

**Zeitschrift:** Schweizerische Bauzeitung  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 123/124 (1944)  
**Heft:** 4

## 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: Das Druckverformungsgesetz in der Erdbaumechanik. — Städtischer Abfall als landwirtschaftliches Wertprodukt. — Wettbewerb für ein Bezirksgebäude in Dielsdorf. — Druckverluste in Abzweigungen von quadratischen Kanälen. — Mitteilungen: Gemeinschaftsbestrahlung mit künstlichem Sonnenlicht. Der Treibstoffverbrauch von Fahrzeug-

«Ottomotoren». Zwei- und Dreikraftlokomotiven. Kraftwerk Lucendo. Schweiz. Verein von Dampfkesselbesitzern. Chinesische Steinabklatsche. — Nekrologe: Gottlieb Gmür. Hans Bucher. — Wettbewerbe: SWB-Wettbewerb für Hotelzimmer. Primarschulhaus auf dem Felsberg, Luzern. — Literatur. — Mitteilungen der Vereine.

Band 124

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. 4

### Das Druckverformungsgesetz in der Erdbaumechanik

Von Ing. Dr. L. BENDEL, Luzern, P.-D. an der E. I. L.

**Inhaltübersicht.** Das Hooke'sche Druckverformungsgesetz gilt nur für Festgestein, aber nicht für bindige und nichtbindige Lockerböden. Im folgenden wird daher ein in der Erdbaumechanik allgemein gültiges Druckverformungsgesetz, das für Lockerböden und Festgestein Gültigkeit hat, abgeleitet.

**Der Elastizitätsmodul bei Festgestein und Lockerböden.** Jedem Ingenieur und Techniker ist das durch Tausende von Versuchen bestätigte Hooke'sche Gesetz bekannt, wonach die Verformung ( $s$ ) bei Stahl, Beton und Festgesteinen direkt proportional der Spannung  $\sigma$  ist, d. h. es ist

$$ds = \alpha d\sigma \dots \dots \dots (1)$$

Der Elastizitätsmodul  $1/\alpha = E$  wird hierbei als ein gleich gross bleibender Festwert, sowohl bei einer Zunahme der Belastung ( $+d\sigma$ ) als auch bei einer Entlastung ( $-d\sigma$ ) angenommen. Bei den Lockerböden (bindige und nichtbindige Bodenarten) hingegen ändert der Elastizitätsmodul  $E$  in Abhängigkeit von der Grösse der Belastung; auch variiert seine Grösse, ob es sich um eine Belastung ( $+d\sigma$ ) oder eine Entlastung ( $-d\sigma$ ) handelt. Im folgenden wird dieser Tatsache Rechnung getragen, indem nach Fröhlich für die Elastizitätsziffer bei der Zusammendrückung der Buchstabe  $M_E =$  Zusammendrückungsmodul und für die Elastizitätsziffer bei der Entlastung der Wert  $E =$  Schwellmodul eingeführt wird.

**Die mathematische Auswertung von Verformungsversuchen in Lockerböden.** Der Verfasser hat über tausend in der Fachliteratur angegebene Drucksetzungsversuche, sowie zahlreiche eigene Versuchsergebnisse an Lockerböden systematisch zusammengestellt und nach den Regeln der mathematischen Statistik ausgewertet. Dabei ergab sich als mathematischer Ausdruck für das allgemein gültige Druckverformungsgesetz:

$$(\sigma + c) = b e^{as} \dots \dots \dots (2)$$

In Gleichung (2) bedeuten:  
 $\sigma$  = die auf den Boden gebrachte Belastung in  $\text{kg/cm}^2$ ;  
 $s$  = Setzung, ausgedrückt in  $\%$  der Versuchshöhe  $h$ ;  
 $e$  = Basis des natürlichen Logarithmus;  
 $a, b$  und  $c$  Festwerte, abhängig von der Bodenbeschaffenheit.

Bei der genauen Analyse des Aufbaues der Formel (2) ergab sich, dass die Werte ( $b$ ) und ( $c$ ) beinahe gleich gross sind und dass sie die Dimension von  $\text{kg/cm}^2$  haben. Infolge dessen lässt sich Formel (2) auch schreiben, indem  $b = c = \sigma_a$  gesetzt wird:

$$(\sigma + \sigma_a) = \sigma_a e^{as} \dots \dots \dots (3)$$

oder logarithmiert:

$$\log(\sigma + \sigma) = \log \sigma_a + as \log e \dots \dots \dots (4)$$

oder

$$s = K \log \left( \frac{\sigma + \sigma}{\sigma_a} \right) = K' + K \log(\sigma + \sigma) \dots \dots (5)$$

wobei  $K = \frac{1}{a \log e}$  und  $K' = -K \log \sigma_a$  bedeuten.

Wird der Wert  $\sigma_a$  genauer untersucht, so ergibt sich, dass  $\sigma_a$  zusammengesetzt ist aus den beiden Werten  $\sigma_0$  und  $\sigma_v$  d. h. es ist:

$$\sigma_a = \sigma_0 + \sigma_v \dots \dots \dots (6)$$

In den obigen Formeln haben die Werte  $\sigma_0, \sigma_v, \sigma_a$  und  $K$  auch folgende physikalische Bedeutung. Der Wert  $\sigma_0$  ist ein Festwert, dessen Grösse von den physikalischen, chemischen und elektrochemischen Eigenschaften des Bodens abhängt, oder anders ausgedrückt:  $\sigma_0$  bedeutet in der Bodenmechanik die Grösse des Druckes, der durch die Kapillarkräfte, durch die molekularen Anziehungskräfte und durch die chemisch-physikalischen Kräfte auf das sedimentierte Material ausgeübt wird, wenn es vom zähflüssigen (viskosen) Zustand in den elastisch-plastischen Zustand übergeht. Aus den bisherigen Versuchen konnte festgestellt werden, dass dies bei bindigen Böden der Fall ist, wenn deren Wassergehalt praktisch demjenigen an der sogenannten Fließsrenzengrenze entspricht. Die Fließsrenzengrenze wird auch obere Plastizitätsgrenze oder untere Elastizitätsgrenze genannt. Die Fließs-

renzengrenze wird bei bindigen Bodenarten nach Atterberg mit Hilfe des Casagrande'schen Fließsgerätes bestimmt. Es wäre jedoch wünschenswert, die definierte, physikalische Grenze durch ein geeigneteres Gerät zu erfassen und zu bestimmen.

Wird beim Druckverformungsversuch von der Atterberg'schen Fließsrenzengrenze ausgegangen, so wird  $\sigma_v$  in Gl. (6) gleich 0, d. h. es wird  $\sigma_a = \sigma_0$  und Gl. (5) geht über in

$$s = K \log \left( \frac{\sigma_0 + \sigma}{\sigma_0} \right) \dots \dots \dots (7)$$

Wird z. B. beim Oedometerversuch ein Bodenmaterial mit einem Wassergehalt, der der Atterberg'schen Fließsrenzengrenze entspricht, als Ausgangspunkt gewählt, werden verschiedene grosse Werte der Belastung  $\sigma$  aufgebracht und die dazu gehörenden Setzungswerte ( $s$ ) am Oedometer abgelesen, so können die Werte  $\sigma_0$  und  $K$  aus Gl. 7 errechnet werden.

**Zahlenwerte für  $\sigma_0$ .** Der  $\sigma_0$ -Wert schwankt je nach dem Gehalt an kolloidalen Bestandteilen im Boden zwischen  $\sigma_0 = 0,01$  bis  $1 \text{ kg/cm}^2$ .

**Der  $K$ -Wert** gibt Aufschluss über die Grösse der Zusammenrückbarkeit des Bodens. Weiche, meist bindige Bodenarten weisen grosse  $K$ -Werte auf. Kleine  $K$ -Werte zeigen wenig verformbare Böden, wie Felsen usw.

**Zahlenwerte für  $K$ :**

Bodenart	$K$ bei Belastung	$K$ bei Entlastung
Ton, Lehm	0,05 bis 0,6	0,01 bis 0,10
Mergeliger Boden mit organischen Beimengungen	0,01 bis 0,2	0,002 bis 0,02
Feinster Quarzsand	0,01 bis 0,15	0,005 bis 0,02
Feiner Sand	0,05 bis 0,10	0,003 bis 0,006

Bei Verfestigung des Bodens, z. B. bei Injektionen oder bei elektrochemischer Bodenverfestigung von torfig-mergeligen Schichten ist der  $K$ -Wert von 0,055 auf 0,02 gesunken. — Je höher der Glimmergehalt eines Sandes ist, desto grösser wird der  $K$ -Wert.

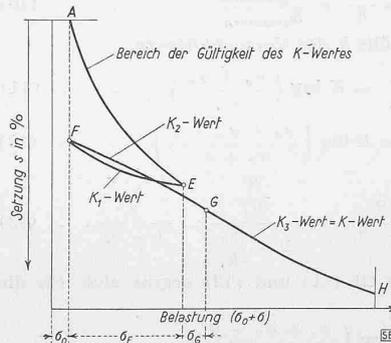


Abb. 1. Gültigkeit der  $K$ -Werte in der Gleichung (7), und zwar gilt  $K$  im Bereich, in dem die Drucksetzungs-Gleichung (7) Gültigkeit hat;  $K_1$  für die Entlastungshebungs-Gleichung  $K_1 < K$ ;  $K_2$  für die Wiederbelastung  $K_1 < K_2 < K$ ;  $K_3 = K$  für den Ast  $G-H$  der Kurve, der erstmalig belastet wird

Wird der Boden entlastet, so erhält man an Stelle des  $K$ -Wertes einen neuen  $K_1$ -Wert, siehe den Kurvenast  $E-F$  in der Abb. 1.  $K_1$  ist kleiner als der  $K$ -Wert. Wird der Boden wieder belastet, so erhält man einen neuen Wert  $K_2$ ; siehe Kurvenast  $F-G$  in Abb. 1.  $K_2$  ist grösser als  $K_1$ , aber kleiner als  $K$ ; d. h.  $K_1 < K_2 < K$ . Für den Kurvenast  $G-H$  der die Fortsetzung des Kurvenastes  $A-E$  ist, wird der Wert  $K_3$  gleich gross wie der Wert  $K$ ; d. h. es ist  $K_3 = K$ .

Aus obigen Feststellungen ergibt sich, dass der  $K$ -Wert und der  $K_2$ -Wert die Vorbelastungsgeschichte eines Bodens wieder spiegeln. Für die weitaus grösste Anzahl der Drucksetzungsversuche genügt es aber, den  $K$ -Wert für die Kurve  $A-E-H$  zu bestimmen. Die Kurve  $A-E-H$  erhält man bei der Erstbelastung des Bodens.

Der  $\sigma_0$ -Wert bedeutet diejenige Belastung, mit der der Boden vor Beginn der Untersuchung bereits vorbelastet gewesen war, z. B. infolge Gletscherdruckes; oder wenn die Bodenprobe aus