die Bezeichnung für das etwa 8 km vom Stadtzentrum entfernte Ausstellungsgelände, das am Weg nach dem Strand von Ostia liegt. Die U-Bahn ist doppelspurig für max. 100 km/h Fahrgeschwindigkeit angelegt; von dem in Betrieb genommenen Stück verlaufen 5,6 km unter- und 5,7 km oberirdisch. Als einzigartiges Requisit einer Untergrundbahn werden die sorgfältig konservierten Überreste römischer Bauten in den unterirdischen Stationen gerühmt, die man mit grossem Geschick in die architektonische Komposition einbezogen hat.

**Zum Bau des Kraftwerkes Val di Lei-Hinterhein.** Die Ratifikationsurkunden zum schweizerisch-italienischen Abkommen vom 18. Juni 1949 betreffend die Verleihung der