

**Zeitschrift:** IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht

**Band:** 1 (1932)

**Artikel:** Diskussion

**Autor:** Kögler, F.

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-670>

### **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:** 08.02.2025

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

**Participants à la discussion***Diskussionsteilnehmer***Participants in the discussion :****Dr. Ing. F. KÖGLER,**

ord. Professor an der Bergakademie, Regierungsbaumeister a. D., Freiberg/Sa.

Die Einsenkung von Gründungskörpern unter der Last soll im folgenden unter dem Gesichtspunkte betrachtet werden, dass sie in der Hauptsache aus 2 Ursachen herrührt und dass es infolgedessen notwendig ist, den Einfluss dieser beiden zu trennen und jede für sich in Rechnung zu stellen. Man hat zu unterscheiden :

a) Die Zusammendrückung des Bodens. Hierunter sei verstanden

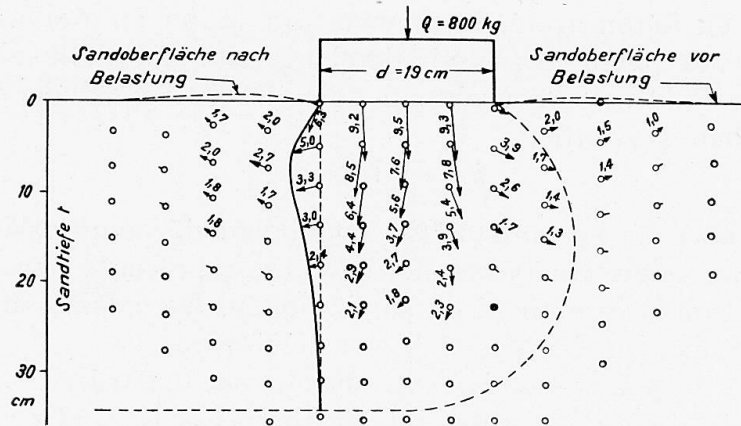


Fig. 1. — Surface du sable après la mise en charge = Sandoberfläche nach Belastung  
= Sand surface after loading.  
Surface du sable avant la mise en charge = Sandoberfläche vor Belastung  
= Sand surface before loading.  
Hauteur du sable = Sandtiefe = Depth of sand.

sowohl die elastische Zusammendrückung, die also bei Entlastung wieder verschwinden würde, wie auch die bleibende Verdichtung. Beide haben eine Gefügeänderung des Bodens im Sinne einer Verringerung seiner Hohlräume zur Folge; die Porenziffer wird kleiner.

b) Das Ausweichen des Bodens. Der Boden weicht unter der Last nach der Seite hin aus, in besonderem Masse unter dem Rande der Last. Dieses Ausweichen wird im folgenden so aufgefasst, dass es keine Verdichtung zur Folge habe.

Dass die beiden Arten der inneren Bewegung des Bodens bei jeder Belastung vorhanden sind, bedarf wohl keines Beweises; selbstverständlich kann ihr Anteil an der Gesamteinsenkung eines Lastkörpers je nach der Bodenart sehr verschieden sein. In welchem Masse und in welchem Verhältnis zueinander sie z. B. bei Sand auftreten, zeigt Bild 1. Den lotrechten Kornbewegungen von 9,5 mm unmittelbar unter dem Lastkörper, entsprechen seitliche

Bewegungen in wagrechter Richtung in einer gewissen Tiefe unter dem Rand der Lastplatte von 4-5 mm. Dass die Kornbewegung in grösserer Entfernung vom Rande der Lastplatte sogar nach oben geht, ist bekannt. Dass auch schon bei sehr geringen Spannungen beide Arten von Bewegungen auftreten und dass sie auch da im ungefähr gleichen Verhältnis stehen, wie es Bild 1 zeigt, haben unsere Messungen ebenfalls bestätigt. Sie wurden in der Weise durchgeführt, dass man in den Sand in einer Messebene kleine Holzkörperchen einbettete und ihre genaue Lage dabei sorgfältig mass. Nach Belastung und Entlastung wurde der Sand mittels Gebläse weggeblasen und die Lage der Holzkörper-

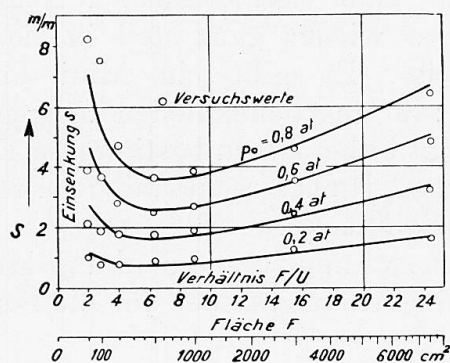


Fig. 2.

Fig. 2. — Affaissement  $s$  = Einsenkung  $s$  = Sinking  $s$ .  
 Valeurs d'essai = Versuchswerte = Test Measurements.  
 Rapport  $F/U$  = Verhältnis  $F/U$  = Ratio  $F/U$ .  
 Surface  $F$  = Fläche  $F$  = Surface  $F$ .

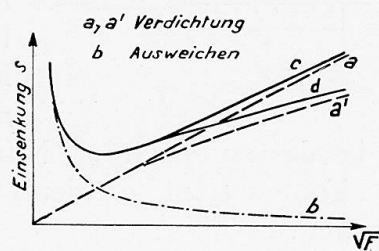


Fig. 3.

Fig. 3. = Affaissement  $s$  = Einsenkung  $s$  = Sinking  $s$ .  
 Compression = Verdichtung = Compression.  
 Déversement = Ausweichen = Lateral displacement.

chen darnach wieder genau eingemessen. Die Unterschiede beider Messungen liefern die Verschiebungen nach den 2 Koordinatenrichtungen.

Auch alle anderen Erscheinungen bei der näheren Untersuchung der Senkung einer Last auf Baugrund weisen, wenn man sie sorgfältig diskutiert, immer wieder auf die gleichen 2 Ursachen hin; allerdings ist es oft nicht leicht, sie zu erkennen und vor allem nicht einfach, sie auseinander zu halten und ihre Konstanten zu bestimmen.

Wie wichtig die getrennte Behandlung der beiden Ursachen ist, geht z. B. daraus hervor, dass die beiden Arten der Nachgiebigkeit des Baugrundes, d. h. die beiden Ursachen für die Einsenkung eines Bauwerkes, sich ganz verschieden verhalten unter verschieden grossen Flächen: Die eine nimmt nämlich mit der Fläche zu, die andere nimmt dagegen mit wachsender Fläche ab. Wenn man also zum Beispiel von kleinen Flächen (Probebelastung) auf die grossen Flächen des Bauwerkes schliessen will, so muss man unbedingt jede der beiden Ursachen (Zusammendrückung und Ausweichen) getrennt in Rechnung stellen; man kann nicht beide mit einer einzigen Bodenkonstanten erfassen, wie das bisher so vielfach versucht worden ist.

1) Einsenkung  $s$  in Abhängigkeit von der Grösse der Lastfläche.

Als Beispiel sei zunächst folgendes angeführt: Die seit 1926 in meinem Institut durchgeführten Versuche über die Einsenkung von Lastkörpern auf Sand bei verschiedener Grösse der Lastfläche haben Ergebnisse geliefert, die auf den ersten Blick eigenartig erscheinen. Sie sind in Bild 2 dargestellt. Ausführliche Angaben vergl. auch <sup>1</sup> und <sup>2</sup>.

Wie Abb. 2 zeigt, ergab sich folgender Zusammenhang zwischen der Einsenkung  $s$  und der Grösse der Lastfläche  $F$ : Für grössere Flächen wächst  $s$  mit  $F$ , (rechter Zweig), aber, (und das ist das zunächst scheinbar Merkwürdige!), für ganz kleine Flächen gehen die Kurven der  $s$  wieder ganz steil in die Höhe (linker Zweig). Es gibt ein Minimum der Einsenkung; für gegebenen Boden und gegebene Pressung liegt es bei einem bestimmten  $F$ ; das Minimum wandert nach rechts mit der Pressung  $p_0$  unter der Sohlfläche.

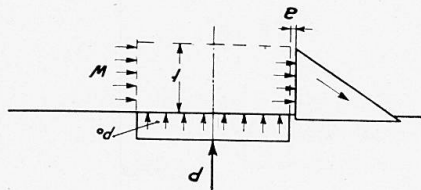


Fig. 4.

Wie ist das zu erklären? Nun, sehr leicht, wenn man die Senkungskurve in die zwei Teile zerlegt, die den beiden verschiedenen Ursachen für die Senkung entsprechen.

## a) Zusammendrückung.

Alle theoretischen Ableitungen, die die Einsenkung eines Lastkörpers lediglich aus der Zusammendrückung des Bodens bei konstanter Bodenziffer  $E$  errechnen, finden das Ergebnis.

$$s_a = k_a \sqrt{F}. \quad (1)$$

Es wird dabei einfach Zusammendrückung des Bodens und nur diese angenommen, ferner die übliche Druckverteilung nach Breite und Tiefe und gleichmässiger Baugrund mit gleichbleibender Bodenziffer bis in unendliche Tiefe. Die Formel (1) besagt, dass die Einsenkung  $s_a$  infolge Zusammendrückung proportional mit der Wurzel aus der Fläche  $F$  wächst: Gerade a in Abb. 3.

## b) Ausweichen.

Das Ausweichen des Bodens nach der Seite hin wird hervorgerufen durch die wagrechten Spannungen, die im Boden unter dem Lastkörper entstehen infolge dessen lotrechter Pressung auf den Baugrund. Betrachtet man den Bodenzylinder unter der Lastfläche, so will sich dieser seitlich ausbauchen; dem widersteht der passive Erddruck der den Zylinder umgebenden Massen. Dieser letztere ist von der Grösse der Lastfläche unabhängig. Schon eine ganz elementare Betrachtung zeigt, dass die Einsenkung des Lastkörpers infolge des seitlichen Ausweichens des Bodens unter ihm der Grösse der Lastfläche umgekehrt proportional sein muss.

Um den Lastkörper von der Fläche  $F$  weiche unter der Last  $P$  ein Ringkörper von dreieckigem Querschnitt  $ABC$  seitwärts aus (Abb. 4). Seine wagrechte Bewegung sei  $a$ , seine Tiefe  $t$ .

1. Vorträge des Verfassers in Dresden, T. H., Febr. 1928; Berlin, D. Ges. f. Bauwesen, Nov. 1928. — Bautechnik, 1931, Heft 24, S. 339. Kögler, über Probelastungen.

2. Geologie und Bauwesen, 1932, Heft 3, Görner.

Man kann wohl annehmen<sup>1</sup>, dass die Bewegung  $a$  dem lotrechten Drucke  $p_0$  proportional, dem wagrechten Widerstand  $w$  gegen seitliches Verschieben umgekehrt proportional sei, also  $a = c \cdot \frac{p_0}{w}$ . Für den wagrechten Widerstand gilt

$$w = \varepsilon \cdot \gamma \cdot t, \quad \text{somit} \quad a = c \frac{p_0}{\varepsilon \gamma t} = k \cdot \frac{p_0}{t}.$$

Was der Lastkörper von der Fläche  $F$  durch sein Einsinken um das Mass  $s$  an Boden verdrängt, das wird aus dem Raum unter der Fläche  $F$  seitwärts herausgequetscht; es ist diejenige Bodenmenge, die den dreieckförmigen Ringkörper um das Mass  $a$  seitwärts verschiebt.

Also gilt :

$$\begin{aligned} F \cdot s &= U \cdot t \cdot a = U \cdot t \cdot \frac{k p_0}{t} \\ s_b &= k \cdot \frac{U}{F} \cdot p_0 = k_b \cdot \frac{1}{\sqrt{F}}. \end{aligned} \quad (2)$$

Dieses Gesetz wird dargestellt durch die Kurve  $b$  in Abb. 3.

c) Setzt man beide Kurven zusammen, so ergibt sich die Kurve  $c$  in Abb. 3. Sie entspricht den Kurven, die unsere Freiburger Versuche geliefert haben und die später auch durch Versuche im Gelände, auf Sand und auf Lehm, bestätigt sind. (Näheres siehe<sup>2</sup>).

Ob in Abb. 3 die Kurve  $a$  als Gerade richtig ist, mag begründetem Zweifel unterliegen. Sie beruht auf der Annahme, dass die Bodenziffer  $K$  der Zusammendrückung bis in unendliche Tiefe konstant sei. Alle bisherigen Rechnungen in der Literatur machen diese Annahme.

Sie trifft aber natürlich nicht zu. In grösserer Tiefe ist der Boden durch Eigengewicht mehr belastet, also bei sonst gleichen Eigenschaften mehr verdichtet und infolgedessen schwerer zu verdichten. Es dürfte also die Verdichtungszahl  $K$  mit der Tiefe  $z$  wachsen, etwa nach dem Gesetze

$$K = K_0 + k \cdot z = C (v + z).$$

Wenn man unter dieser Annahme nach dem Rechnungsgange, der den Ermittlungen zu Gleichung 1) und 2) zu Grunde liegt, die Zusammendrückung des Bodens ermittelt, dann ergibt sich

$$s = \frac{p_0 r}{C(r-v \cdot \operatorname{tg} \alpha)^2} (v \cdot \operatorname{tg} \alpha - r + r \cdot \ln \frac{r}{v \cdot \operatorname{tg} \alpha}) \quad (3)$$

Dann ist die Linie  $a$  in Abb. 3 keine Gerade mehr, sondern wird zur Kurve  $a'$ . Sie ist dadurch interessant, dass sie einen singulären Punkt hat<sup>3</sup>. Mit  $a'$  statt  $a$  wird dann aus  $c$  die Kurve  $d$ , sie passt sich, wie Abb. 5 zeigt, den Versuchswerten ausgezeichnet an.

1. Diss. Aichhorn Geologie und Bauwesen, 1932, Heft 1.

2. Kögler, Ueber Baugrundprobelastungen, Bautechnik, 1931, Heft 24.  
Press, Baugrundbelastungsversuche..., ... Bautechnik, 1930, Heft 42.....

3. Aichhorn, Geologie und Bauwesen, 1932, Heft 1.

## 2) Ausweichen des Bodens unter dem Rande des Lastkörpers.

Auch eine andere Ableitung nach folgendem Gedankengang liefert dasselbe Ergebnis: Ein Randstreifen unter der Lastplatte von der Breite  $\delta$  weiche aus, er trägt also nicht mit, (Abb. 6); es trägt nur ein Tragkörper von der Breite  $r_0 - \delta$ , nur diese wird zusammengedrückt. Dann folgt nach dem üblichen Rechnungsgange für die Zusammendrückung und mit den schon oben gekennzeichneten Annahmen:

$$s = \frac{p_0 \cdot r_0^2}{K \cdot \operatorname{tg} \alpha (r_0 - \delta)} \quad (4)$$

Dieses Gesetz wird dargestellt durch die Kurve c in Abb. 3.

Das Minimum von  $s$  liegt bei  $r_0 = 2 \delta$ . Unter Benutzung dieses Gedanken-

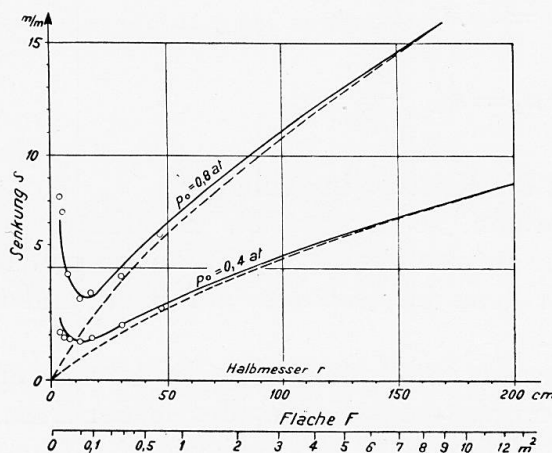


Fig. 5.

Fig. 5. — Affaissement  $s$  = Senkung  $s$  = Sinking  $S$ .  
Diamètre  $r$  = Halbmesser  $r$  = Radius  $r$ .  
Surface  $F$  = Fläche  $F$  = Surface  $F$ .

Fig. 6. — Déversement = Ausweichen = Lateral displacement.  
Élément supportant la charge = Tragkörper = Bearing member.

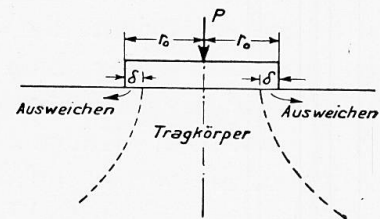


Fig. 6.

ganges kann man also rückwärts aus den durch die Versuche gefundenen Kurven ablesen, wie gross  $\delta$  ist; d. h. welche Randstreifenbreite unter dem Lastrande nicht mitträgt, sondern gewissermassen ausweicht. Das Uebereinstimmen der nach obigem Gedankengang ermittelten Kurvengestalt mit den durch die Laboratoriums- und Geländeversuche gefundenen Kurven ergibt, dass die Mitwirkung des Ausweichens des Bodens in den durch die Versuche behandelten Fällen deutlich zum Ausdruck kommt.

Welch erheblichen Einfluss die Ausweichmöglichkeit auf das Einsinken ausübt, zeigt auch Abb. 7. Im Gegensatz zu den Versuchen mit starren Belastungsplatten, bei denen man über die Druckverteilung unter der Lastplatte nichts Genaues weiss, wurde hier ein Belastungssystem von Einzelkörpern verwendet, die unabhängig voneinander sind, dafür aber jedes genau die gleiche Last erhält. Eine brückenartige Lastübertragung sorgte für gleichmässige Verteilung.

Die Einsenkungen für verschiedene Pressungen sind unter der Körperreihe

aufgetragen, rechts daneben in ihrem Verlaufe mit dem Anwachsen der Belastung wiedergegeben.

Man sieht mit grosser Deutlichkeit, dass die Körper in der Mitte am wenigsten, die am Rande am meisten einsinken, und dass der Unterschied zwischen beiden mit wachsender Belastung zunimmt. Das stärkere Einsinken der Randkörper ist auf das seitliche Ausweichen des Sandes zurückzuführen.

3) Einsenkung  $s$  in Abhängigkeit vom Drucke  $p_0$ .

Den Anteil der beiden Senkungsursachen, der Zusammendrückung  $a$  und des Ausweichens  $b$ , kann man auch deutlich in dem Drucksenkungsdiagramm

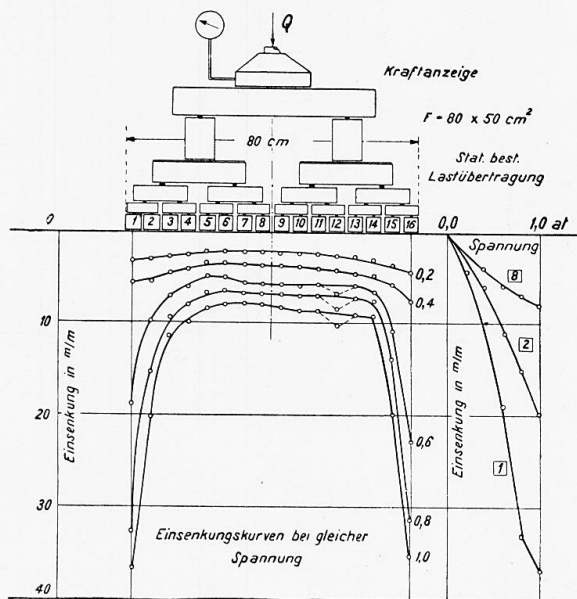


Fig. 7.

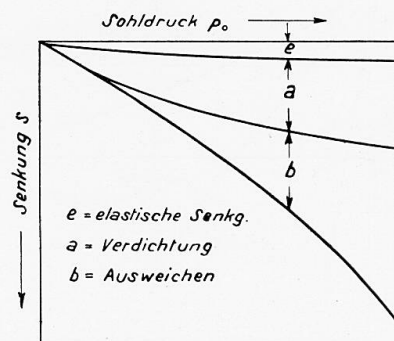


Fig. 8.

Fig. 7. — Indicateur de charge = Kraftanzeige = Force indicator.

Dispositif de transmission statique de la charge = Stat. best. Lastübertragung = Transmission of load.

Contrainte = Spannung = Pressure.

Affaissement en mm = Einsenkung in mm = Sinking in mm.

Courbes d'affaissement à charge constante = Einsenkungskurven bei gleicher Spannung = Sinking curves of equal pressures.

Fig. 8. — Pression du radier = Sohldruck = Ground pressure.

Affaissement = Senkung = Sinking.

$e$  = Affaissement élastique = Elastische Senkung = Elastic sinking.

$a$  = Compression de tassement = Verdichtung = Compression.

$b$  = Déversement = Ausweichen = Lateral displacement.

erkennen, wie es sich bei jeder Probelastung ergibt : Einsenkung  $s$  einer bestimmten Fläche in Abhängigkeit vom Drucke  $p_0$ . Das Diagramm zeigt das typische Bild nach Abb. 8. Die Gesamteinsenkung (untere Kurve) zerteilt sich in 2 Bereiche :

Zusammendrückung  $a$  = Verdichtung, zusammen mit  $e$  = elastische Zusammendrückung ;

Senkung  $b$  infolge des Ausweichens.

Zu  $a$ ). Für die Verdichtung ist wohl von vornherein klar, dass sie mit

wachsendem Drucke  $p_0$  immer weniger zunehmen kann, da ja das Material immer dichter wird, dass sie also einer Kurve folgen muss, die die Gestalt  $a$  (in Abb. 8) hat : Der Differentialquotient wird kleiner. Der Vorgang entspricht der Verdichtung eines Bodens bei verhinderter seitlicher Ausdehnung; Kurven dafür sind schon mehrfach in der Literatur wiedergegeben worden.

Zu  $b$ ). Dagegen ist für das Ausweichen auch wohl klar, dass es mit wachsendem  $p_0$  stark zunimmt, da der Störungsbereich unter der Last<sup>1</sup> immer grösser wird, also immer mehr Boden vom wachsenden Druck erfasst und

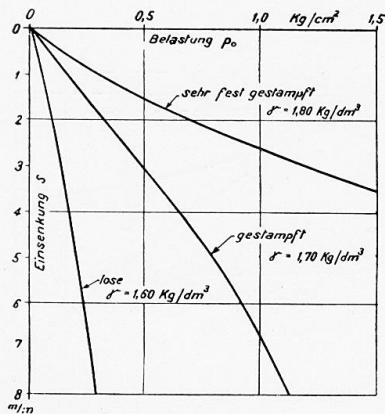


Fig. 9.

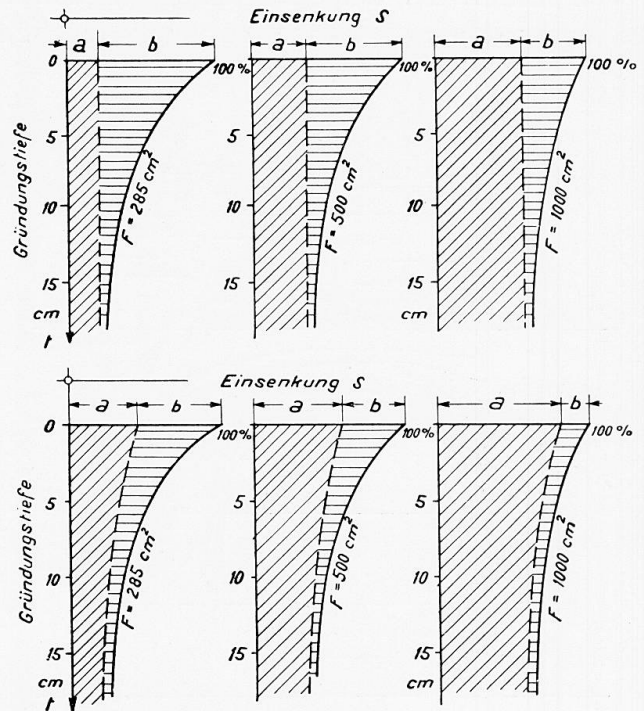


Fig. 10.

Fig. 9. — Charge = Belastung = Load.  
 Affaissement = Einsenkung = Sinking.  
 Très tassé = Sehr fest gestampft = Very well rammed.  
 Moyennement tassé = Gestampft = rammed.  
 Pas de cohésion = Lose = Loose.

Fig. 10 a et 10 b. — Affaissement = Einsenkung = Sinking.  
 Profondeur de fondation. = Gründungstiefe = Foundation depth.

seitlich weggequetscht wird. Der Differentialquotient der Kurve wird mit  $p_0$  grösser.

Hiernach ergibt sich, wenn auch noch nicht zahlenmässig, so aber doch schon recht klar nach dem Augenschein zerteilt, das Verhältnis der Anteile der beiden Ursachen der Senkung, also eine Trennung derselben.

Es ermöglicht das auch schon eine Diskussion der Form solcher Druck-Senkungsdiagramme, die über die Art des Bodens immerhin einige Anhalte gibt. Man vergleiche z. B. die beiden Kurven in Abb. 9, die bei gleicher Belastungsfläche die Einsenkung auf einem losen Sande und einem sehr festen Sande in Abhängigkeit von  $p_0$  wiedergeben.

1. Kögler, Bautechnik, 1928, Heft 15, Abb. 21. — Krynine, Civ. Engg, 1933, Okt.



Die unterschiedliche Form der Kurven kommt auch in Abb. 7 deutlich zum Ausdruck : rechtes Diagramm. Senkung des Körpers 8, der unter der Mitte der Last liegt, also kein seitliches Ausweichen erfährt : Kurve wie *a* in Abb. 8 und wie Kurve für festen Sand in Abb. 9. Kurven der beiden Körper 1 und 2, die unter dem Rande der Last liegen und deshalb eine Form der Senkungskurve wie Kurve *b* in Abb. 8 und wie die Kurve für losen Sand in Abb. 9 zeigen.

#### 4) Einsenkung in Abhängigkeit von der « Gründungstiefe. »

Noch ein anderer Weg, die zwei Ursachen der Einsenkung klar zu sehen und zu trennen, ergibt sich bei der Betrachtung der folgenden Ergebnisse : Unsere Versuche über die Grösse der Einsenkung *s*, die seit Jahren in Freiberg durchgeführt worden sind, haben bisher zunächst Lasten auf der Oberfläche des Sandes behandelt ; neuerdings haben wir die Lastkörper in verschiedenen Tiefen unter der Oberfläche, entsprechend also verschiedener « Gründungstiefe des Bauwerkes » wirken lassen. Einige Ergebnisse stellt Abb. 10 dar. In wagrechter Richtung ist die Einsenkung *s* aufgetragen, als Funktion der Gründungstiefe *t*, und zwar in Prozenten von der Einsenkung *s*, die sich bei Belastung an der Oberfläche ( $t = 0$ ) ergibt. Es sind die Kurven aufgetragen für 3 verschiedene Flächengrössen  $F = 285, 500, 1000 \text{ cm}^2$ .

Wenn man hier Zusammendrückung und Ausweichung zu trennen versucht, so ist wohl die Annahme zulässig : Die reine Zusammendrückung *a*, also ohne jeden Anteil des Ausweichens *b*, wird von der Gründungstiefe so gut wie gar nicht abhängen, da doch von jeder Tiefe ab nach unten hin wiederum die genau gleichen Verhältnisse des Bodens unter der Last herrschen. Also auch in sehr grosser Tiefe dürfte die Zusammendrückung des Bodens die gleiche sein. Daraus folgt, dass die Asymptote, der die Kurve *s/t* zustrebt, den Anteil an der gesamten Einsenkung gibt, der aus der reinen Zusammendrückung *a* herrührt. Der Rest ist selbstverständlich die Einsenkung *b* infolge des Ausweichens des Bodens. Nach diesem Gedankengange müssten die gestrichelten Trennungslinien  $p_0$ , wie in Abb. 10 *a* angenommen, Geraden sein. Will man dagegen der Zunahme der Bodenziffer *K* nach unten hin Rechnung tragen, woraus bei grosser Tiefe *t* eine etwas geringere Zusammendrückung folgt als bei kleinem *t*, so wären die Trennungslinien etwas gekrümmt zu zeichnen wie in Abb. 10 *b*.

Kurve für  $F = 285 \text{ cm}^2$  : In geringer Tiefe ist der Anteil *b* gegenüber *a* ausserordentlich gross ; er nimmt nach unten hin sehr schnell ab, um allmählich gleich Null zu werden. Bild 10 zeigt deutlich, dass die Kurven für grosse *F* steiler liegen, der Anteil *a* gross, der von *b* sehr viel kleiner ist, und zwar gilt das je für das Verhältnis von *a* zu *b*, wie auch für die absoluten Werte von *a* bzw. von *b* bei verschiedener Flächengrösse *F*.

Man erkennt : Die Einsenkung hängt bei grossen Flächen viel weniger von der Gründungstiefe *t* ab als bei kleinen Flächen. Der mit *t* variable Anteil von *b* ist erstens absolut und in seinem Verhältnis zu *a* geringer, und zweitens von *t* wesentlich weniger abhängig, als bei kleinen Flächen.

Hieraus folgt, dass die Tieferlegung einer grossen Flachgründungssohle für

die Herabminderung der Einsenkungen wenig Erfolg hat, wenn sie nicht gerade auf einem Boden sitzt, der in ganz besonderem Masse weich ist und zum Ausquetschen neigt. Jedenfalls bestätigt die Diskussion auch der Kurven in Abb. 10 die Vorstellung, die wir von der Wirkung der beiden Ursachen gewonnen haben, von der Grösse ihres Anteils an der Senkung und von ihrer Abhängigkeit von  $F$ .

Wenn diese Betrachtung auch noch keine quantitative Feststellung der Anteile der zwei Ursachen liefert, so gibt sie doch schon ein anschauliches Bild.

Die Versuche sind zwar zunächst nur mit kleinen Flächen gemacht; dafür sind aber auch die Pressungen und die Einsenkungen klein. Man darf wohl schliessen, dass auch für grosse Flächen und grosse Pressungen sich ähnliche Verhältnisse ergeben werden, sodass diese Ergebnisse Anhalte für den Gedankengang und die Betrachtungsrichtung bieten, vielleicht auch Arbeits-hypothesen liefern und den Weg für weitere Versuche zeigen.

### 5) Anwendung auf Probelastungen mit lotrechter Last.

Zu den in Abb. 2 und 5 dargestellten Ergebnissen sei angesichts ihrer Wichtigkeit noch folgendes ausgeführt: Aus der Abhängigkeit der Einsenkung  $s$  von der Flächengrösse  $F$  folgt für die praktische Handhabung von Bodenuntersuchungen durch Probelastung:

Die Einsenkung  $s$  auf einem bestimmten Boden und bei einer Belastung  $p_0$  hängt stark von der Grösse der Lastfläche ab, insbesondere bei höheren Pressungen. Diese Erkenntnis ist von Bedeutung in folgendem Fall: Es seien Probelastungen gemacht und unter einem Sohldruck  $p_0 = 5 \text{ at}$  eine Senkung  $s = 10 \text{ mm}$  ermittelt worden. Wird sich auch das Bauwerk bei  $5 \text{ at}$  um  $10 \text{ mm}$  senken? Antwort: Nein. — Um wieviel wird es sich senken? Nun, das hängt von der Grösse der Probelastfläche ab, die verwendet worden ist. Zunächst steht das eine fest: Eine Grösse der Probelastfläche, die ihr eine Lage auf dem linken Zweig der Kurven zuweist, hat gar keinen Zweck; solche Flächen geben u. U. eine zu starke Einsenkung, also ein falsches Bild; es ist zuviel Ausweichen  $b$  dabei: Man muss direkt von einer Pfahlwirkung der kleinen Flächen sprechen, die den Boden zur Seite treibt.

Die Flächen für die Probelastung müssen mindestens auf dem rechten Zweig der Kurve liegen, und zwar muss die Mindestgrösse von  $F$  umso grösser sein, je höher  $p_0$  gewählt werden soll: Abb. 2 und 5. Ist dann die Einsenkung des Bauwerkes gleich der der Probestfläche? Die Antwort lautet abermals: Nein. Jetzt kann man aber wenigstens schon eine Teilantwort geben. Nämlich: Das  $s$  des Bauwerkes ist grösser, als das  $s$  der Probestfläche. Kann man von der Probestfläche auf das Bauwerk schliessen? Antwort: Nicht ohne weiteres, jedenfalls noch nicht auf Grund einer Probelastung mit einer Flächengrösse. Man muss Einsenkungsmessungen mit wenigstens 2 Flächen haben, die ihrer Grösse nach möglichst weit voneinander entfernt liegen. Dann kann man nach den Gl. 1 und 2 ansetzen:

$$\begin{aligned} \text{Fläche } F_1 \quad s_1 &= k_a \cdot \sqrt{F_1} + k_b : \sqrt{F_1} \\ \text{Fläche } F_2 \quad s_2 &= k_a \cdot \sqrt{F_2} + k_b : \sqrt{F_2} \end{aligned}$$

Hieraus lassen sich  $k_a$  und  $k_b$  ermitteln, sodass damit die Berechnung eines  $s_3$  für  $F_3$  möglich wird.

Eine Ermittlung der Einsenkung des Bauwerkes nach vorstehendem Gedankengang auf Grund von 2 Probelastungen setzt voraus, dass der Boden auch in tieferen Schichten sich genau so verhält wie in den Schichten, die durch die Probelastung erfasst worden sind. Man muss sich dabei immer klar vor Augen halten, dass die grosse Fläche des Bauwerkes in viel grössere Tiefe hinab wirkt, als diejenige der Probelastung, oder mit anderen Worten: Eine Pressung von z. B. 1 at im Boden unter der Mitte der Lastfläche entsteht in umso grösserer Tiefe, je grösser die Lastfläche ist. Das Bauwerk erfasst Schichten und drückt sie mit z. B. 1 at zusammen, auf die die Probelastung nur einen Druck von 0,1 at ausübt und die sie dementsprechend weniger zusammendrückt.

Aus den bisherigen Darlegungen und der ganzen neueren Literatur geht wohl hervor, dass man, wenn man zuverlässige Anhalte über die zu erwartende Einsenkung eines Bauwerkes haben will, Baugrunduntersuchungen vornehmen muss und dass, wenn diese in Probelastungen bestehen, auf sachgemässe Vornahme ganz besonderer Wert zu legen ist.

Aber auch die normale Probelastung in der bisherigen alten Durchführung hat noch eine ganze Reihe von Mängeln, die den Wert ihrer Ergebnisse recht zweifelhaft machen:

Zunächst steckt, wie wir gesehen haben, in dem Ergebnis der Probelastung mit der doch immer verhältnismässig kleinen Probelastfläche, die in geringer Tiefe aufsitzt, ein verhältnismässig hoher Anteil der Ausweichung  $b$ , der unter der grossen Bauwerksfläche wesentlich geringer ist. Ihn zu eliminieren müsste man mit 2 Probelastflächen arbeiten: das ist umständlich. Man muss dann ausserdem extrapolieren: das ist ungenau.

Es kommt aber ein anderer, noch viel wichtigerer Grund hinzu: Die Einsenkung  $s$  des Lastkörpers, ob an der Oberfläche oder in gewisser Tiefe unter ihr aufgesetzt, ist immer ein Integral, gebildet aus den Anteilen aller Schichten, die unter der Last bis zu unendlicher Tiefe folgen, jede Schicht mit einer Zusammendrückung, die der Druck  $p$  erzeugt, den sie aus der Last  $P$  erhält. Wieviel die einzelne Schicht beiträgt, das ist aus dem Integralergebnis  $s$  nicht mehr herauszulesen.

Nun ist aber weiter bekannt, dass eine kleine Lastfläche (bei gleichem  $p_0$ ) in nicht so grosse Tiefen hinabwirkt, wie eine grosse Fläche, da ihre Drücke infolge der seitlichen Verteilung schneller gleich Null oder so klein werden dass sie keinen Einfluss mehr ausüben. Die grosse Bauwerkfläche wirkt sehr sehr viel tiefer, als die Probelastfläche.

Wenn also irgendwo in der Tiefe schlechte Schichten liegen, die sich stark zusammendrücken, so werden sie von der gewöhnlichen, kleinflächigen Probelastung gar nicht erfasst, d. h. ihre Zusammendrückung kommt in dem Ergebnis der Probelastung so gut wie gar nicht oder nur mit einem ganz geringen Anteil zum Ausdruck, während der Setzung des Bauwerkes darauf erhebliche Anteile zufließen. In solchen Fällen kann die gewöhnliche Probelastung infolge der Kleinheit ihrer Fläche überhaupt keinen zuverlässigen Aufschluss geben, weil sie nicht in die Tiefe wirkt und weil sie eben stets

nur ein Integralergebnis liefert, aus dem man den Anteil einer Schicht rückwärts nicht mehr herauspalten kann.

Will man nun als Abhilfe dagegen grosse Probelastflächen nehmen, die tief reichen, so erfordert die normale alte Probe stets ungeheure Lasten, deren Aufbringung, Messung, Wegnahme und Wiederaufbau an anderer Stelle teuer, zeitraubend und manchmal gefährlich ist.

6) Probelastung des Bodens im Bohrloch mit wagrechtem Druck.

Es liegt deshalb nahe—für alle diejenigen Fälle, wo man keine ungestörten Proben zur Untersuchung im Laboratorium entnehmen kann, oder wo man

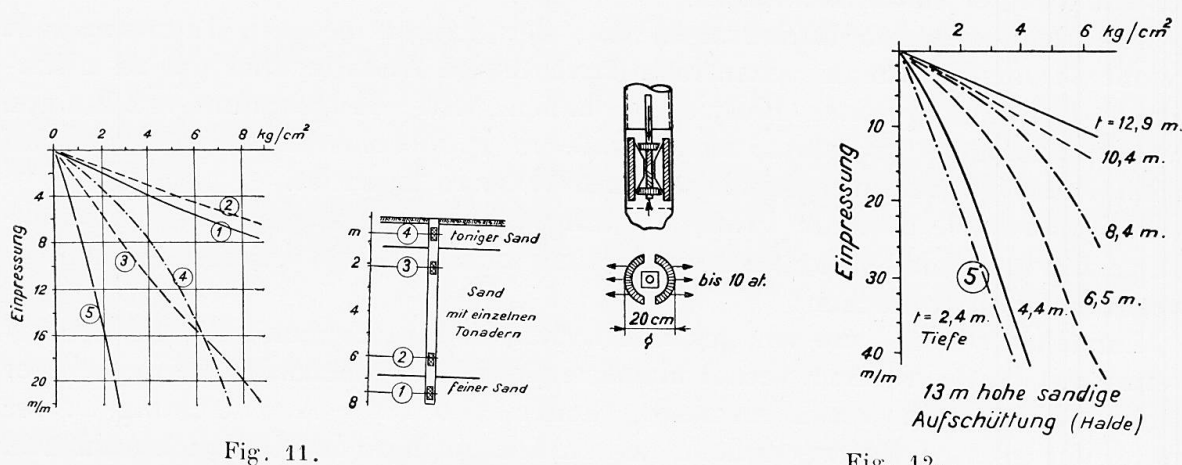


Fig. 11.

Fig. 12.

Fig. 11. — Compression = Einpressung = Pressed in.

Sable argileux = Toniger Sand = Clayey sand.

Sable comportant des veines d'argile = Sand mit einzelnen Tonadern = Sand with some clay veins.

Sable fin = Feiner Sand = Fine sand.

Fig. 12. — Profondeur = Tiefe = Depth.

Compression = Einpressung = Pressed in.

Stériles sableux de 13 m de hauteur = 13 m hohe sandige Aufschüttung (Halde) = Sandy heap (slope) 13 meters high.

kein Laboratorium hat — den Baugrund im Bohrloch, das man doch ohnehin braucht, zu untersuchen, wobei man jede einzelne Schicht nach der Tiefe hin je für sich erfassen kann. Und dabei entsteht noch ein ganz wesentlicher weiterer Vorteil: Man kann hier an Stelle der lotrechten Belastung, die immer die Totlasten mit all ihren Unbequemlichkeiten erfordert, wagrechte Kräfte benutzen, die nach beiden Seiten hin die Wand des Bohrloches pressen, wobei jede die Widerlagskraft für die andere abgibt: Man kann deshalb mit einer ganz einfachen Apparatur, die von einem Mann bequem zu bedienen ist und die von einem Mann zum nächsten Bohrloch getragen werden kann, die Zusammendrückbarkeit des Bodens bei bestimmter Pressung ermitteln, wie schon gesagt, für jede beliebige Schicht in jeder, auch grössten Tiefe. Die wagrechte Pressung hat dabei noch den Vorteil, dass nur eine Schicht untersucht wird, dass man nicht ein Integralergebnis aus

mehreren Schichten bekommt. — Und ein weiterer Vorteil ist der, dass man, da keine Totlasten erforderlich sind, mit beliebig grossen Flächen arbeiten kann, was ja, wie oben gezeigt, für jede Probelastung von Wert ist. Auf diese Weise arbeitet man sehr billig, bequem und schnell, kann aber natürlich trotzdem die Belastung jeweils an einer Stelle beliebig lange stehen lassen.

Es sind zwei Arten von Apparaten in Gebrauch :

a) mit mechanischem Antrieb : 2 halbzyllindrische Stahlshalen pressen auf die Bohrlochwand in zwei Richtungen; Apparathöhe 0,60 m, Bohrloch-Durchmesser 0,20 m.

b) mit hydraulischem Antrieb : 1 vollzylindrische Gummiblase presst auf die Bohrlochwand in allen Richtungen. Bohrloch-Durchmesser 0,15 oder 0,20 m. Apparathöhe 1,2 m. Gewicht des letzteren Apparates : 50 kg.

Ergebnisse siehe Bild 11 und 12. Die Bodeneigenschaft, Zusammendrückbarkeit, kommt in der Neigung der Kurve gegen die  $p$ -Achse zum Ausdruck. Das Diagramm in Bild 11 zeigt die Ergebnisse für gewachsenen Boden. Der Sand in 8,00 und 7,5 m Tiefe, Kurven 1 und 2, ist fest gelagert, der in geringerer Tiefe, Kurven 2 und 4, weniger fest. Der tonige Sand, Nr. 4, zeigt infolge seiner Bindung zunächst etwas mehr Festigkeit als Nr. 3, gibt dann aber verhältnismässig stark nach : die Kurve 4 geht steil nach unten. Wahrscheinlich liegt hier auch schon zu erheblichem Teile « Ausweichen » vor im Sinne der Betrachtungen eingangs dieses Aufsatzes ; denn der Versuch 4 ist in sehr geringer Tiefe angesetzt, sodass der Boden nach oben hin ausweichen kann. Im Gegensatz hierzu haben die Kurven 1 und 2 eine Form, die deutlich der Gestalt der Kurve  $a$  in Abb. 8 entspricht, also offenbar reine Verdichtung kennzeichnet. Die Versuche 1 und 2 sind in grosser Tiefe ausgeführt.

Abb. 12 zeigt Ergebnisse von Untersuchungen in geschüttetem Boden (Abraumhalde eines Braunkohlentagebaues) für verschiedene Tiefen : 2,4 m bis 12,9 m. Die Festigkeit des Bodens nimmt offensichtlich mit der Tiefe zu. Erst in 12,9 m Tiefe gleicht er dem gewachsenen Boden (2) in 6,00 m Tiefe.

Die Abhängigkeit der mit dem Seitendruckapparat ermittelten Bodenziffes von der Tiefe ist nochmals gesondert in Abb. 13 dargestellt. Es ist sinngemäss dasselbe Bild wie in Abb. 10, dort allerdings für die lotrechte Belastung in verschiedenen Tiefen.

Bei Benützung des hydraulischen Apparates ist infolge der grossen Druck-(Last-) fläche Gewähr dafür gegeben, dass kein Ausweichen des Bodens stattfindet, dass die ermittelte Zahl also nur die reine Zusammendrückbarkeit der Bodens liefert, sodass man sie in Berechnungen für Bauwerkssenkungen einsetzen kann.

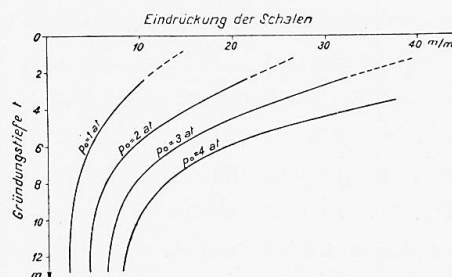


Fig. 13. — Compression des coquilles = Eindrückung der Schalen = Inward pressing of the sheeting. — Profondeur de fondation = Gründungstiefe = Foundation depth.

avantage, aucun poids mort n'intervient et les essais peuvent porter sur des surfaces importantes. Les essais sont ainsi peu coûteux, rapides et faciles ; l'essai sous charge peut toutefois être prolongé à tout endroit, aussi longtemps qu'il est désirable.

On emploie deux sortes d'appareils :

a. — Appareil à commande mécanique : deux éléments demi-cylindriques en acier comprimant la paroi du trou de forage en deux directions ; hauteur de l'appareil : 0,60 m, diamètre du trou de forage : 0,20 m.

b. — Appareil à commande hydraulique, avec cloche entièrement cylindrique de caoutchouc, exerçant sa pression sur la paroi du trou de forage suivant toutes les directions. — Diamètre du trou de forage : 0,15 ou 0,20 m ; hauteur de l'appareil : 1,2 ; poids de ce 2<sup>e</sup> appareil : 50 kg.

Les résultats obtenus sont reproduits sur les figures 11 et 12. La compressibilité du sol est exprimée par la pente de la courbe par rapport à l'axe des  $p$ . Le diagramme de la figure 11 concerne un terrain naturel. Le sable situé à des profondeurs de 8 et 7,50 m, courbes 1 et 2, est très compact, celui qui se trouve à des profondeurs moindres, courbes 3 et 4, l'est moins. Le sable argileux n° 4 accuse, par suite de la présence du liant, une résistance un peu plus élevée que le n° 3 ; il cède relativement moins ; la courbe 4 descend rapidement. Il est vraisemblable que l'on se trouve ici en présence de notables « déversements », dans le sens indiqué au début de cet exposé ; l'essai 4 est en effet effectué à une très faible profondeur, de sorte qu'il peut se produire un déversement vers le haut. Par contre, les courbes 1 et 2 présentent une allure qui correspond nettement à celle de la courbe a de la figure 8, c'est-à-dire à une compression pure. Les essais 1 et 2 ont été en effet effectués à grande profondeur.

La figure 12 indique les résultats d'essais effectués sur sol rapporté (stériles dans une exploitation de lignite à ciel ouvert) à différentes profondeurs de 2,4 à 12,9 mètres. La résistance du sol augmente nettement avec la profondeur. Ce n'est toutefois qu'à 12,9 m qu'elle est égale à celle du sol 2 naturel à une profondeur de 6 mètres.

La figure 13 montre également la relation qui existe entre le coefficient de compression du sol et la profondeur, telle que la met en évidence l'appareil à compression latérale. On a environ la même représentation que sur la figure 10, qui concerne la charge verticale à différentes profondeurs.

En utilisant l'appareil hydraulique et par suite de la grande surface de pression qui entre en jeu, on est assuré qu'il ne se produit aucun déversement du sol et que le chiffre déterminé ne se rapporte par suite qu'à une compression pure du sol, de sorte que l'on peut le faire intervenir dans les calculs d'affaissement des constructions.

### Zusammenfassung.

Die Einsenkung eines Bauwerkes rührt her :

- a) von der Verdichtung der Bodenschichten in lotrechter Richtung,
- b) vom seitlichen Ausweichen derselben in wagrechter Richtung. Diese

beiden Ursachen sind deutlich in allen Versuchs- und Probelastungsergebnissen zu erkennen; das wird im einzelnen dargelegt. Die Anteile dieser beiden Ursachen an der Gesamteinsenkung sind sehr verschieden, je nach der Grösse der Lastfläche und der Gründungstiefe, selbstverständlich auch je nach der Bodenart. Es wird versucht, die Anteile dieser beiden Ursachen voneinander zu trennen und zwar für die vorliegenden Laboratoriumsversuchsreihen, für die üblichen Probelastungen mit lotrechter Last und für die Bodenuntersuchungen im Bohrloche mit dem Seitendruckapparat nach Kögler.

### Résumé.

L'affaissement d'une construction est causé par :

a) la compression ou tassement des couches du sol en direction verticale et

b) par un déversement latéral de ce sol en direction horizontale.

Ces deux causes sont nettement mises en évidence dans tous les résultats fournis par les essais de charge sur échantillons et sur le terrain ; ces résultats sont indiqués dans leurs détails. La participation de ces deux causes à l'affaissement total est très différente, suivant l'importance de la surface de charge et la profondeur de fondation, naturellement aussi d'après la nature du terrain. L'auteur s'efforce de séparer ces deux causes l'une de l'autre, tant pour les séries d'essais qui ont été effectués au laboratoire que pour les essais courants, sur place, en charge verticale et pour les essais sur forage avec l'appareil de compression latérale de Kögler.

### Summary.

The sinking of a structure is caused by :

a) Compression of the layers of soil in the vertical direction,

b) Lateral movements of the soil in a horizontal direction.

Both these causes can be clearly recognised in all results of research and test loading : this is shown in detail. The extent to which each of these two factors contributes to the total sinking differs greatly, depending on the size of loaded surface, on the depth of foundations, and of course also on the nature of the ground. An attempt is made here to show the separate influences of these two factors ; this is done for the available series of laboratory tests, for the usual test loadings with vertical load, and for investigations of the soil in boreholes by means of the Kögler lateral-pressure apparatus.

Dr. Ing. L. ELLERBECK,

Ministerialrat, Reichsverkehrs-Ministerium, Berlin.

Nach dem Bericht von Regierungs- und Baurat Ehrenberg, Berlin.

Die Erdbauabteilung der Versuchsanstalt für Wasserbau und Schiffbau zu Berlin hat sich mit Untersuchungen auf dem Gebiete der Tragfähigkeit des Baugrundes beschäftigt. Einige Ergebnisse mögen hier kurz mitgeteilt werden.