

Probekapitel

Grundbau-Taschenbuch

Teil 1: Geotechnische Nachweise

7., überarbeitete u. aktualisierte Auflage

Herausgeber: Karl Josef Witt

Copyright © 2008 Ernst & Sohn, Berlin

ISBN: 978-3-433-01843-9

7. Auflage



GRUNDBAU-TASCHEMUCH

Teil 1: Geotechnische Grundlagen

Karl Josef Witt (Hrsg.)

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Company

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften
GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de

 **Ernst & Sohn**
A Wiley Company

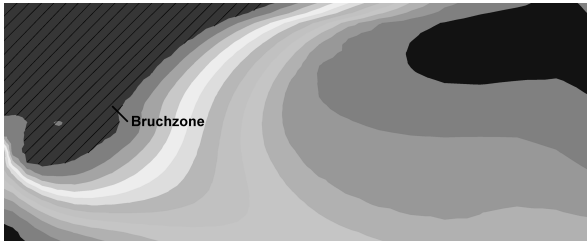


Bild 40. Zonenbruch bei Parallelverschiebung im passiven Grenz-zustand, Wandhöhe $h = 1,00$ m, mitteldichte Lagerung [1]

Ergänzend zeigt Bild 40 den passiven Fall bei einer Parallelbewegung. Wie bei der statischen Lösung von *Sokolowski/Pregl* (s. Bild 12 in Abschn. 3.4) stellt sich ein Zonenbruch mit einer gekrümmten unteren Begrenzung ein (vgl. auch Bild 26 b in Abschn. 3.5).

Die aufgeführten Beispiele zeigen nur einen kleinen Ausschnitt der Literatur zu numerischen Simulationen des Erddrucks mit der FEM. Teilweise werden auch Sonderprobleme behandelt, wie z. B. bei *Arnold* und *Herle*, die FE-Simulationen des räumlichen, passiven Erddrucks bei Druckplatten durchführten [4]. Eine, wenn auch begrenzte, Übersicht gibt *Abdel-Rahman* [1].

4 Ebener, aktiver Erddruck

4.1 Grundsätzliche Überlegungen

Voraussetzung für den Ansatz des aktiven Erddrucks ist eine ausreichend große Wandverschiebung. Je nach Art der Wandbewegung und Lagerungsdichte liegen die erforderlichen Verschiebungen etwa zwischen 0,5 und 5 ‰ der Wandhöhe (s. Abschn. 10.2). Als Anhaltswert darf für mitteldicht bis dicht gelagerte nichtbindige Böden und für steife bis halbsteife bindige Böden bei einer Parallelbewegung von 1 ‰ der Wandhöhe ausgegangen werden. Das heißt z. B., dass bei einer 10 m hohen Wand mit Parallelbewegung bereits eine Verschiebung von 1 cm genügt, um den aktiven Erddruck zu erreichen. Diese Bedingung ist in der Praxis häufig erfüllt. Bei dieser einfachen Anwendungsregel wird die in Versuchen oft beobachtete zusätzliche Abhängigkeit von der Wandhöhe (s. Abschn. 3.5) vernachlässigt.

Wie in Abschnitt 3 gezeigt, liegen für einfache Standardfälle geschlossene Formeln vor, die auf der Grundlage von *Coulombs* Erddrucktheorie und deren Erweiterung auf geneigte Erddruckresultierende, geneigte Wände sowie geneigte Geländeoberfläche abgeleitet wurden. Zu beachten sind die in Bild 41 dargestellten Vorzeichenregeln für die Erddruckneigung δ_a , die Geländeneigung β und die Wandneigung α , die sich auf die neue DIN 4085:2007-10 beziehen. Dabei wurde gegenüber der alten DIN 4085 vom Februar 1987 oder gegenüber den früheren Beiträgen von *Gudehus* zum Grundbau-Taschenbuch und anderem Schrifttum das Vorzeichen der Wandneigung geändert.

Obwohl nicht allgemein zutreffend, hat sich in der Praxis eine additive Zerlegung der Resultierenden E_a des Gesamterddrucks in einen Anteil aus Bodeneigengewicht mit Index g , einen Anteil aus großflächiger Auflast mit Index p und einen Anteil aus Kohäsion mit Index c durchgesetzt. Somit ergibt sich für die Resultierende E_a der Ansatz

$$E_a = E_{ag} + E_{ap} + E_{ac} \quad (37)$$

Der Erddruck e_a wird gleichermaßen aufgeteilt. Exakte Formeln auf der Grundlage der Coulomb'schen Erddrucktheorie wurden von *Groß* hergeleitet [28, 30].

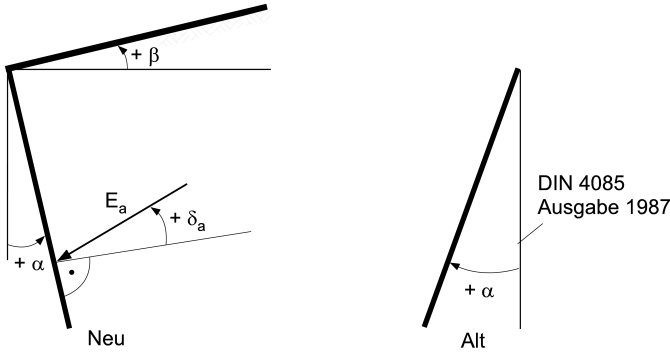


Bild 41. Vorzeichendefinition nach DIN 4085:2007-10 und Vergleich mit alter Definition

Für Anwendungen in der Praxis ist es zweckmäßig, den Erddruck mit Neigung δ_a in einen Horizontal- und einen Vertikalanteil mit Index h bzw. v aufzuteilen. Für den Fall einer vertikalen Wand mit $\alpha = 0$ (s. Bild 42) gilt

$$E_{av} = E_{ah} \cdot \tan \delta_a \tag{38 a}$$

und bei geneigter Wand mit $\alpha \neq 0$

$$E_{av} = E_{ah} \cdot \tan (\delta_a + \alpha) \tag{38 b}$$

Ein weiterer Index wird benötigt, um bei Bemessungsaufgaben den charakteristischen Wert des Erddrucks vom Bemessungswert zu unterscheiden. So bezeichnet z. B. $e_{agh,k}$ den charakteristischen Wert der Horizontalkomponente des aktiven Erddrucks aus Bodeneigengewicht. Entsprechend lautet der Bemessungswert $e_{agh,d}$. Weitere hochgestellte Indizes kommen zur Unterscheidung des ebenen vom räumlichen Erddruck hinzu (s. Abschn. 7).

Die Berechnung des aktiven Erddrucks stützt sich in der Regel auf die Theorie von *Coulomb*, die von einem Gleitkeil ausgeht. Der zu E_a zugehörige Neigungswinkel der Gleitfläche wird mit ϑ_a bezeichnet (Bild 43). Es sei darauf hingewiesen, dass sich im Fall von un stetigen Auflasten der maßgebende aktive Erddruck auch bei einer anderen Gleitflächenneigung ergeben kann (s. Abschn. 4.4).

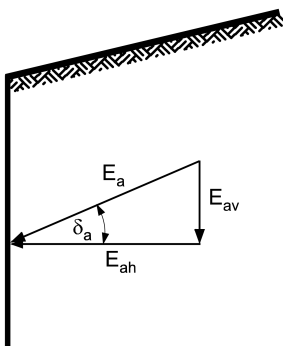


Bild 42. Horizontal- und Vertikalkomponente des Erddrucks

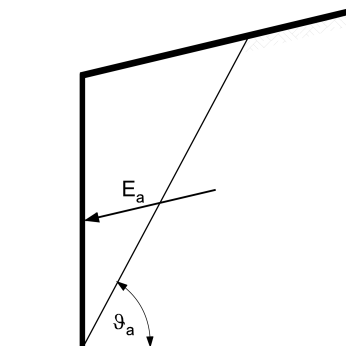


Bild 43. Aktiver Erddruck und zugehöriger Gleitflächenwinkel ϑ_a

Die Kinematische Methode liefert nur die Erddruckresultierende und nicht deren Verteilung. In der Praxis ist es üblich,

- für den Erddruck aus Bodeneigengewicht eine linear mit der Tiefe zunehmende Verteilung und
- für die Erddruckanteile aus großflächigen Auflasten sowie aus Kohäsion eine konstante Verteilung

anzusetzen (s. Abschn. 4.2). Diese Annahme lässt sich plausibel belegen, indem man wie *Weißbach* [95] die Resultierende nach der Höhe ableitet oder indem man sich auf die statische Theorie von *Rankine* stützt, die aber strenggenommen nur für eine Drehung um den Fußpunkt zutrifft. Je nach Anwendungsfall darf der klassisch ermittelte Erddruck umverteilt werden (s. Abschn. 11.3).

4.2 Bodeneigengewicht, großflächige Auflasten und Kohäsion

Der horizontale Erddruck in der Tiefe z in einem homogenen Boden mit Wichte γ darf näherungsweise durch Überlagerung der Anteile aus Bodeneigengewicht mit Erddruckbeiwert K_{agh} , großflächiger Auflast p mit Erddruckbeiwert K_{aph} und aus Kohäsion c mit Erddruckbeiwert K_{ach} (Bild 44 a bis c) ermittelt werden

$$e_{ah} = \gamma \cdot z \cdot K_{agh} + p \cdot K_{aph} - c \cdot K_{ach} \quad (39)$$

Ist der Anteil aus Kohäsion betragsmäßig größer als der Anteil aus großflächiger Auflast, ergeben sich bis zur Tiefe h_{cp} rechnerische Zugspannungen (Bild 44 d). Dieser Fall wird zusammen mit dem Ansatz aus Mindesterdruk in Abschnitt 4.3 behandelt.

Ist der Anteil aus Kohäsion betragsmäßig kleiner als der Anteil aus großflächiger Auflast (Bild 44 e), dann ergibt sich die Erddruckkraft durch Integration über die Wandhöhe h

$$E_{ah} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_{agh} + h \cdot p \cdot K_{aph} - c \cdot h \cdot K_{ach} \quad (40)$$

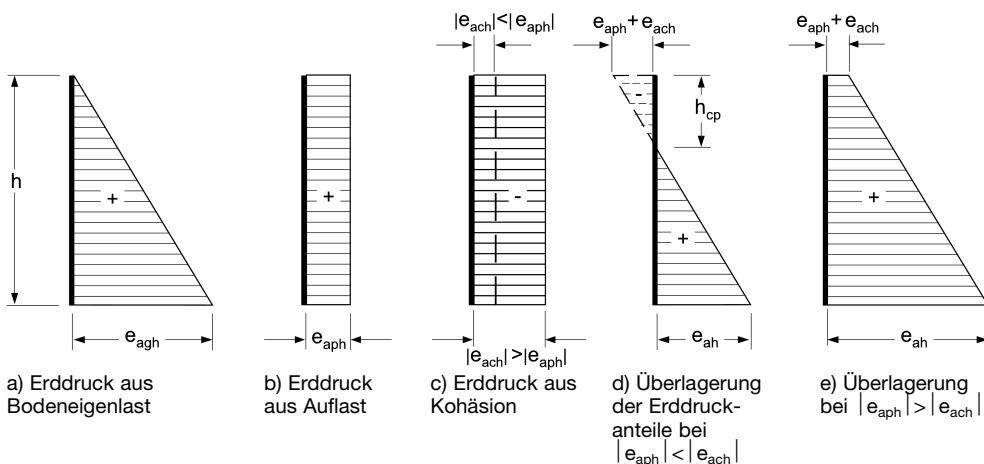


Bild 44. Erddruckverteilung beim Zusammenwirken von Bodeneigengewicht, Auflast und Kohäsion

Senkrechte Wand, ebenes Gelände, waagerechter Erddruck

Die Coulomb'sche Erddrucktheorie ergibt für den Fall einer glatten senkrechten Wand mit ebenem Gelände und einer waagerechten Erddruckkraft die exakte Lösung

$$K_{agh} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (41 \text{ a})$$

$$K_{aph} = K_{agh} = \tan^2 \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (41 \text{ b})$$

$$K_{ach} = 2 \cdot \sqrt{K_{agh}} = 2 \cdot \tan \left(45 - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (41 \text{ c})$$

Der zugehörige Neigungswinkel der Gleitfläche beträgt

$$\vartheta_a = 45 + \frac{\varphi}{2} \quad (42)$$

Senkrechte Wand, waagerechtes Gelände, geneigter Erddruck

Für den in der Praxis häufigen Fall einer senkrechten Wand mit waagerechtem Gelände und geneigtem Erddruck darf

$$K_{agh} = K_{aph} = \frac{\cos^2 \varphi}{\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \cdot \cos^2 \varphi}{\cos \delta_a}} \right]^2} \quad (43)$$

und

$$\tan \vartheta_a = \frac{\sin \varphi + \sqrt{\frac{\tan \varphi}{\tan \varphi + \tan \delta_a}}}{\cos \varphi} \quad (44)$$

verwendet werden, s. Tabellen 1 und 2 im Anhang. Nach einem Vorschlag von *Weißbach* [95] ergibt sich für den Kohäsionsanteil die Näherung

$$K_{ach} = 2 \cdot \sqrt{K_{agh}} \quad (45)$$

Allgemeiner Fall

DIN 4085:2007-10 gibt für den allgemeinen Fall folgende Formeln an:

$$K_{agh} = \left[\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\cos \alpha \cdot \left(1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \sin(\varphi - \beta)}{\cos(\alpha - \beta) \cos(\alpha + \delta_a)}} \right)} \right]^2 \quad (46 \text{ a})$$

$$K_{aph} = \frac{\cos \alpha \cdot \cos \beta}{\cos(\alpha - \beta)} \cdot K_{agh} \quad (46 \text{ b})$$

$$K_{ach} = 2 \cdot \frac{\cos(\alpha - \beta) \cdot \cos \varphi \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}{[1 + \sin(\varphi + \alpha + \delta_a - \beta)] \cdot \cos \alpha} \quad (46 \text{ c})$$

mit dem zugehörigen Gleitflächenwinkel aus dem Eigengewicht des Bodens

$$\vartheta_a = \varphi + \arctan \left[\frac{\cos(\varphi - \alpha)}{\sin(\varphi - \alpha) + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta_a) \cdot \cos(\alpha - \beta)}{\sin(\varphi - \beta) \cdot \cos(\alpha + \delta_a)}}} \right] \quad (47)$$

Zu beachten sind die in DIN 4085:2007-10 aufgezeigten Anwendungsgrenzen für die Coulomb'sche Erddrucktheorie. Insbesondere bei geneigter Wand- oder Geländeoberfläche mit entsprechender Erddruckneigung kann es erforderlich sein, mit gekrümmten oder gebrochenen Gleitflächen zu arbeiten. In den meisten Fällen ist jedoch die Coulomb'sche Theorie ausreichend.

4.3 Kohäsion, rechnerische Zugspannungen und Mindesterddruck

Sofern keine großflächige Auflast berücksichtigt wird oder der Erddruck aus einer großflächigen Auflast zahlenmäßig kleiner ist als der Erddruck aus Kohäsion, ergeben sich bei der klassischen Berechnung des Erddrucks in bindigen Böden rechnerische Zugspannungen. Hierbei ist zu beachten, dass bei der Ermittlung des klassischen Erddrucks aus Bodeneigengewicht und Kohäsion zu unterscheiden ist zwischen Wänden, bei denen eine Erddruckumlagerung und damit ein Ausgleich von rechnerischen Zugspannungen möglich ist, und den Fällen, bei denen keine Erddruckumlagerung stattfinden kann, insbesondere bei einer Fußpunktdrehung. Wird der verbleibende Erddruck nach Abzug des Kohäsionsanteils verhältnismäßig klein, dann ist zu prüfen, ob ein Mindesterddruck maßgebend wird. Ein Hauptgrund dafür ist, dass bei bindigen Böden im Vergleich zu den nichtbindigen Böden eine größere Wandbewegung erforderlich ist, um den Erdruchdruck auf den aktiven Erddruck absinken zu lassen. Ein zweiter Grund dafür ist, dass der Gesamterddruck durch den Einfluss der Kohäsion auf null absinken kann. DIN 4085:2007-10 bietet zwei Verfahren an, wie der Mindesterddruck ermittelt werden kann. Bei der ersten Möglichkeit werden die Ordinaten aus Mindesterddruck und aus dem klassisch berechneten Erddruck verglichen und der größere Wert ist maßgebend. Die zweite Möglichkeit sieht vor, dass die Resultierenden in einer Schicht oder in einem Homogenbereich miteinander verglichen werden, ein Verfahren das z. B. die EAB [16] bevorzugt.

Ermittlung des klassischen Erddrucks

Wie in Abschnitt 4.2 beschrieben, werden zunächst die Anteile aus Bodeneigengewicht (Bild 45 a) und Kohäsion (Bild 45 b) klassisch ermittelt und überlagert (Bild 45 c). Bei nicht oder nachgiebig gestützten Wänden, die sich um den Fußpunkt oder einen tiefer gelegenen Punkt drehen, stellt sich die klassische dreieckförmige Verteilung des Erddrucks aus Bodeneigengewicht ein und eine Erddruckumlagerung findet nicht statt. Die in Bild 45 c gestrichelt eingezeichneten, rechnerischen Zugspannungen dürfen nicht berücksichtigt werden und müssen bis zur Tiefe

$$h_c = \frac{c \cdot K_{ach}}{\gamma \cdot K_{agh}} \quad (48)$$

zu null gesetzt werden.

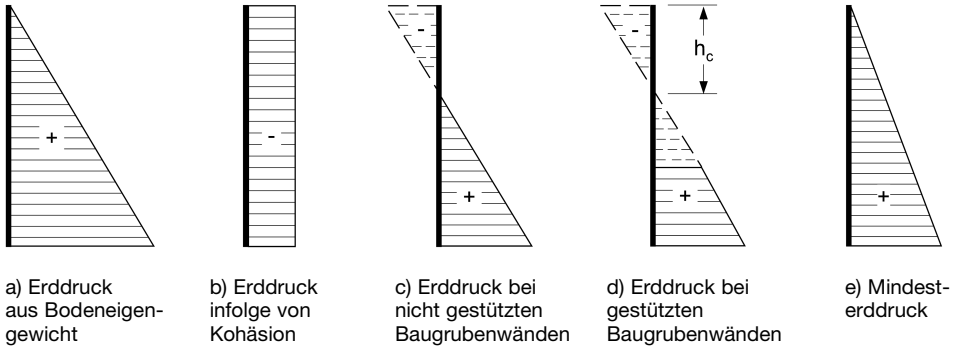


Bild 45. Ermittlung der aktiven Erddrucklast bei durchgehend bindigem Boden (nach EAB, Abschn. 3.2 [16])

Es verbleibt die Resultierende

$$E_{ah} = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot K_{agh} \cdot (h - h_c)^2 \quad (49)$$

Ist eine Erddruckumlagerung zu erwarten, insbesondere bei wenig nachgiebig gestützten Wänden, dürfen die rechnerisch sich ergebenden Zugspannungen gegen entsprechende Druckspannungen aufgerechnet werden (Bild 45 d) und der resultierende Erddruck ergibt sich aus

$$E_{ah} = E_{agh} + E_{ach} \quad (50)$$

Mindesterdrruck beim Vergleich der Erddruckresultierenden

Beim Vergleich der Erddruckresultierenden wird zunächst der Mindesterdrruck aus Bodeneigen- gewicht mit dem Ersatzreibungswinkel $\varphi'_{Ers,k} = 40^\circ$ unter Beibehaltung der geometrischen Größen wie Wandneigung α und Geländeneigung β sowie der Erddruckneigung δ_a ermittelt (Bild 45 e). Aus dem Beiwert

$$K_{agh}^* = K_{agh} (\varphi_{Ers,k} = 40^\circ) \quad (51)$$

berechnet sich die Resultierende des Mindesterdrrucks zu

$$E_{agh}^* = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot h^2 \cdot K_{agh}^* \quad (52)$$

Der größere Wert aus Gl. (52) bzw. aus den Gln. (49) oder (50) ist maßgebend.

Bei geschichtetem Boden (Bild 46 a) werden die Erddrücke in den einzelnen Schichten zunächst klassisch mit den charakteristischen Bodenkenngrößen ermittelt (Bild 46 b). Anschließend wird nur in den bindigen Schichten der Mindesterdrruck bestimmt (Bild 46 c) und schichtweise ein Vergleich der Resultierenden durchgeführt. Bei dem Beispiel in Bild 46 ist in der oberen bindigen Schicht der Mindesterdrruck maßgebend und in der unteren bindigen Schicht der klassisch berechnete. Der Erddruck in der mittleren nichtbindigen Schicht bleibt unverändert.

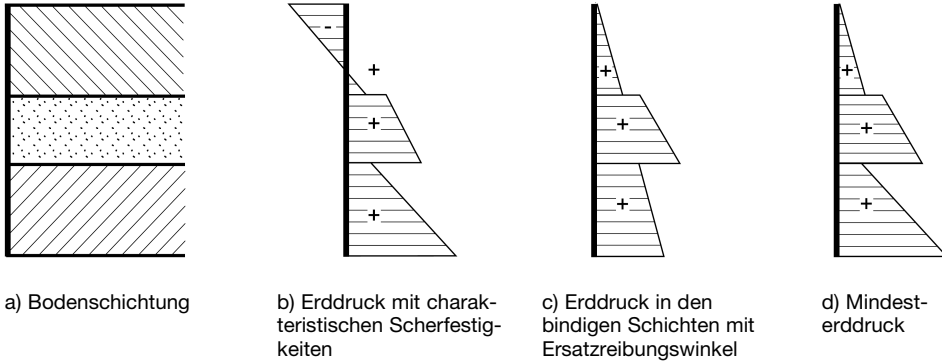


Bild 46. Ermittlung der Gesamtlast des aktiven Erddrucks bei teilweise bindigen Bodenschichten (nach EAB [16])

Mindesterdruk beim Vergleich der Erddruckordinaten

Das zweite Verfahren nach DIN 4085:2007-10 sieht einen Vergleich der klassisch berechneten Erddruckordinaten mit dem Mindesterdruk vor. Bei dem Beispiel in Bild 47 ist bis zur Tiefe

$$z^* = \frac{c \cdot K_{\text{ach}}}{\gamma \cdot (K_{\text{agh}} - K_{\text{agh}}^*)} \quad (53)$$

der Mindesterdruk

$$e_{\text{agh}}^* = \gamma \cdot z \cdot K_{\text{agh}}^* \quad (54)$$

anzusetzen, darunter der klassische, auf der Grundlage der charakteristischen Scherparameter ermittelte Erddruk.

Bei geschichtetem Boden ist sinngemäß zu verfahren.

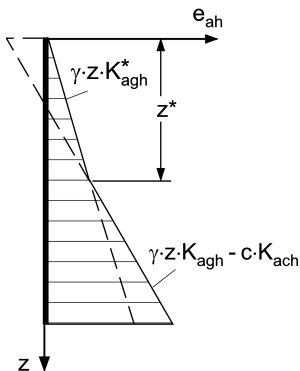


Bild 47. Mindesterdruk: Vergleich der Erddruckordinaten nach DIN 4085:2007-10

4.4 Vertikale Linien- und Streifenlasten

Einführung

Sind auf der Geländeoberfläche Linien- oder Streifenlasten vorhanden, kann sich je nach Größe und Lage der Lasten das Maximum des aktiven Erddrucks auch unter einem anderen Winkel als $\vartheta = \vartheta_a$, der sich bei Bodeneigengewicht einstellt, ergeben (Bild 48). Man spricht in diesem Fall von einer Zwangsgleitfläche, die unter $\vartheta = \vartheta_z$ geneigt ist. Aus diesem Grund werden Erddruckformeln auch für beliebige Winkel ϑ benötigt. In einigen Fällen darf jedoch $\vartheta = \vartheta_a$ angenommen werden. DIN 4085 geht bei Lasten, die auf den aktiven Erddruckkeil angreifen und deren Betrag nicht größer ist als 10% der Eigenlast des Gleitkeils, davon aus, dass sich die Neigung der Erddruckgleitfläche aus Bodeneigenlast nicht wesentlich ändert und die Berechnungsformeln des Abschnitts 4.2 erhalten bleiben. Ergänzend wird in diesem Fall noch der Erddruckanteil aus Auflasten für $\vartheta = \vartheta_a$ benötigt.

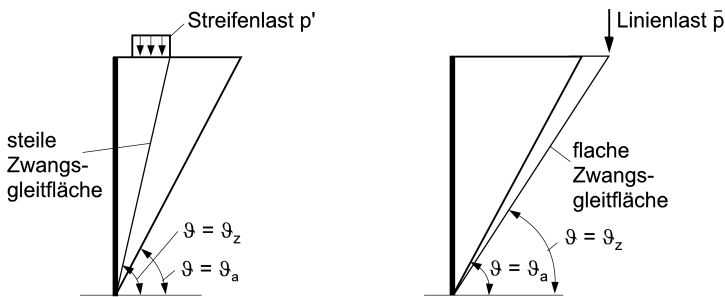


Bild 48. Mögliche Zwangsgleitfläche bei Linien- oder Streifenlasten

Die Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben (EAB) stützen sich auf ein anderes Kriterium. Nach EAB müssen Zwangsgleitflächen nur bei nichtgestützten Wänden, die sich um den Fußpunkt drehen können, untersucht werden. Bei gestützten Wänden wird davon ausgegangen, dass sich eine Zwangsgleitfläche nicht ausbilden kann und deshalb auch nicht untersucht werden muss.

Sind die Linien- oder Streifenlasten in der Länge begrenzt und weisen sie einen Abstand zur Wand auf, darf die örtlich begrenzte Last auf die Länge

$$l_r = l + 2 \cdot a_v \quad (55)$$

gleichmäßig verteilt werden (Bild 49). Auf der Länge l_r wird dann der Erddruck wie für eine unbegrenzte Linien- oder Streifenlast ermittelt.

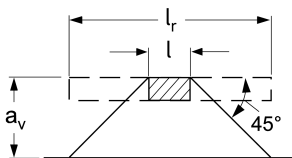
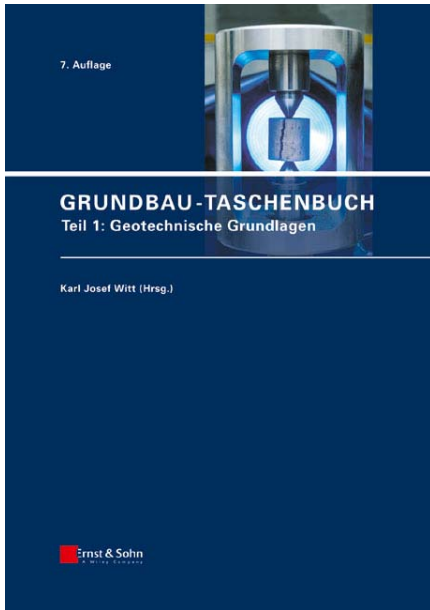


Bild 49. Umwandlung von begrenzten Flächenlasten in Streifen- oder Linienlasten



Witt, K. J. (Hrsg.)

Grundbau-Taschenbuch

Teil 1: Geotechnische Grundlagen
7., überarb. u. aktualis. Auflage

Das Grundbau-Taschenbuch hat seit über 50 Jahren zum Ziel, Entwicklungen, neue Erfahrungen und Erkenntnisse, aktuelle Berechnungs- und Nachweismethoden für die Belange der Baupraxis umfassend zusammenzutragen und transparent zu vermitteln. Der vorliegende Band deckt die geotechnischen Grundlagen ab, die physikalischen Eigenschaften von Boden und Fels, ihre Ermittlung und Bewertung, ihre Berücksichtigung in Stoffgesetzen und in konventionellen sowie numerischen Berechnungsmethoden. Da das Teilsicherheitskonzept mittlerweile für alle Nachweisverfahren umgesetzt ist, wurde eine Erläuterung der Grundsätze vorangestellt. Für die meisten der in den vorherigen Auflagen traditionell behandelten Themen konnten führende Experten als neue Autoren oder Koautoren gewonnen

werden. Die Kapitel Charakterisierung von Schadstoffen im Baugrund, felsmechanische Grundlagen und Phänomene der Massenbewegungen sind neu hinzugekommen.
(XXIV, 814 Seiten, 574 Abb., davon 7 in Farbe, 86 Tab.. Gebunden. Erschienen)

Aus dem Inhalt:

- Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau (Martin Ziegler)
- Baugrunduntersuchungen im Feld (Klaus-Jürgen Melzer, Ulf Bergdahl, Edwin Fecker)
- Eigenschaften von Boden und Fels - ihre Ermittlung im Labor (Paul von Soos, Jens Engel)
- Charakterisierung von Schadstoffen im Baugrund und Grundwasser (Andreas Claussen)
- Stoffgesetze für Böden (Dimitrios Kolymbas, Ivo Herle)
- Erddruck (Achim Hettler)
- Stoffgesetze und Bemessungsansätze für Festgestein (Erich Pimentel)
- Bodendynamik (Christos Vrettos)
- Numerische Verfahren in der Geotechnik (Peter-Andreas von Wolfersdorff, Helmut F. Schweiger)
- Geodätische Überwachung von geotechnischen Bauwerken (Otto Heunecke, Klaus Linkwitz, Wilfried Schwarz)
- Geotechnische Messverfahren (Arno Thut)
- Massenbewegungen (Dieter D. Genske)
- Stichwortverzeichnis
- Inserentenverzeichnis

Link Online-Bestellung **per Fax bestellen +49(0)30 47031 240**

Anzahl	Bestell-Nr.	Titel	Einzelpreis
	978-3-433-01843-9	Grundbau-Taschenbuch	€ 179,-
	904852	Gesamtverzeichnis Verlag Ernst & Sohn	kostenlos
	2091	Probeheft Zeitschrift Bautechnik	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift: privat geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner			Telefon
UST-ID Nr./VAT-ID No.			Fax
Straße//Nr.			E-Mail
Land	-	PLZ	Ort

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21
10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de



Datum/Unterschrift

*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten. Stand: 18.11.08 (homepage_Leseprobe)