

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 123/124 (1944)  
**Heft:** 2

## Inhaltsverzeichnis

### **Nutzungsbedingungen**

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

### **Conditions d'utilisation**

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

### **Terms of use**

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

**Download PDF:** 01.04.2025

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

INHALT: Erdbaumechanische Probleme im Lichte der Schneeforschung. — 25 Jahre elektrotechnisches Porzellan Langenthal. — Eine neue Websaal-Beleuchtung. — Das neue Stadtcasino in Basel. — Mitteilungen: Technik und Wirtschaft im Bau und Betrieb von Wasserstrassen. Die Bedeutung der Schweiz. Verkehrspolitik vom Standpunkte des Automobils. Tunneldichtungen an der Gotthardlinie der SBB. Die Untersuchung

von Echoerscheinungen in geschlossenen Räumen. Das Kindererholungsheim «Rhintalerhus» in Wildhaus. — Wettbewerbe: Basellandschaftliche Siedelungsbauten. Ländliche Siedlungshäuser im Kanton Waadt. Ueberbauung des Schiltwiesen-Areals in Winterthur. — Nekrologe: Heinz-Jürgen Sieveking. — Literatur.

Mitteilungen der Vereine. — Vortrags-Kalender.

Band 123

Der S. I. A. ist für den Inhalt des redaktionellen Teils seiner Vereinsorgane nicht verantwortlich  
Nachdruck von Text oder Abbildungen ist nur mit Zustimmung der Redaktion und nur mit genauer Quellenangabe gestattet

Nr. 2

## Erdbaumechanische Probleme im Lichte der Schneeforschung

Von P.-D. Ing. Dr. ROB. HAEFELI, Chef der Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau an der E. T. H. Zürich<sup>1)</sup>

Durch die vorliegende Studie soll versucht werden, an Hand einiger konkreter Beispiele die befruchtende Wirkung der für Schnee entwickelten Theorien und Methoden auf die Erdbau-forschung nachzuweisen. Nach einem einleitenden Abschnitt wird als erstes Beispiel die Frage der Spannungsermittlung im plas-tischen Erdkörper auf Grund einer experimentellen Methode zur Bestimmung der Trajektorien beleuchtet. Aus dieser theoretischen Betrachtung ergeben sich nebenbei einige allgemeine Gesichtspunkte für die Projektierung und Ausführung von Bauwerken, die z. T. in Lockergesteinen fundiert werden müssen. In einem zweiten Beispiel wird die Bedeutung des Rammprofils für Son-dierzwecke besprochen, ein in dieser Form neuartiges Verfahren, das sich, ausgehend von den an der Schneedecke gewonnenen Erfahrungen, entwickelt hat. Die auf Grund des Rammprofils möglich gewordene rasche Abtastung der Baugrundverhältnisse dürfte nicht nur den Bauingenieur, sondern auch den Architek-ten interessieren. Als drittes Beispiel wird eine besondere Methode zur Ermittlung der Zugfestigkeit in Lockeraggregaten behandelt, die nach ihrer Uebertragung vom Schnee- ins Erdbau-Labora-rium geeignet erscheint, eine Lücke in der mechanischen Unter-suchung von Lockeraggregaten auszufüllen.

### 1. SCHNEE ALS LOCKERGESTEIN

Betrachtet man die winterliche Schneedecke, die den Erd-boden gegen das Eindringen des Frostes schützt, als Ueber-gangsschicht zwischen Atmosphäre und Erdoberfläche, so erge-ben sich zahlreiche Beziehungen zu den nach oben und unten angrenzenden Medien. Dank der ausserordentlichen *Sensibilität* der Materie Schnee, die vor allem in ihrer Metamorphose zum Ausdruck gelangt, setzt sich das dynamische Geschehen der Atmosphäre — wenn auch in stark gedämpfter Form — gleich-sam ins Innere der Schneedecke fort. Diese spiegelt daher ges-amthaft alle meteorologischen Einflüsse vom ersten Schneefall bis zum betrachteten Zeitpunkt und kann somit bis zu einem gewissen Grade als *meteorologisch-klimatologischer Integrator* angesprochen werden. Untersucht man anderseits die Beziehungen zwischen der Schneedecke und ihrem Untergrund, so fällt die Tatsache auf, dass der Schnee als ein in Schichten aufgebautes Lockergestein erscheint, das in analoger Weise durch Sedimen-tation aus der Luft entsteht, wie die chemischen Sediment-gesteine durch Ablagerung der aus dem Wasser ausgeschiedenen Festsubstanzen (z. B. Seekreide). Diese Erkenntnis führte 1934 zum Versuch, die Erforschung der Schneemechanik in Anlehnung an die Erdbaumechanik in Angriff zu nehmen. Ganz abgesehen von der Tatsache, dass es sich da wie dort um Lockeraggregate handelt, die sich allgemein aus drei Phasen (Festsubstanz, Wasser, Luft bzw. Wasserdampf) zusammensetzen, war obiges Vorgehen auch in Anbetracht einer weitgehend verwandten Problemstel-lung bezüglich Plastizität und Stabilität gegeben.

Im Laufe der auf der Station Weissfluhjoch bei Davos im Rahmen der Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission während mehrerer Winter durchgeführten Untersuchungen<sup>2)</sup> traten anderseits die Besonderheiten der Materie Schnee, die durch eine intensive Wechselwirkung klimatologischer, kristallographischer und mechanischer Vorgänge gekennzeichnet sind, immer deutlicher hervor. Auch die vollkommene Plastizität des Schnees, die in seiner stetig fortschreitenden Verformung unter dem Einfluss kleinster Kräfte zum Ausdruck kommt, beruht auf der bereits erwähnten, als «Metamorphose» bezeichneten kristallographischen Umwandlung, die alle Entwicklungsprozesse des Schnees und der Schneedecke beherrscht [1, 2]<sup>3)</sup>.

In Anpassung an das besondere Verhalten von Schnee und Eis mussten methodisch neue Wege beschränkt werden, die sich zum Teil auch zur Untersuchung der Mechanik anderer plas-tischer Stoffe als geeignet erwiesen. Diesem glücklichen Um-stand ist es zuzuschreiben, dass die Erdbauforschung, also der

anfänglich gebende Teil, durch die inzwischen in der Schnee-untersuchung erzielten Fortschritte eine Belebung erfuhr, die den einzigartigen Möglichkeiten unseres Gebirgslandes zu danken ist.

So ist der Schnee unser Lehrmeister geworden. Der kristal-line Bau, der in den zierlichen Schneesternern seinen vollkom-menen Ausdruck findet, deutet auf letzte irrationale Fragen der Materie. Seine Feinstruktur erklärt jene Empfindlichkeit ge-wisser Lockeraggregate gegen äussere Störungen, die auch im Baugrund katastrophale Folgen haben kann. Die Wandelbar-keit seiner Teilchen lässt uns das innere Leben eines sog. «festen» Aggregatzustandes verstehen, dessen Gleichgewicht als «schein-bar» bezeichnet werden muss, weil die vollkommene Ruhelage der Statik durch langsame, plastische Verformungen abgelöst wird. Unter stetigen Spannungsänderungen reifen labile Gleich-gewichtszustände heran, bei denen oft schwere Gefahren auf ein geringfügiges Zeichen der Auslösung lauern. Die fortschreitende Metamorphose führt schliesslich, unter Mitwirkung der flüssigen Phase, vom «Lockergestein» Schnee über Firn zum «Festgestein» Eis, wobei sich im Gletscher alle jene Prozesse der Gebirgsfal-tung vollziehen, die uns sonst geologische Zeitalter als stumme Rätsel aus Stein präsentieren. Gleich einer vollendeten Vorlesung der Natur, vollzieht sich das Werden, Sein und Vergehen der winterlichen Schneedecke Jahr für Jahr, nach denselben unver-gänglichen Gesetzen und doch immer wieder neu, in unendlicher Mannigfaltigkeit.

### 2. ZUR ALLGEMEINEN BESTIMMUNG EBENER SPANNUNGSZUSTÄNDE PLASTISCHER KÖRPER

Die eine Gruppe der im Erdbau üblichen Berechnungs-methoden zur Ermittlung der wirksamen Kräfte, einschliesslich der klassischen Erddrucktheorie, befasst sich mit der Unter-suchung von sogenannten Grenzzuständen des Gleichgewichts [3]. Eine zweite Gruppe von Verfahren, wie z. B. die Berechnung der Druckverteilung im Baugrund nach Boussinesq, benutzt die An-sätze der mathematischen Elastizitätslehre, um in Fällen mit einfachen Randbedingungen zu einer Lösung des Spannungs-zustandes zu gelangen [4]. Schon die einfache Tatsache jedoch, dass die mechanischen Eigenschaften eines zusammendrückbaren Materials durch dessen Beanspruchung infolge Verdichtung kon-tinuierlich verändert werden, lässt erkennen, dass hier die Vor-aussetzungen der math. Elastizitätslehre nicht erfüllt sind.

Immer mehr macht sich daher heute das Bedürfnis nach solchen Grundlagen geltend, die dem tatsächlichen plastischen Verhalten des Stoffes Rechnung tragen. Nun bietet uns aber die Natur in Schnee, Firn und Eis ein Material, bei dem sich die plastischen Vorgänge in idealer Weise studieren lassen. Es ist daher kein Zufall, dass die Analyse des Gleichgewichtes der Schneedecke zu gewissen Lösungen geführt hat, denen eine allgemeinere Be-deutung zukommt. Eine solche Lösung konnte z. B. für den Spannungszustand einer plastischen, planparallelen Schicht in-folge Eigengewicht gegeben werden, wobei zunächst gewisse, auf eingehenden Beobachtungen beruhende Voraussetzungen über den Verformungszustand gemacht werden mussten [5]. Auf Grund dieses speziellen Verformungszustandes können die Richtungen der Hauptspannungen, bzw. der Trajektorien, ermittelt werden. Bevor wir versuchen, die für Schnee gegebene Methode zur Ermittlung von Spannungstrajektorien allgemeiner zu fassen, sei zum Zwecke der Einführung obige Lösung, die bereits an anderer Stelle veröffentlicht wurde, nachstehend wiederholt [6].

Schneidet man aus einer ebenen, seitlich unbegrenzten Böschung ein prismatisches Körperelement von der Tiefe 1, der Länge  $l$  und der Höhe  $y$  heraus, so fordert das Gleichgewicht dieses Elementes, dass die resultierenden, einander entgegen-gesetzt gleichen Seitenkräfte  $p_x$  parallel zur Böschungsoberfläche und die resultierende Spannung  $p_z$  vertikal gerichtet sind (Abb. 1). Die beiden Komponenten dieser letzten berechnen sich dann als Normal- bzw. Scherspannung eines zur Oberfläche parallelen Flächenelementes wie folgt:

$$\sigma_y = y \gamma_s \cos \psi = z \gamma_s \cos^2 \psi \quad \dots \quad (1)$$

$$\tau_x = y \gamma_s \sin \psi = z \gamma_s \sin \psi \cos \psi \quad \dots \quad (2)$$

<sup>1)</sup> Erweiterte Antrittsvorlesung, gehalten an der E. T. H. am 16. X. 1943.  
<sup>2)</sup> Vgl. die Berichte des Verfassers in SBZ Bd. 110, S. 87\*, Bd. 111, S. 199 und Bd. 113, S. 312\*.

<sup>3)</sup> Die eckigen Klammern beziehen sich auf das am Schlusse dieses Aufsatzes angefügte Literaturverzeichnis.