

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

Band: 1 (1932)

Artikel: Tragfähigkeit der Flachgründungen

Autor: Terzaghi, Karl v.

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-668>

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: 05.04.2026

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

ÉTUDE DES SOLS DE FONDATION
BAUGRUNDFORSCHUNG
RESEARCH CONCERNING BUILDING GROUND

VII B.

RÉSISTANCE DES FONDATIONS EN FAIBLE PROFONDEUR
TRAGFÄHIGKEIT DER FLACHGRÜNDUNGEN
BEARING CAPACITY OF SHALLOW FOUNDATIONS

Dr. Ing. **KARL v. TERZAGHI**,
Professor an der Technischen Hochschule, Wien

Voir aussi « Publication Préliminaire », p. 659. — *Siehe auch « Vorbericht », S. 659.*
See also " Preliminary Publication ", p. 659.

Seit diese Abhandlung eingereicht wurde, sind folgende neue Ergebnisse zu verzeichnen.

Herr Ingenieur Walter Bernatzik, Assistent des Verfassers an der Wiener Technischen Hochschule, untersuchte die Beziehung zwischen der Grösse der Hauptspannungen und der zugehörigen Deformationen für ein Druckintervall 0-2 kg/cm² für kohäsionslose Sande. Fig. 1 zeigt das Ergebnis für einen eingerüttelten Sand mit einer Porenziffer 0,6. Aus diesem Diagramm geht hervor, dass die Poisson-Ziffer $\frac{1}{m}$ ausschliesslich von der Grösse der Längsdeformation abhängt ohne Unterschied des Spannungszustandes, welcher dieser Längszusammendrückung entspricht. Mit zunehmender Zusammendrückung nimmt der Wert von $\frac{1}{m}$ rasch zu. Der Apparat, welchen Ing. Bernatzik bei diesen Versuchen benützte, ist in der Fig. 2 und 3 dargestellt. Die Versuchsanordnung gestattet, die Hauptspannungen gleichzeitig und mit nahezu konstanter Geschwindigkeit zu steigern. Das Wesen des Verfahrens bestand darin, dass die Sandzelle durch Herstellung eines partiellen Vakuums in ihrem Innern unter allseitigen Druck

gesetzt wurde. Obendrein wurde noch ein achsialer Druck hinzugefügt, der ebenfalls durch einen mit der Belastungsvorrichtung gekuppelten Vakuumzylinder erzeugt wurde. Die Sandzelle und der zur Erzeugung der Zusatzbelastung benützte Vakuumzylinder waren derart miteinander verbunden, dass die auf den Sand wirkenden Kräfte in gleichem Verhältnis zunahmen.

Eine weitere Versuchsreihe Bernatziks umfasste eine grössere Zahl von Belastungsproben auf kohäsionslosem Sand, zum Zwecke der Feststellung des Einflusses verschiedener variabler Faktoren auf die Senkung einer kreisrunden Lastfläche. Die variablen Faktoren waren wie folgt :

Verhältnis zwischen dem Durchmesser der Lastfläche und der Dicke der Sandschicht, auf der die Lastfläche ruht,

Grösse der Belastung pro Flächeneinheit der Lastfläche,

Beschaffenheit der Unterlage der Last und zwar : reibungslose Gummihaut, Gummihaut versteift durch angeklebte raue Ringe, starre Platte mit geschmierter Unterseite und starre Platte mit rauher Unterseite.

Nachdem die Versuche einer der ersten Versuchsreihen (Fig. 1) und jene der zweiten Versuchsreihe (Belastungsproben) mit gleichem Sand bei gleicher Dichte vorgenommen wurden, war Ing. Bernatzik in der Lage, aus den Setzungsdaten unter Verwertung der Ergebnisse der Sandzellenversuche eine Abschätzung der im Sand unterhalb des Mittelpunktes der Lastfläche herrschenden Horizontalspannungen vorzunehmen. Fig. 4 zeigt die Verteilung der lotrechten und wagrechten Spannungen für verschiedene Werte

der Poissonziffer $\frac{1}{m}$ nach der Theorie von Boussinesq, für die unterhalb des Mittelpunktes eines kreisrunden Lastbündels gelegenen Punkte eines elastischen Halbraumes. Die Kurven C_I und C_{II} zeigen die von Bernatzik ermittelten wagrechten Spannungen für eine voll-

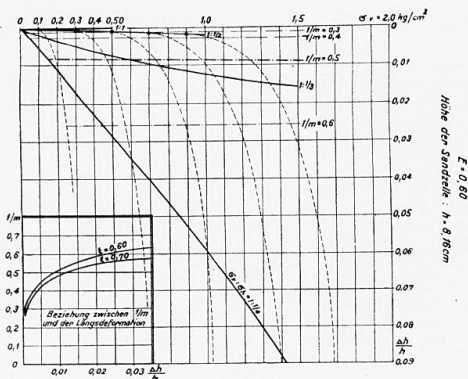


Fig. 1.

Beziehung zwischen $1/m$ und der Längsdeformation = relation entre $1/m$ et la déformation longitudinale = relation between $1/m$ and longitudinal deformation. Höhe der Sandzelle = hauteur de l'éprouvette de sable = Height of the sand cell.

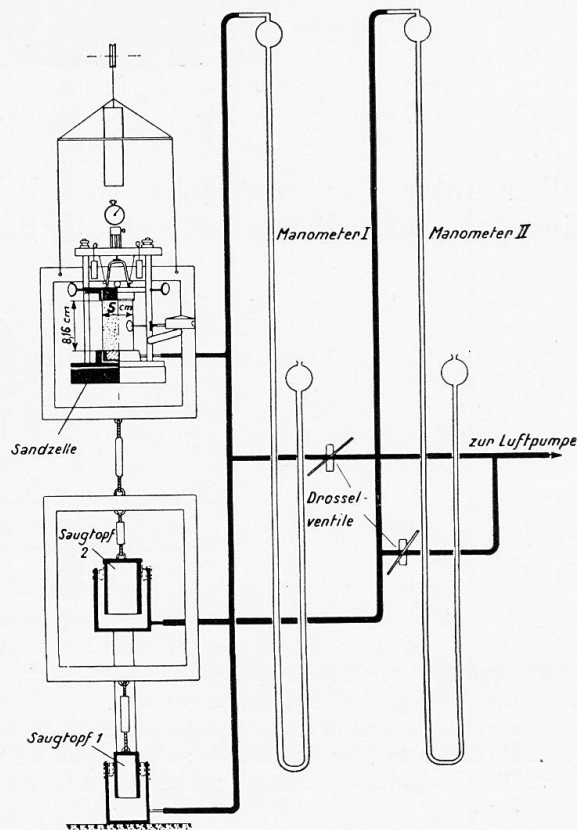


Fig. 2. — Manometer. Pressure gauge. — Sandzelle = éprouvette de sable = Sand cell. Saugtopf = chambre d'aspiration = Suction cylinder. Drosselventile = robinet = Throttle valve. Luftpumpe = pompe à air = air pump.

ständig glatte Membrane (C_I) und für eine durch raue Ringe versteifte Membrane (C_{II}). Das Schaubild zeigt, dass die Horizontalspannungen unmit-

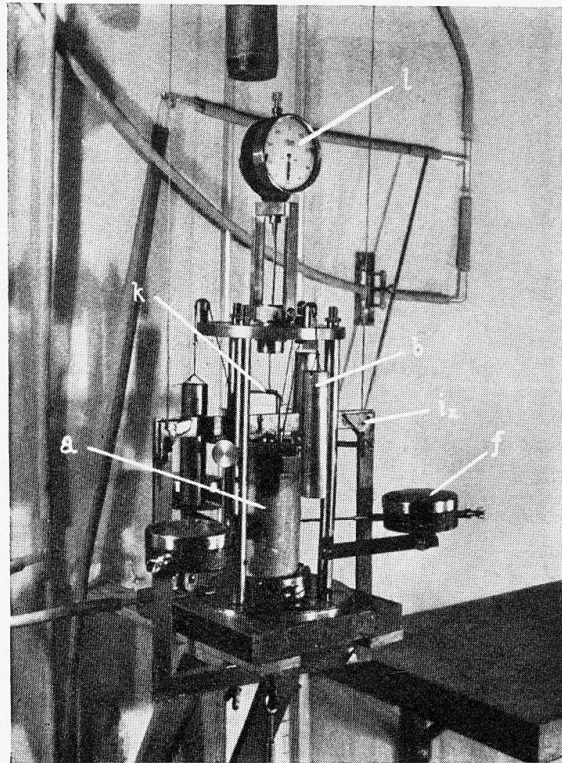


Fig. 3.

telbar unter der Lastfläche wesentlich kleiner, in einer Tiefe von $2a$ hingegen wesentlich grösser als die nach Boussinesq berechneten Horizontal-

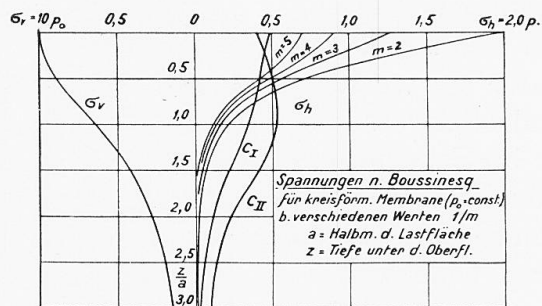


Fig. 4.

Spannungen n. Boussinesq = tensions suivant Boussinesq = Stresses according to Boussinesq. Für kreisförm. Membrane ($p_0 = \text{const.}$) = pour une membrane circulaire ($p_0 = \text{constante}$) = for circular membranes ($p_0 = \text{const.}$).

Bei verschiedenen Werten $1/m$ = pour différentes valeurs de $1/m$ = with various values $1/m$. a = Halbmesser der Lastfläche; a = rayon de la surface de charge; a = radius of loaded area. z = Tiefe unter d. Oberfläche; z = profondeur au-dessous de la surface; z = depth below surface.

spannungen sind. Fig. 5 enthält eine graphische Uebersicht über die wichtigsten Versuchsergebnisse.

In meinem Bericht wurde erwähnt, dass das American Foundation Commit-

tee of the American Soc. of Civ. Eng. im Begriffe steht, die Setzungsanalyse eines Bauwerkes in Cambridge durchzuführen. Fig. 6 zeigt die Ergebnisse dieser Arbeit : Die voll ausgezogenen Kurven geben die gemessenen und die strichlierten Kurven die berechneten Linien gleicher Setzung an. Die Figur liefert neuerdings ein Beispiel für die Tatsache, dass wir heute schon' in der

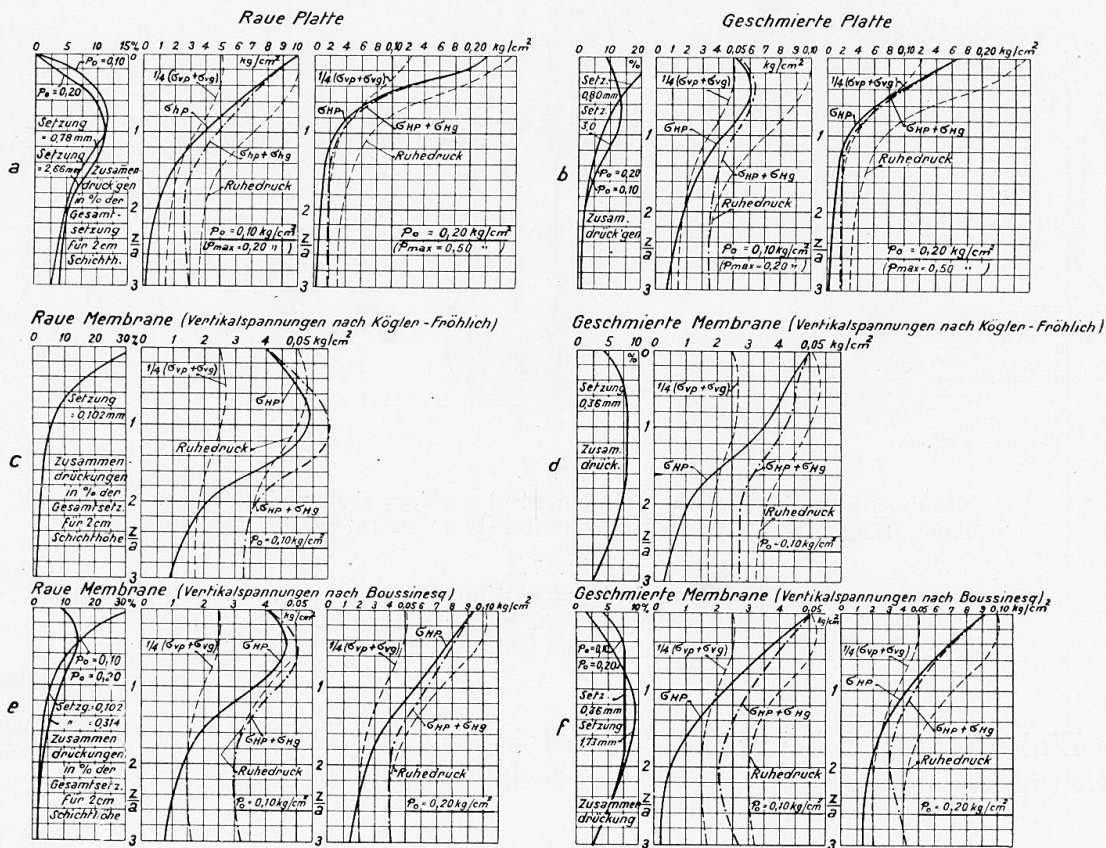


Fig. 5.

- | | |
|-------------------------------------|----------------------|
| Surface brute | Surface graissée |
| Rauhe Platte | Geschmierte Platte |
| Rough plate | Lubricated plate |
| Membrane brute | Membrane graissée |
| Rauhe membrane | Geschmierte membrane |
| Rough membrane | Lubricated membrane |
| (Contraintes verticales d'après...) | |
| (Vertikalspannungen nach...) | |
| (Vertical stresses according to...) | |

Setzung = affaissement = settlement.

Zusammendrücken in % der Gesamtsetzung für 2 cm Schichthöhe... = compressions en % de l'affaissement total pour une hauteur de couche de 2 cm = compressions in % total settling for layer 2 cm thick.

Ruhedruck = stabilité à la compression (voir Publication préliminaire, page 674) = Static pressure.

Lage sind, in manchen Fällen die Verteilung der Setzungen über den Grundriss eines Bauwerkes mit hinreichender Genauigkeit vorherzusagen.

Dr. O. K. Fröhlich (den Haag) untersuchte auf Grund einer Modifikation der Boussinesq'schen Grundgleichungen die im Untergrund einer Lastplatte herrschenden Spannungszustände. Er kam hiebei unter anderem zu folgendem Resultat : Wenn man die Grösse der Belastung der Fläche von null ausge-

hend allmählich steigert, so wird der Mohr'sche Grenzzustand innerhalb des Sandes zuerst innerhalb einer schmalen, ringförmigen, unterhalb des Randes der belasteten Fläche gelegenen Zone überschritten (Fig. 7). Mit zunehmender Last wird der Querschnitt dieses ringförmigen Störungsraumes immer grösser, bis schliesslich die Tragfähigkeit des Grundes überschritten wird.

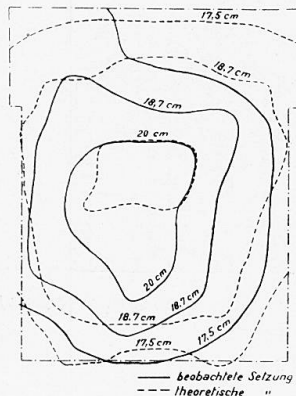


Fig. 6.

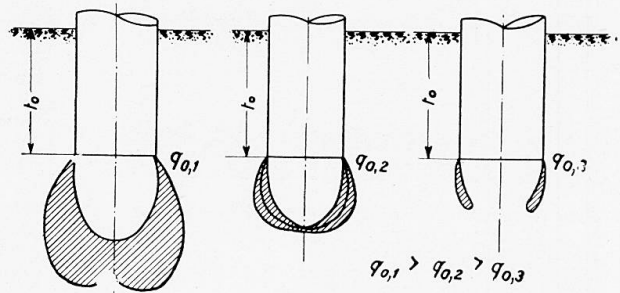


Fig. 7.

Fig. 6..

Beobachtete Setzung = affaissement observé = observed settling.
Theoretische Setzung = affaissement calculé = theoretical settling.

Fig. 7.

Schnitt = section.

Rauhe Membrane = Membrane brute = Rough membrane.
Geschmierte Membrane = Membrane graissée = Lubricated membrane.

Die Einheitslast q_{op} , bei welcher der Mohr'sche Grenzzustand zum erstenmal örtlich überschritten wird, ist nach Fröhlich durch folgende Formel gegeben :

$$q_{op} = \frac{\pi (\gamma_s - \gamma_F) (1 - n) t_0}{ctg \varphi_r - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_r \right)}$$

In dieser Formel bedeuten :

γ_s das Raumbgewicht der Festsubstanz in kg/cm^3

γ_F das Raumbgewicht des Poreninhaltes in kg/cm^3

n das Porenvolumen

t_0 die Gründungstiefe in cm

und φ_r den Winkel der inneren Reibung im Bogenmass.

Aus dieser Formel geht hervor, dass die Belastung q_{op} von dem Durchmesser der belasteten Fläche unabhängig ist und lediglich von der Gründungstiefe abhängt. Für eine Gründungstiefe $t_0 = 0$ wird auch der Wert $q_{op} = 0$.

Die Werte, die sich aus dieser Formel ergeben, scheinen mit den bisher vorliegenden praktischen Erfahrungen gut übereinzustimmen und entsprechen etwa den für Sand als zulässig betrachteten Belastungswerten.

Vor kurzem hatte der Verfasser Gelegenheit, die Senkung einer dünnen Stahlhaut (Boden eines Flüssigkeitsbehälters) mit einem Durchmesser von 30,00 m unter dem Einfluss einer gleichmässig verteilten Belastung von 1,5

kg/cm² einmessen zu lassen. Der Behälter ruhte auf einer Lage von weichem Ton. Die Ergebnisse der Einmessung sind in Fig. 8 dargestellt und zeigen in sinnfälliger Weise, dass eine gleichmässig verteilte Flächenlast keineswegs eine gleichförmige Senkung hervorruft. Obendrein zeigt die Figur, dass die in den Formeln für die Berechnung von elastisch gestützten Gründungskörpern vorkommende « Bettungsziffer » keineswegs einen eindeutig bestimmten Wert hat. Weitere Untersuchungen des Verfassers führten auch zu dem Schluss, dass die Bettungsziffer nicht bloss von den Abmessungen des unterstützten Körpers und den elastischen Eigenschaften des unterstützenden Mediums,

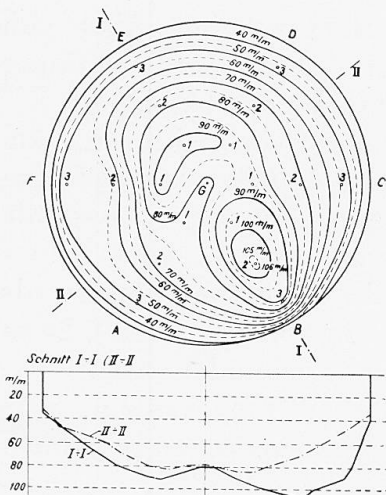


Fig. 8.
Coupe = Schnitt = Section.

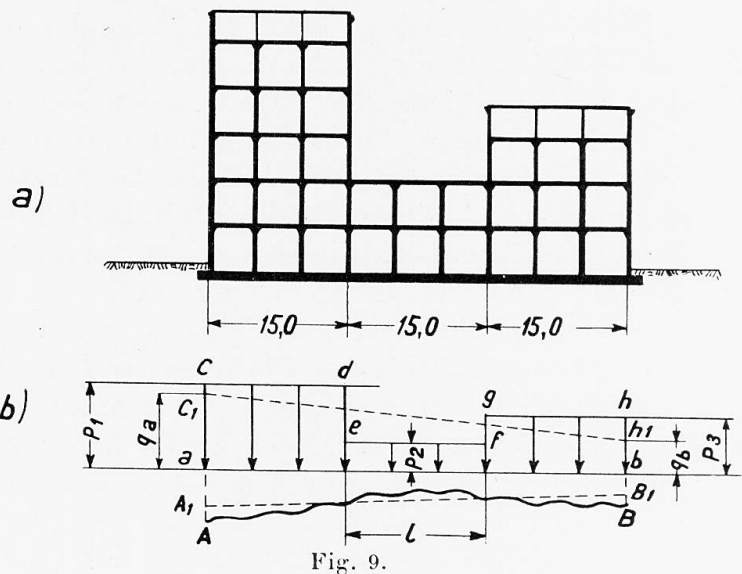


Fig. 9.

sondern auch in hohem Mass von der Wellenlänge der elastischen Linie des abgestützten Körpers abhängt¹. Bezeichnen :

a die Entfernung zwischen zwei benachbarten Wendepunkten der elastischen Linie,

s die Senkung einer kreisrunden Lastplatte mit einem Durchmesser a unter dem Einfluss einer Einheitsbelastung q pro Flächeneinheit und

k den Wert der Bettungsziffer,

so sind nach den Ergebnissen der Untersuchungen des Verfassers die Werte der Bettungsziffer in roher Annäherung durch folgende Formel bestimmt :

Für eine elastische Linie mit nicht mehr als zwei Wendepunkten

$$k = \frac{5}{4} \frac{q}{s}.$$

Für eine elastische Linie mit mehr als zwei Wendepunkten

$$k = \frac{5}{4} \frac{q}{s} \text{ für die beiden äussersten Wellen und}$$

$$k = \frac{15}{4} \frac{q}{s} \text{ für die Innenwellen.}$$

1. K. v. Terzaghi, Bodenpressung und Bettungsziffer, Jahrbuch des Oest. Betonvereins 1931 und Oest. Bauzeitung, 1932.

Fig. 9 zeigt einen Schnitt durch einen Eisenbetonrahmenbau mit einer Plattenfundierung auf einer mächtigen Sandschichte. Aus den Ergebnissen einer Belastungsprobe auf einer kreisrunden Lastplatte mit einem Durchmesser von 0,30 m ergab sich der Wert der Bettungsziffer mit $k = 5 \text{ kg/cm}^3$.

Für die Werte der Bettungsziffer, die man bei der Berechnung der Fundamentplatte des in Fig. 9 dargestellten Rahmenbaues verwenden muss, ergeben sich aus den obzitierten Formeln die Werte von k mit :

$k = 1,0 \text{ kg/cm}^3$ für die Wellen erster Ordnung,

$k = 3,4$ » » für die äusseren Wellen zweiter Ordnung und

$k = 10,2$ » » für die Innenwellen zweiter Ordnung.

Diese Ziffern zeigen, dass der Wert der Bettungsziffer in hohem Mass von der Gestalt der elastischen Linie, das heisst von der Art der Lastverteilung und von den Abständen zwischen den Angriffspunkten der Last abhängt.

In der gleichen Abhandlung untersuchte der Verfasser die Faktoren, von denen die Beziehung zwischen der Gesamtsetzung und den Setzungsdifferenzen abhängt. Aus den Ergebnissen der Untersuchungen geht hervor, dass die Setzungsdifferenzen, die bei einer gesamten Setzung von 0,02 m eines Gebäudes mit Sockelfundierung auftreten, viel gefährlicher sein können als die Setzungsdifferenzen, die mit einer mittleren Gesamtsetzung von 0,20 m eines Gebäudes mit einer Platten- oder Pfahlfundierung verbunden sind.

Schliesslich sei noch auf die dringende Notwendigkeit hingewiesen, verhältnismässig einfache Methoden für die Bestimmung der zulässigen Setzungsdifferenz abzuleiten. Die zulässige Setzungsdifferenz hängt offenkundigerweise in hohem Masse von der Art des Oberbaues und der mittleren Entfernung zwischen den Angriffspunkten der Last ab. Die herrschende Gepflogenheit, die zulässige Bodenpressung ohne Rücksicht auf die Beschaffenheit des Oberbaues zu wählen, ist veraltet und gefährlich.

Traduction.

Depuis que ce rapport a été présenté, les nouveaux résultats, ci-après exposés, ont été obtenus.

M. Walter Bernatzik, ing., assistant de l'auteur à l'École Technique Supérieure de Vienne, a étudié la relation entre l'importance des contraintes principales et les déformations correspondantes, pour une gamme de compressions de 0 à 2 kg/cm^2 et pour des sables sans cohésion. Les résultats obtenus sont indiqués sur la figure 1, pour un sable tassé par secousses et accusant un coefficient de vide de 0,6. Il résulte de ce diagramme que le coefficient de Poisson $1/m$ dépend exclusivement de la valeur de la déformation longitudinale, sans distinction de l'état de tension qui correspond à cette compression longitudinale. Lorsque la compression augmente, la valeur de $1/m$ augmente rapidement. L'appareil qui a été utilisé par l'ing. Bernatzik pour ces essais est représenté sur les figures 2 et 3. La disposition adoptée pour les essais permet de faire croître les contraintes principales simultanément et à une allure presque constante. Le principe de la méthode consiste à soumettre l'élément de sable à la pression sur tous les côtés, en créant un vide partiel dans la