

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Article, Published Version

Pietsch, Christian

Ergebnisse von Vergleichsberechnungen

Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106197>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Pietsch, Christian (1982): Ergebnisse von Vergleichsberechnungen. In: Mitteilungen der Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau; Schriftenreihe Wasser- und Grundbau 44. Berlin: Forschungsanstalt für Schifffahrt, Wasser- und Grundbau. S. 97-114.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



4. Ergebnisse von Vergleichsberechnungen

4.1. Allgemeines

Zur Beweisführung für die Richtigkeit der vorgelegten Lösungen und der mathematischen Ansätze wurde anhand von Vergleichsberechnungen das Last-Setzungsverhalten starrer Lastplatten und Fundamente untersucht. Aus der Vielzahl der durchgerechneten Beispiele werden einige ausgewählt, die vor allem den typischen Einfluß der plastischen Setzungen aufzeigen. Die Ergebnisse werden mit den Lösungen der üblichen Berechnungsverfahren verglichen. Damit wird zugleich die Leistungsfähigkeit des vorgeschlagenen Verfahrens für die Setzungsrechnung und für die Ermittlung der Sohldruckverteilung unter starren Fundamenten demonstriert.

Die Beispiele zeigen die Setzungen in Abhängigkeit von der Sohl-
pression und der Fundamentgröße, den Ausweis der elastischen und
plastischen Setzungsanteile, die Abhängigkeit des Verformungsmoduls
von der Belastung und der Geometrie der Lastfläche, den Setzungs-
verlauf mit der Tiefe und die Auswirkung der plastischen
Setzungen auf die Sohldruckverteilung von starren Fundamenten.

Die Vergleichsberechnungen wurden vorwiegend als Parameterunter-
suchungen durchgeführt, um eine ausreichend qualitative Überein-
stimmung der Rechenergebnisse mit den Versuchsergebnissen nachzu-
weisen. Ein direkter quantitativer Vergleich mit Einzelversuchen
ist dagegen oft nicht möglich, da die erforderlichen Erdstoff-
kennwerte meist nicht vollständig bekannt sind, eine ausreichende
Schichtmächtigkeit (auch bei großen Setzungen) zur unbehinderten
Ausbildung der Gleitflächen häufig nicht gewährleistet ist und
außerdem das Last-Verformungsverhalten bei nichtbindigen Erdstof-
fen ganz erheblich durch die scheinbare Kohäsion beeinträchtigt
wird. Zusammen mit dem Tragkraftbeiwert λ_c , der in starkem Maße
von der Größe des Reibungswinkels ϕ abhängig ist, beeinflusst die
scheinbare Kohäsion c_u bzw. eine geringfügige Veränderung der
Werte von c_u und ϕ wesentlich die Größe der mittleren Grundbruch-
spannung und damit das Last-Setzungsverhalten. Dabei wurde bei
den Vergleichsberechnungen vorausgesetzt, daß die Lasteintra-

gungszeit groß genug ist, um ein Auftreten von Porenwasserüberdruck mit Auswirkungen auf die Scherfestigkeit auszuschließen.

Darüber hinaus ist zu beachten, daß für die Darstellung der Last-Setzungslinie ein Vergleich der Ergebnisse des neuen Verfahrens mit den Lösungen der üblichen Berechnungsverfahren nur bedingt möglich ist. Das liegt daran, daß bei einer Setzungsberechnung mit Verwendung von Verformungsmoduln E_0 bzw. Steifemoduln M_0 gewöhnlich nur die Setzungen für ein Belastungsintervall der Last-Setzungslinie ermittelt werden, der wirkliche Verlauf der Last-Setzungslinie damit jedoch nicht erfaßt werden kann.

Bei der Auswertung von experimentellen Untersuchungen wird die Treffsicherheit der Berechnung auch durch Störungen beeinflusst, die zu Versuchsbeginn auftreten (Bettungseffekt nach ALTES /3/). Es wird deshalb eingeschätzt, daß eine Übereinstimmung zwischen den Messergebnissen und der Nachrechnung eines Einzelversuchs für die Beweisführung noch nicht ausreichend ist und stattdessen vergleichende Parameteruntersuchungen bessere Aussagen ermöglichen.

Für alle Berechnungsbeispiele sind die Zahlenwerte der Bauwerks- und Baugrundparameter in Tabelle 6 zusammengefaßt. Die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen werden in den Bildern 21 bis 29 und in Tabelle 7 dargestellt. Es handelt sich um Lastplatten bzw. starre Fundamente auf weichem Schluff (Bilder 21, 23 bis 25, 28), mitteldicht gelagertem Sand (Bild 29, Tabelle 7) sowie dicht gelagertem Sand (Bilder 22, 26 und 27).

Bei den Beispielen wurden im allgemeinen die setzungswirksamen Verformungen nach TGL 11464/01 /72/ einheitlich bis zu einem Grenztiefenverhältnis von $z_a/B = 2$ berücksichtigt sowie mit den mittleren Setzungen (Setzungseinflußwert $f_{z(mt)}$ nach Gl. (50), vgl. S. 75) gerechnet. Für einige Beispiele wurden die Angaben zum Grenztiefenverhältnis z_a/B von MUHS /39/ (Bilder 22, 26 und 27) sowie von OHDE /48/ (Tabelle 7) entnommen und die dort benutzten Verfahren der Setzungsberechnung nach FISCHER (Bilder 26 und 27) und SCHLEICHER /56/ bzw. BOUSSINESQ /7/ (Tabelle 7) zugrunde gelegt.

Tabelle 6. Zahlenwerte der Berechnungsbeispiele.

Bezeichnung	Bilder Nr.						Tabelle 7
	21	22	23,24,25	26,27	28	29	
B [m]	0,5	1	variabel	variabel	0,5	1	1
L [m]	0,5	1	variabel	variabel	0,5	1	10
D [m]	0,5	0	variabel	(0); 0,5	0,5	0,5	0; 0,5
B/L [1]	1	1	1	0,25; 1	1	1	0,1
D/B [1]	1	0	1	variabel	1	0,5	0; 0,5
γ, γ_B [kN/m ³]	18	10,5	18	(10,5)12	18	18	18
$E(0)$ [MN/m ²]	5,5	60	5,0+ $\lambda \cdot D$	60	5,5	50	50
λ [kN/m ³]	1	0	1	0	1	0	0
ν [1]	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33	0
ϕ [°]	25	41	25	42,7	25	37,5	37,5
c_u [kN/m ²]	0	0	0	5,5	0	0	0
z/B [1]	2	3	2	3	2	2	∞

4.2. Abhängigkeit der Setzungen von der Sohldruckung

Die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen sind in Form der Last-Setzungslinie in Bild 21 für einen weichen Schluff und in den Bildern 22 bzw. 29 (vgl. S. 110) für einen dicht bzw. mitteldicht gelagerten Sand angegeben. In Bild 21 ist außerdem der Anteil der elastischen und plastischen Setzungen sowie der Einfluß der tiefenabhängigen Zunahme des Elastizitätsmoduls $E(z)$ dargestellt. Die Angaben beschränken sich jeweils auf die Erstbelastung, für die Entlastung bzw. Wiederbelastung gelten die Ausführungen nach Abschnitt 3.3.1..

Bei dem Beispiel in Bild 22 handelt es sich um die Nachrechnung eines Degebo-Versuchs (NAUJOKS /45/) für ein Quadratfundament auf der Oberfläche einer grundwasserführenden Schicht. Dabei wurde zur Bestimmung der mittleren Grundbruchspannung eine tragkräfterhöhende Setzung von 0,18 m berücksichtigt und für die Setzungsrechnung ein Elastizitätsmodul $E(0) = 60 \text{ MN/m}^2$ verwendet, der von

MUHS /39/ (vgl. Abschnitt 4.5., Bild 26, S. 106) aus der Rückrechnung von Setzungsmessungen der Degebo-Versuche - allerdings nach dem Verfahren von FISCHER - ermittelt worden ist.

Für die Vergleichsberechnungen wird angenommen, daß bei der Lasteintragung die Hebungen aus der Entlastung infolge Erdaushub abgeklungen sind, so daß entsprechend TGL 11464/01 /72/ kein Abzug des Erdaushubs von der Sohlpressung erfolgt. Wegen des relativ geringen Betrags der Spannung infolge Erdauflast wird jedoch davon abgesehen, für die Spannungszunahme bis zur Größe der Erdauflast nach TGL 11464/01 /72/ mit dem Verformungsmodul für die Wiederbelastung zu rechnen.

Der Einfluß von Kohäsion, Gründungstiefe und Zunahme des Reibungswinkels, der hier nicht wiedergegeben ist, bewirkt über die Vergrößerung der mittleren Grundbruchspannung nach Gl. (8) in Verbindung mit dem rechnerischen Verformungsmodul nach Gl. (6)

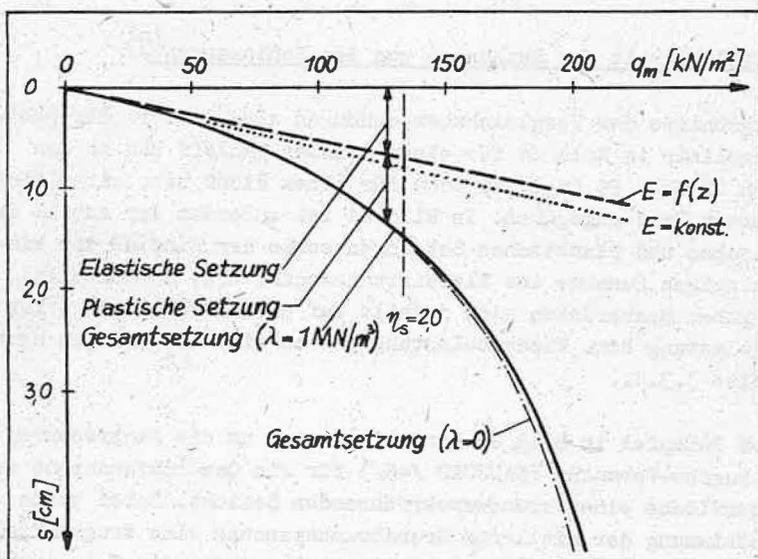


Bild 21. Last-Setzungslinie eines starren Fundamentes auf weichem Schluff (Zahlenwerte vgl. Tabelle 6).

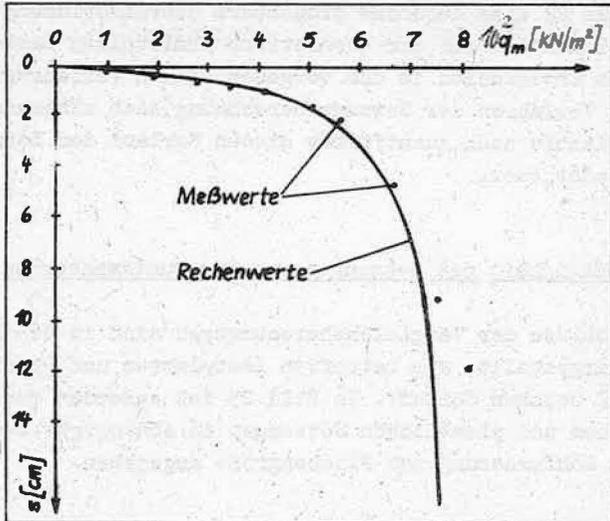


Bild 22. Last-Setzungslinie eines starren Fundamentes nach Versuch und Theorie.

(Versuch Nr. 50 von NAUJOKS /45/,
dicht gelagerter Sand im Grundwasser.
Zahlenwerte nach Tabelle 6).

(Gln. (6) und (8) vgl. S. 43) eine Verringerung der plastischen Setzungen. Dabei kann auch berücksichtigt werden, daß mit wachsender Gründungtiefe der Elastizitätsmodul $E(0)$ zunimmt.

Die Vergleichsberechnungen bestätigen qualitativ die Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen (Abschnitt 2.1.2., Bilder 3, 4a und 4c, vgl. S. 19 und 20). Es zeigt sich, daß ein Initialbereich mit geradlinigem Setzungsverlauf nur für kleine Sohlpressungen zu beobachten ist und bereits im Gebrauchszustand nichtlineare plastische Setzungen auftreten, die von der üblichen Setzungsberechnung nicht erfaßt werden. Bei steigender Sohlpressung überwiegen die plastischen gegenüber den elastischen Setzungen. Der Tiefenfaktor λ beeinflusst nur unwesentlich den Verlauf der Last-Setzungslinie.

Für die Nachrechnung eines Degebo-Versuchs ergibt sich entspre-

chend Bild 22 eine durchaus brauchbare Übereinstimmung zwischen der experimentell und der theoretisch ermittelten Last-Setzungslinie. Im Unterschied zu dem vorgeschlagenen Verfahren können die üblichen Verfahren der Setzungsberechnung auch näherungsweise weder qualitativ noch quantitativ diesen Verlauf der Last-Setzungslinie wiedergeben.

4.3. Abhängigkeit der Setzungen von der Fundamentgröße

Die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen sind in den Bildern 23 bis 25 dargestellt, sie betreffen Lastplatten und starre Fundamente auf weichem Schluff. In Bild 25 ist außerdem der Anteil der elastischen und plastischen Setzungen in Abhängigkeit von den Parametern Sohlpressung und Flächengröße angegeben.

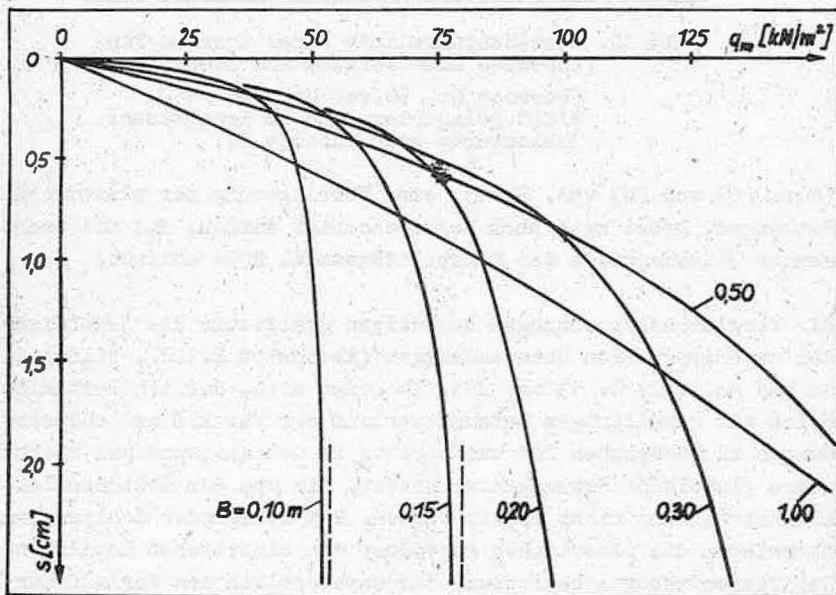


Bild 23. Last-Setzungslinien starrer Fundamente auf weichem Schluff in Abhängigkeit von der Breite der Lastflächen. (Eingangswerte für die Berechnung vgl. Tabelle 6).

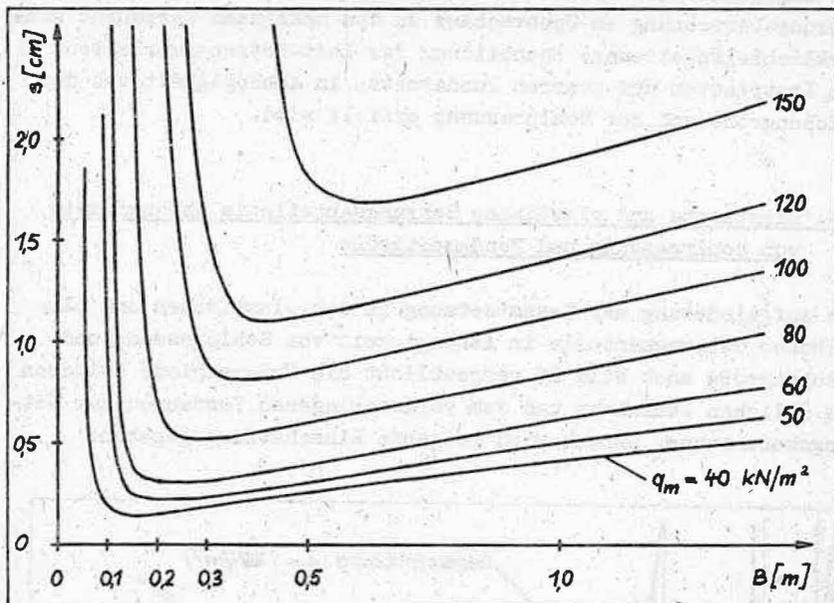


Bild 24. Setzung starrer Fundamente auf weichem Schluff in Abhängigkeit von der Lastflächenbreite und der Schlußpressung. (Eingangswerte für die Berechnung vgl. Tabelle 6).

Die Ergebnisse dieser Berechnungen bestätigen qualitativ die Erkenntnisse der experimentellen Untersuchungen (Abschnitt 2.1., Bild 1, S. 16, und Bild 3, S. 19). Danach sind die plastischen Setzungen bei kleinen Fundamenten von ausschlaggebender Bedeutung. Mit wachsender Fundamentgröße gehen die plastischen Setzungen stark zurück, ihr Einfluß nimmt aber mit steigender Schlußpressung wieder zu. Je nach Flächengröße und Belastung ergibt sich ein unterschiedlicher Ausnutzungsgrad der mittleren Grundbruchspannung. Die Ergebnisse weisen aus, daß für die Einschätzung des Last-Verformungsverhaltens nicht die absolute Größe der mittleren Schlußpressung, sondern das Verhältnis der mittleren Schlußpressung zur mittleren Grundbruchspannung des Baugrundes entscheidend ist. Die in den Bildern 23 bis 25 dargestellten plastischen Setzungen können von den herkömmlichen Verfahren der Setzungsberechnung nicht erfaßt werden.

Die angeführten Beispiele beweisen, daß mit der vorgeschlagenen Setzungsberechnung im Unterschied zu den bekannten Verfahren eine wirklichkeitsgetreuere Nachbildung des Last-Setzungsverhaltens von Lastplatten und starren Fundamenten in Abhängigkeit von der Flächengröße und der Sohlpressung erzielt wird.

4.4. Elastische und plastische Setzungsanteile in Abhängigkeit von Sohlpressung und Fundamentgröße

Die Aufgliederung der Gesamtsetzung in die elastischen und plastischen Setzungsanteile in Abhängigkeit von Sohlpressung und Flächengröße nach Bild 25 verdeutlicht die Unterschiede zwischen den üblichen Verfahren und dem vorgeschlagenen Verfahren zur Setzungsberechnung. Danach wird folgende Einschätzung gegeben:

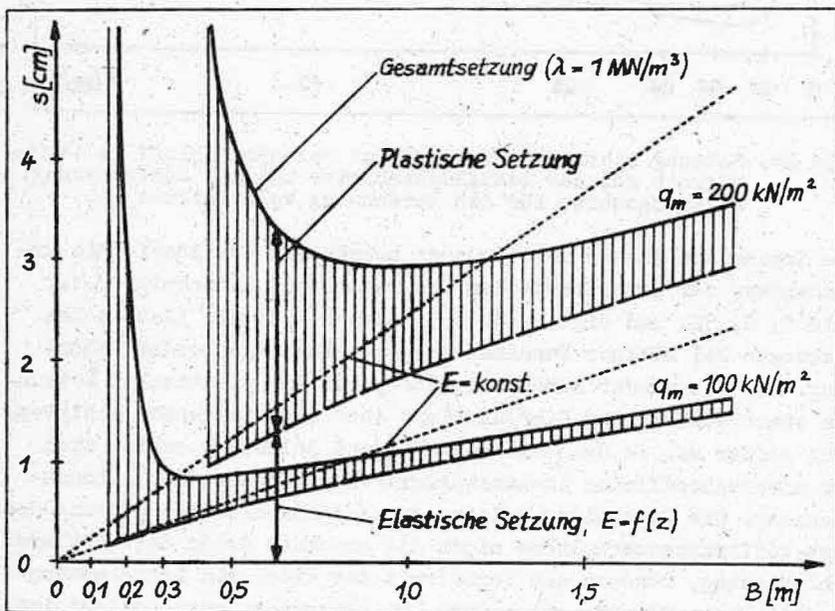


Bild 25. Setzungsanteile der Setzung starrer Fundamente auf weichem Schluff in Abhängigkeit von der Lastflächenbreite. (Eingangswerte für die Berechnung vgl. Tabelle 6).

1. Die Vernachlässigung der plastischen Setzungen führt bei kleinen Fundamenten grundsätzlich zu falschen Ergebnissen.
2. Die Berechnung mit einem konstanten Verformungs- oder Elastizitätsmodul, der von der Flächengröße unabhängig ist, ergibt für große Fundamente zu große Setzungen.
3. Die tiefen- bzw. flächenabhängige Zunahme des Verformungsmoduls liefert für große Fundamente brauchbare Ergebnisse.
4. Im Bereich der mittleren, baupraktisch schon interessierenden Fundamentabmessungen ($B = 0,50$ bis $1,00$ m) treten ebenfalls plastische Setzungen auf, die weder mit einem konstanten Verformungsmodul noch mit Hilfe einer tiefen- bzw. flächenabhängigen Zunahme des Verformungsmoduls erfaßt werden können.
5. Die vorgeschlagene Setzungsberechnung mit dem Ansatz des rechnerischen Verformungsmoduls nach Gl. (6) (vgl. S. 43) darf als brauchbare Methode zur rechnerischen Ermittlung der plastischen Setzungen angesehen werden.

4.5. Abhängigkeit des Verformungsmoduls von der Belastung und der Geometrie der Lastfläche

Bei der Rückrechnung von Setzungsmessungen aus großmaßstäblichen Versuchen, bei denen alle wichtigen Einflußgrößen bekannt waren, wurde bereits von MUHS /39/ nachgewiesen, daß für den hierbei verwendeten Sand der Verformungsmodul V mit wachsender Belastung nach der Formel

$$V \text{ [MN/m}^2\text{]} = 60 - 0,0192 \cdot q_m \text{ [kN/m}^2\text{]} \dots \dots \dots (70)$$

abnimmt und keine Materialkonstante im Sinne der Elastizitätstheorie darstellt. Die von MUHS für die Seitenverhältnisse von $B/L = 1$ und $0,25$ vorgelegten Ergebnisse wurden zur Untersuchung der Abhängigkeit des Verformungsmoduls von der Geometrie der Lastfläche über Gl. (6) (vgl. S. 43) weiter ausgewertet und er-

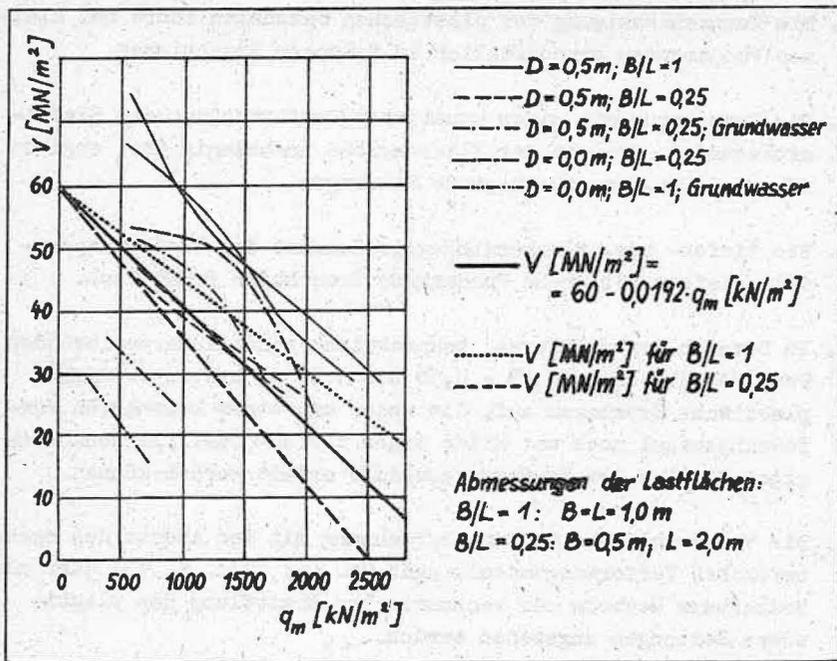


Bild 26. Verformungsmodul aus Belastungsversuchen mit starren Fundamenten auf dicht gelagertem Sand. Lastabhängigkeit nach MUHS /39/, Flächenabhängigkeit nach Gl. (6), S. 43. (Eingangswerte für die Berechnung vgl. Tabelle 6).

gänzend in die Darstellung von MUHS (Bild 26) eingefügt. Die Ergebnisse zeigen insbesondere bei steigender Sohlpressung eine deutliche Abhängigkeit des Verformungsmoduls von der Geometrie der Lastfläche, während Gl. (70) nur einen Mittelwert liefert. Diese Untersuchung ist durch eine Extrapolation für veränderliche Fundamentbreiten erweitert worden (Bild 27). Danach ist der Verformungsmodul wesentlich von der Belastung und von der Geometrie der Lastfläche abhängig. Dieser Einfluß ist vor allem bei kleinen Lastflächen sehr ausgeprägt.

Die Abhängigkeit des Verformungsmoduls von der Geometrie der Lastfläche kann für die Setzungsberechnung auch als horizontale Veränderlichkeit der Baugrundsteifigkeit unter der Fundamentsohle

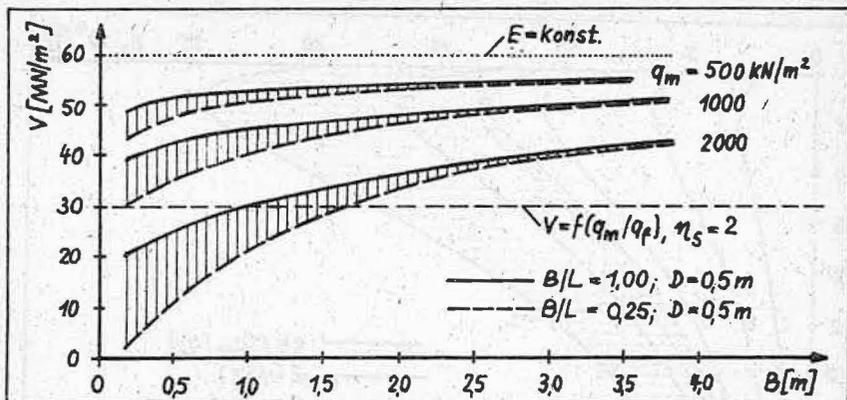


Bild 27. Abhängigkeit des Verformungsmoduls von der Belastung und der Geometrie der Lastfläche für Versuche nach Bild 26, extrapoliert nach Gl. (6) (vgl. S. 43) für variable Fundamentbreite bei gleichem Seitenverhältnis B/L .

gedeutet werden. In Übereinstimmung mit den Untersuchungen von MÜLLER /44/, die mit empirischen Annahmen durchgeführt worden sind, ergibt sich aus Bild 27, daß eine Veränderlichkeit des Verformungsmoduls in horizontaler Richtung einen wesentlich stärkeren Einfluß auf die Ergebnisse ausübt als eine entsprechende Veränderlichkeit in vertikaler Richtung.

Die vorliegenden Ergebnisse zeigen, daß das Last-Setzungsverhalten von Fundamenten wirklichkeitsgetreu berechnet werden kann, wenn man dabei einen Verformungsmodul benutzt, der von der Sohlpressung und der Geometrie der Lastfläche abhängig ist und keinen Festwert im Sinne einer Materialkonstanten darstellt. Damit werden ähnliche Feststellungen von WIENER /77/, KRIEGEL /36/ und NEUBER /46/ bzw. von TERZAGHI /71/ (im Zusammenhang mit der Untersuchung des Bettungsmoduls) bestätigt.

4.6. Setzungsverlauf mit der Tiefe

Die Verteilung der mittleren vertikalen Verzerrungskomponenten ϵ_z (als Mittelwert über die Lastfläche) ist in Bild 28 in Abhängig-

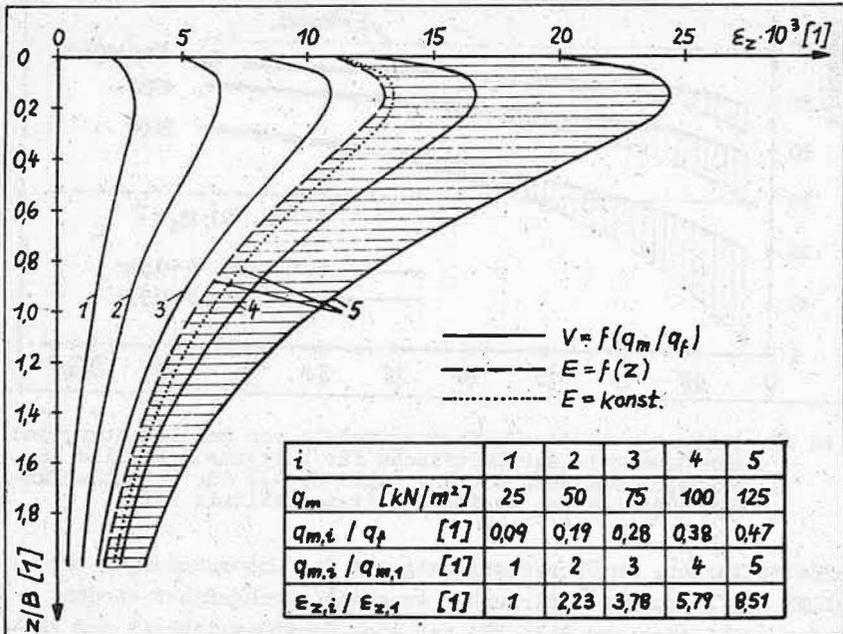


Bild 28. Mittlere vertikale Verzerrungen für ein starres Fundament auf weichem Schluff in Abhängigkeit von der Sohl-
 druckung (Zahlenwerte für Berechnung nach Tabelle 6).

keit von der Sohl-
 druckung für ein starres Fundament auf weichem
 Schluff angegeben. Die dargestellte Verteilung entspricht quali-
 tativ durchaus den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen
 (Abschnitt 2.1.4., S. 23). Bei steigender Sohl-
 druckung ist deut-
 lich die progressiv verlaufende Konzentration der vertikalen Ver-
 zerrungen an der Stelle des Größtwertes $\max \epsilon_z$ zu erkennen. Da-
 nach ergibt sich als wichtige Schlußfolgerung, daß die plasti-
 schen Setzungen bei wachsender Sohl-
 druckung vorrangig in den
 oberflächennahen Schichten auftreten. Im Unterschied dazu liefern
 die üblichen Verfahren bei steigender Sohl-
 druckung nur eine line-
 are Zunahme der lotrechten Verzerrungskomponenten über die gesamt-
 e Schichtdicke.

Die Aussagen zur Grenztiefe nach Abschnitt 2.1.4. können in qua-

litativer Hinsicht ebenfalls bestätigt werden. Eine für die Praxis wichtige quantitative Aussage zur Grenztiefe in Abhängigkeit von den verschiedenen Parametern, wie z. B. Fundamentgröße und Seitenverhältnis, kann allerdings nicht gegeben werden. Eine solche Aussage wird wesentlich davon bestimmt, ob der funktionelle Zusammenhang für die tiefenabhängige Zunahme des Elastizitätsmoduls $E(z)$ nach Gl. (4) (vgl. S. 35) oder anderen Formeln erfolgt. Deshalb sind zur rechnerischen Ermittlung der Grenztiefe noch weitere Untersuchungen notwendig, um Grenztiefen z_a bzw. Verhältnismerte z_a/B auszuweisen, die näherungsweise mit den von KÖNIG/SHERIF /35/ angegebenen relativ niedrigen Werten übereinstimmen.

4.7. Einfluß der plastischen Setzungen auf die Sohldruckverteilung starrer Fundamente

Die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen sind in Bild 29 und in Tabelle 7 für zwei Fundamente auf mitteldichtem Sand dargestellt. Bei dem Fundament nach Tabelle 7 handelt es sich um ein bereits von OHDE /48/ gewähltes Zahlenbeispiel, das durch zusätzliche Annahmen für die Baugrundverhältnisse sowie durch zwei Varianten für die Gründungstiefen $D = 0$ bzw. $0,5$ m erweitert worden ist.

Bei diesen Beispielen wurde die Sohldruckverteilung vereinfacht für die ebene Aufgabe berechnet, um grundsätzlich die Auswirkungen der plastischen Setzungen aufzuzeigen und einen Vergleich mit den üblichen Berechnungsverfahren zu ermöglichen. Für praktische Aufgaben sollte jedoch wegen der räumlich verteilten Grundbruchspannungen eine Lösung als räumliche Aufgabe bevorzugt werden.

Für die Sohldruckberechnung nach dem üblichen Verfahren von OHDE/KANY (d. h. ohne Berücksichtigung der plastischen Setzungen) sind die Ergebnisse in Bild 29b (für $E = \text{konst.}$) und in Tabelle 7 (Spannungseinflußwerte für $q_m/q_f = 0$) aufgeführt.

Die Beispiele zeigen, daß im Unterschied zu den bekannten Berechnungsverfahren die großen Spannungsspitzen am Fundamentrand gar nicht auftreten. Diese Randspannungen versuchte man bisher durch

spannung q_f bzw. die vorhandene Grundbruchsicherheit maßgebend. Mit steigendem Ausnutzungsgrad bzw. mit abnehmender Grundbruchsicherheit wachsen die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der üblichen Verfahren und einer Sohldruckberechnung mit Berücksichtigung der plastischen Setzungen. Das Beispiel in Tabelle 7 zeigt anschaulich, daß diese Unterschiede bereits im Gebrauchszustand ($q_m/q_f \leq 0,5$) zu beachten sind. Aus diesen Untersuchungen leitet sich deshalb die Forderung ab, daß die Sohldruckverteilung stets im Zusammenhang mit der Last-Setzungslinie zu analysieren ist.

Eine Veränderung des Wertes q_m/q_f kann somit wesentlich die Form der Sohldruckverteilung beeinflussen. Das bedeutet, daß Ergebnisse aus Sohldruck- und Setzungsmessungen an Prüfobjekten mit bestimmten Bauwerks-, Baugrund- und Belastungsparametern nicht ohne weiteres auf Bauwerke mit anderen Parametern übertragen werden dürfen, da die Veränderung nur eines Parameters eine erhebliche Veränderung des Wertes q_m/q_f mit Auswirkungen auf die Sohldruckverteilung zur Folge haben kann. Daher ist Vorsicht geboten, Ergebnisse aus Großversuchen und Bauwerksbeobachtungen auf andere Bauwerks-, Baugrund- und Belastungsverhältnisse durch eine empirische Modifikation der Baugrundsteifigkeit zu übertragen (z. B. empirische Abminderung nach MÜLLER /44/, Sohldruckfaktor α und elliptisches Paraboloid nach SEIFFERT /62/).

Die Ergebnisse der Sohldruckberechnung mit Berücksichtigung der plastischen Setzungen können noch verbessert werden, wenn man von der starren Intervallteilung des Fundamentes abgeht und die Intervalle vor allem am Fundamentrand an die dachförmige Verteilung der Grundbruchspannungen anpaßt.

Die Fließerscheinungen am Fundamentrand (Abschnitt 2.1.5., S. 26) können mit einer Berechnung nach Gl. (68) (vgl. S. 95) nicht erfaßt werden. Das ist aber für die Praxis weniger von Bedeutung, da bei den üblichen Baugrund- und Belastungsverhältnissen im Gebrauchszustand kaum mit derartigen Erscheinungen zu rechnen ist.

Abschließend wird eingeschätzt, daß die Untersuchungen über die Auswirkung der plastischen Setzungen auf die Form der Sohldruck-

verteilung für die grundbaustatische Berechnung und Bemessung von Flächen Gründungen von großer Bedeutung sind. In weiterführenden Arbeiten sollte auch der Einfluß der Fundamentsteifigkeit auf die Sohldruckverteilung bei Erfassung der plastischen Setzungen behandelt werden. In Übereinstimmung mit WIENER /77/ sind dabei die bisherigen Steifigkeitskriterien des Baugrundes zu überarbeiten, da sie nur für einen elastisch verformbaren Baugrund gelten.

4.8. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Zur Beweisführung für die Richtigkeit der theoretischen Ansätze wurden Vergleichsberechnungen durchgeführt und die Ergebnisse den bekannten experimentellen Untersuchungen und den Lösungen der üblichen Verfahren gegenübergestellt. Die Beispiele wurden so ausgewählt, daß möglichst umfassend die wesentlichen Erscheinungen des Last-Verformungsverhaltens unter Lastplatten und starren Fundamenten aufgezeigt und vor allem der typische Einfluß der plastischen Setzungen ausgewiesen werden kann.

Die Beispiele zeigen die Setzung von Lastplatten und starren Fundamenten in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern, den Einfluß von Belastung und Geometrie der Lastfläche auf die Veränderlichkeit des Verformungsmoduls sowie die Auswirkung der plastischen Setzungen auf die Sohldruckverteilung starrer Fundamente.

Die Ergebnisse der Vergleichsberechnungen bestätigen qualitativ und z. T. auch quantitativ die Richtigkeit der theoretischen Ansätze. Sie zeigen, daß mit der vorgeschlagenen Setzungsberechnung im Unterschied zu den bisherigen Verfahren eine wirklichkeitstreue Nachbildung des Last-Setzungsverhaltens starrer Fundamente möglich ist. Einschränkungen im quantitativen Nachweis ergeben sich aus dem unsicheren Ansatz der scheinbaren Kohäsion und aus Anfangsstörungen bei den Versuchen.

Die Ergebnisse beweisen, daß bei Setzungs- und Sohldruckberechnungen nicht mit einem Verformungsmodul gerechnet werden sollte, der von den Parametern Flächengröße, Seitenverhältnis B/L , Bela-

stung und Scherfestigkeit unabhängig ist. Bereits im Gebrauchszustand treten vor allem bei kleinen Fundamenten plastische Setzungen auf, was dem wirklichen Verhalten des Baugrundes entspricht. Diese plastischen Setzungen sind für das Setzungsverhalten und damit auch für die Sohldruckverteilung von wesentlicher Bedeutung. So werden mit einer Sohldruckberechnung bei Erfassung der plastischen Setzungen im Unterschied zu den bekannten Verfahren keine großen Spannungsspitzen am Fundamentrand ausgewiesen. Es wird näherungsweise gleich jene Form der Sohldruckverteilung errechnet, die in Wirklichkeit zu erwarten ist.

Entscheidend für das Setzungsverhalten und für die Form der Sohldruckverteilung starrer Fundamente ist nicht die absolute Größe der mittleren Sohlpressung q_m , sondern der Ausnutzungsgrad q_m/q_f der mittleren Grundbruchspannung q_f . Mit steigendem Wert q_m/q_f vergrößern sich daher die Unterschiede zwischen den Ergebnissen der üblichen Verfahren und einer Berechnung mit Berücksichtigung der plastischen Setzungen.

Mit dem vorgeschlagenen Verfahren kann eine Veränderung der bodenmechanischen Kenn- und Berechnungswerte bei Belastungsvorgängen nicht berücksichtigt werden. Das betrifft z. B. die Zunahme der Scherfestigkeit bei lockeren Böden ($I_D \leq 0,2$) bzw. deren Abnahme bei dichten Böden ($I_D \geq 0,65 \dots 0,70$) sowie den Einfluß der Vorbelastung auf die Scherfestigkeit. Die Beispiele zeigen auch, daß die Genauigkeit des Verfahrens von der Treffsicherheit der Grundbruchgleichung bestimmt wird. Das Verfahren ist deshalb - auch im Hinblick auf die Voraussetzungen bei der Ableitung - als Näherungslösung zu betrachten.

Das vorgeschlagene Berechnungsverfahren ist trotz dieser Einschränkungen geeignet, einer Reihe von theoretisch ungeklärten, aber experimentell abgesicherten Ergebnissen bodenmechanisch zuverlässig und mit vertretbarem Aufwand Rechnung zu tragen. Dabei müssen keine komplizierten Stoffgesetze - verbunden mit aufwendigen numerischen Verfahren - angewendet werden. Das Verfahren kann deshalb für die Praxis als brauchbares Berechnungsverfahren zur Ermittlung der Setzungen starrer Fundamente angesehen werden.