

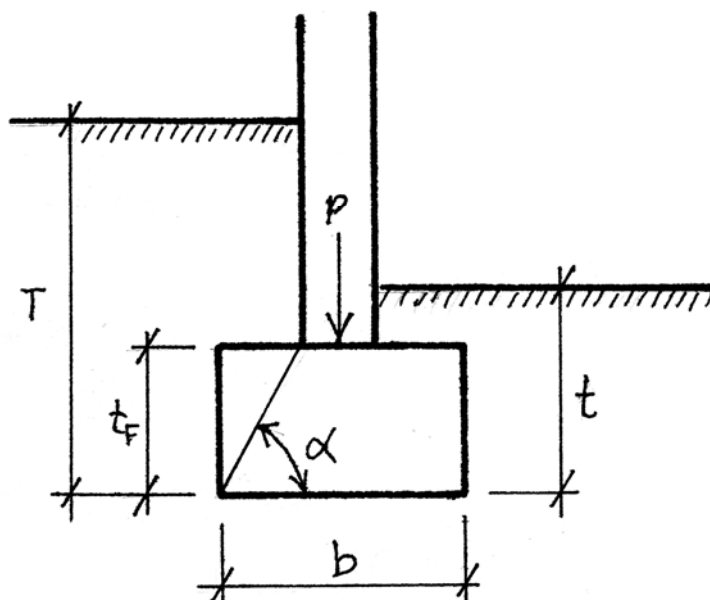
## Einführungsvortrag

### 1. Programm – Fundamentbemessung

Das 1. Programm umfasst die Bemessung von lotrecht mittig belasteten Streifenfundamenten auf **mechanischen Grundbruch**, die Bestimmung der **kritischen Randspannung** nach Fröhlich und die Berechnung der **Setzung** in dem in der Angabe eingezeichneten Punkt.

#### 1 Bemessung der Fundamente

Die Bemessung ist so vorzunehmen, dass die durch das Bauwerk auf den Boden aufgebraachte Last  $Q$ , bei Einrechnen der erforderlichen Sicherheiten, unter der Grundbruchlast bleibt.



- $P$  ... Bauwerkslast, für Streifenfundamente in kN/m
- $b$  ... Fundamentbreite in m
- $t_F$  ... Fundamenthöhe in m
- $t$  ... geringste Gründungstiefe in m
- $T$  ... Gründungstiefe ab GOK in m
- $\gamma_b$  ... Betonwichte in kN/m<sup>3</sup>

Es ist zu beachten, dass bei unbewehrten Fundamenten ein Winkel von  $60^\circ \leq \alpha \leq 65^\circ$  eingehalten wird, um eine Beanspruchung des Fundamentes auf Biegung zu vermeiden.

Die in der Gründungssohle auf den Boden wirkende Last ergibt sich aus der Bauwerkslast und dem Fundamentgewicht, wobei gegebenenfalls der **Auftrieb bzw. Sohlwasserdruck** berücksichtigt werden muss.

$$Q = P + \gamma_b \cdot t_F \cdot b$$

Die Gründungstiefe  $t$  und die Fundamentbreite  $b$  müssen so gewählt werden, dass der Nachweis der Grundbruchsicherheit im Endzustand nach ÖNORM B 4435-2 erfüllt ist.

**UNTERLAGEN NUR FÜR DEN STUDIENGEBRAUCH !**

## 1.1 Bemessung auf mechanischen Grundbruch

(Auszug aus der ÖNORM B 4435-2)

Die ÖNORM B 4435-2 entspricht einer EUROCODE-nahen Berechnung der Tragfähigkeit von Flächengründungen. Sie ist für normal oder schräg zur Sohlfläche belastete Fundamente und für mittige und ausmittige Lastangriffe für **Flächengründungen mit geringer Gründungstiefe** (Richtwert  $t \leq 3b$ ) anzuwenden.

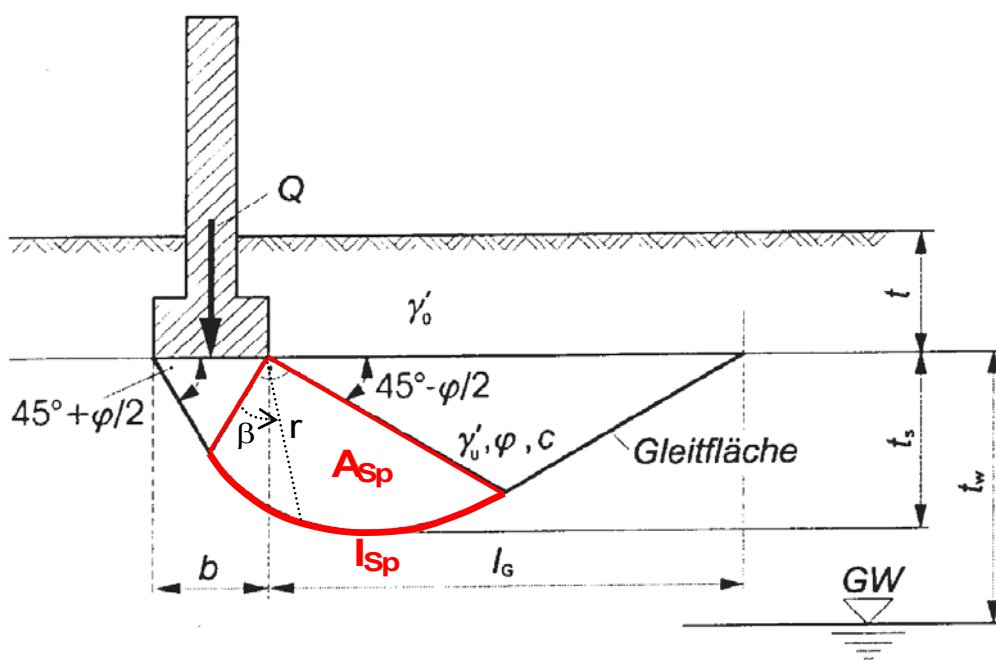
*Grundbruch tritt ein, wenn ein Gründungskörper so stark belastet wird, dass sich unter ihm Gleitbereiche im Baugrund bilden, in denen der Scherwiderstand des Bodens überwunden und der Boden seitlich verdrängt wird.*

Die in diesem Grenzzustand auftretende Last ist die Grundbruchlast  $Q_f$ . Bei der Darstellung der Last-Setzungs-Linie kommt dies dadurch zum Ausdruck, dass die Kurve in einen steil geneigten Abschnitt übergeht.

Als Bemessungswiderstand gilt die aufgrund von Teilsicherheitsbeiwerten für die Scherparameter berechnete Grundbruchlast.

Der **Nachweis der Grundbruchsicherheit** wird erbracht durch:  $Q \leq Q_{f,d}$

$Q$  ist die wirksame Sohldruckkraft,  $Q_{f,d}$  der Bemessungswert der Grundbruchlast. Bei der Berechnung von  $Q_{f,d}$  wird angenommen, dass Lage und Richtung der Grundbruchlast mit der Resultierenden der angreifenden Kräfte übereinstimmt. Nach erfolgter Bemessung des Fundamentes darf der Bemessungswert der Grundbruchlast die wirksame Sohldruckkraft um nicht mehr als 10% übersteigen (andernfalls sind die Fundamentabmessungen zu ändern!).



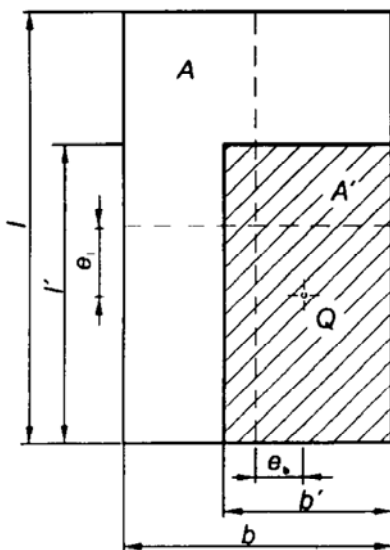
Ausmittig belastete Sohlf lächen werden berechnet, indem mittig belastete Ersatzfl ächen  $A'$  eingeführt werden. Die Vorgangsweise für rechteckige bzw. kreisförmige Sohlf lächen ist in Pkt. 6.2 der ÖNORM B 4435-2 angegeben. Bei schräger oder ausmittiger Belastung bilden sich ausgeprägte Gleitbereiche nur nach einer Richtung aus, wodurch sich die Grundbruchlast im Vergleich zu lotrechter und mittiger Belastung erheblich verringert.

Unabhängig vom Verhältnis  $a/b$  gilt  $a' \geq b'$ :

Fall 1:  $l - 2e_1 > b - 2e_b$

$$l' = l - 2e_1$$

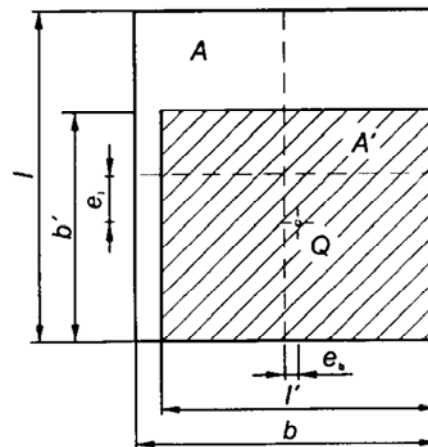
$$b' = b - 2e_b$$



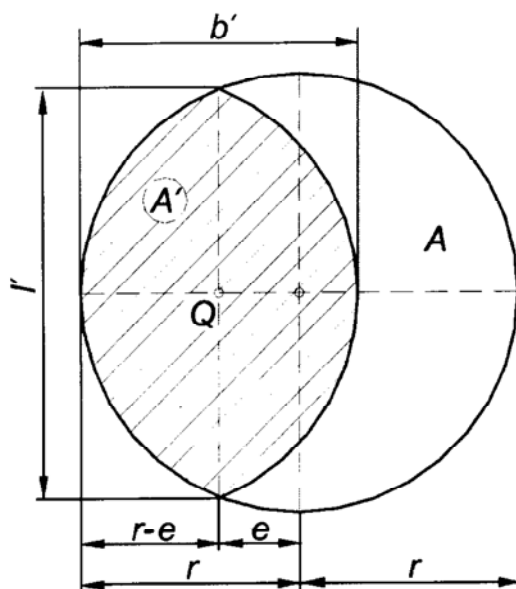
Fall 2:  $l - 2e_1 < b - 2e_b$

$$l' = b - 2e_b$$

$$b' = l - 2e_1$$



- $A = l \cdot b$  ..... tatsächliche Fläche der Gründungssohle
- $A' = l' \cdot b'$  ..... rechnerische Fläche der Gründungssohle
- $Q$  ..... Schnittpunkt der Sohldruckkraft  $Q$  mit der Gründungssohle



$$A' = 2r^2 \left( \arccos \frac{e}{r} - \frac{e}{r} \sqrt{1 - \left(\frac{e}{r}\right)^2} \right)$$

$$b' = 2(r - e)$$

$$l' = 2 \cdot \sqrt{r^2 - e^2}$$

Für schräg angreifende Lasten sind folgende Lastneigungsbeiwerte zu berücksichtigen. Diese werden nur für das 2.Übungsprogramm benötigt, im 1.Übungsprogramm sind sämtliche Lastneigungsbeiwerte  $i_i = 1,0$ .

$$i_\gamma(\delta_s \geq 0) = (1 - \delta_s)^{3,7-m}$$

$$i_\gamma(\delta_s \leq 0) = (1 - 2,27\delta_s)^{0,64+1,63\varphi} \quad (\text{gilt nur für } \kappa=0)$$

$$i_q(\delta_s \geq 0) = (1 - \delta_s)^{2-m}$$

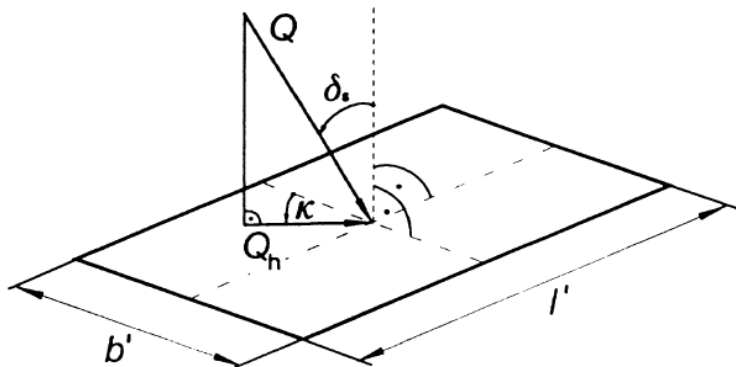
$$i_q(\delta_s \leq 0) = (1 - 1,4\delta_s)^{0,03+2,3\varphi} \quad (\text{gilt nur für } \kappa=0)$$

$$i_c = i_q$$

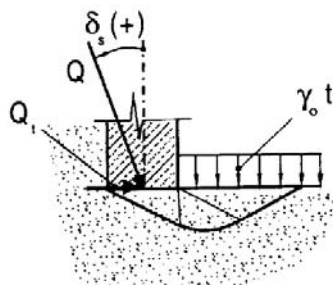
mit

$$m = 0,5 \frac{b'}{l'} + \left(1 - \frac{b'}{l'}\right) \frac{\kappa}{0,5\pi}$$

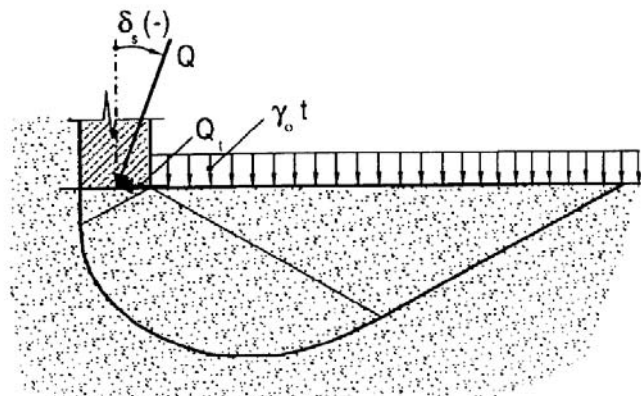
Der Winkel  $\kappa$  bestimmt die Richtung der Horizontalkomponente  $Q_h$ ; er liegt zwischen  $0^\circ$  und  $90^\circ$ . Bei Streifenfundamenten ( $b'/l'=0$  und  $\kappa=0$ ) ist  $m=0$ !



Folgende Vorzeichenregelung gilt für die Lastneigungswinkel:



a) positiver Lastneigungswinkel



b) negativer Lastneigungswinkel

Die Berechnung der Grundbruchslast erfolgt mit den Bemessungswerten der Scherparameter ( $\varphi_d$ ,  $c_d$ ,  $c_{u,d}$ ) sowie der wirksamen Wichten ( $\gamma_d$ ). Die Bemessungswerte (Index d) ergeben sich durch Division der charakteristischen Werte ( $\varphi_k$ ,  $c_k$ ,  $c_{u,k}$  bzw.  $\gamma_k$  – Index k) mit den von der jeweiligen Lastfallklasse abhängigen Teilsicherheitsbeiwerten:

$$\tan \varphi_d = \frac{\tan \varphi_k}{\gamma_\varphi} \quad c_d = \frac{c_k}{\gamma_c} \quad c_{u,d} = \frac{c_{u,k}}{\gamma_{c_u}} \quad \gamma_d = \frac{\gamma_k}{\gamma_\gamma}$$

Bei der Berechnung der Tragfähigkeitsbeiwerte ist zwischen der Endtragfähigkeit ( $\varphi > 0$ ) und der Anfangstragfähigkeit ( $\varphi = 0$ ) zu unterscheiden.

Bei einigermaßen homogenen Bodenverhältnissen wird der Bemessungswert der Grundbruchslast für den **Endzustand** aus den drei Anteilen infolge

- rechnerischer Fundamentbreite  $b'$  [m],
- Einbindetiefe  $t$  [m] (geringste Gründungstiefe unter Gelände bzw. Kellerfußboden),
- Kohäsion  $c$  [kN/m<sup>2</sup>]

nach folgender Gleichung berechnet:

$$Q_{f,d} = A'(\gamma'_u b' N_\gamma + \gamma'_o t N_q + c_d N_c)$$

Für den **Anfangszustand** entfällt der Term für  $b'$  aufgrund von  $\varphi = 0$ :

$$Q_{f,d} = A'(\gamma_o t N_q + c_{u,d} N_c)$$

Darin sind  $\gamma'_u$ , bzw.  $\gamma'_o$  und  $\gamma_o$ , die (wirksamen) Wichten unterhalb bzw. oberhalb der Gründungssohle. Bei einem Streifenfundament ( $l = \infty$ ) wird die Grundbruchslast  $Q_{f,d}$  auf ein Element der Länge 1,0 m bezogen ( $A' = 1,0 b'$ ).

$N_\gamma$ ,  $N_q$ ,  $N_c$  sind Tragfähigkeitsbeiwerte, abhängig von:

- Reibungswinkel  $\varphi$  des Bodens
- Lastneigung  $\delta_s$  Beiwerte  $i_\gamma$ ,  $i_q$ ,  $i_c$
- Geländeneigung  $\beta$  Beiwerte  $g_\gamma$ ,  $g_q$ ,  $g_c$
- Neigung der Sohlfläche  $\alpha$  Beiwerte  $t_\gamma$ ,  $t_q$ ,  $t_c$
- Fundamentform Beiwerte  $s_\gamma$ ,  $s_q$ ,  $s_c$

Für die **Endtragfähigkeit** ( $\varphi > 0$ ) können die Tragfähigkeitsbeiwerte folgendermaßen ausgedrückt werden:

$$N_\gamma = N_{\gamma,0} i_\gamma g_\gamma t_\gamma s_\gamma \quad N_q = N_{q,0} i_q g_q t_q s_q \quad N_c = \cot \varphi_d \left( N_{q,0} i_c g_c t_c - \frac{1}{\cos \alpha \cdot \cos \delta_s} \right) \cdot s_c$$

Die Beiwerte  $N_{\gamma,0}$ ,  $N_{q,0}$ ,  $N_{c,0}$  gelten für den **Grundfall**  $\alpha = \beta = \delta_s = 0$ :

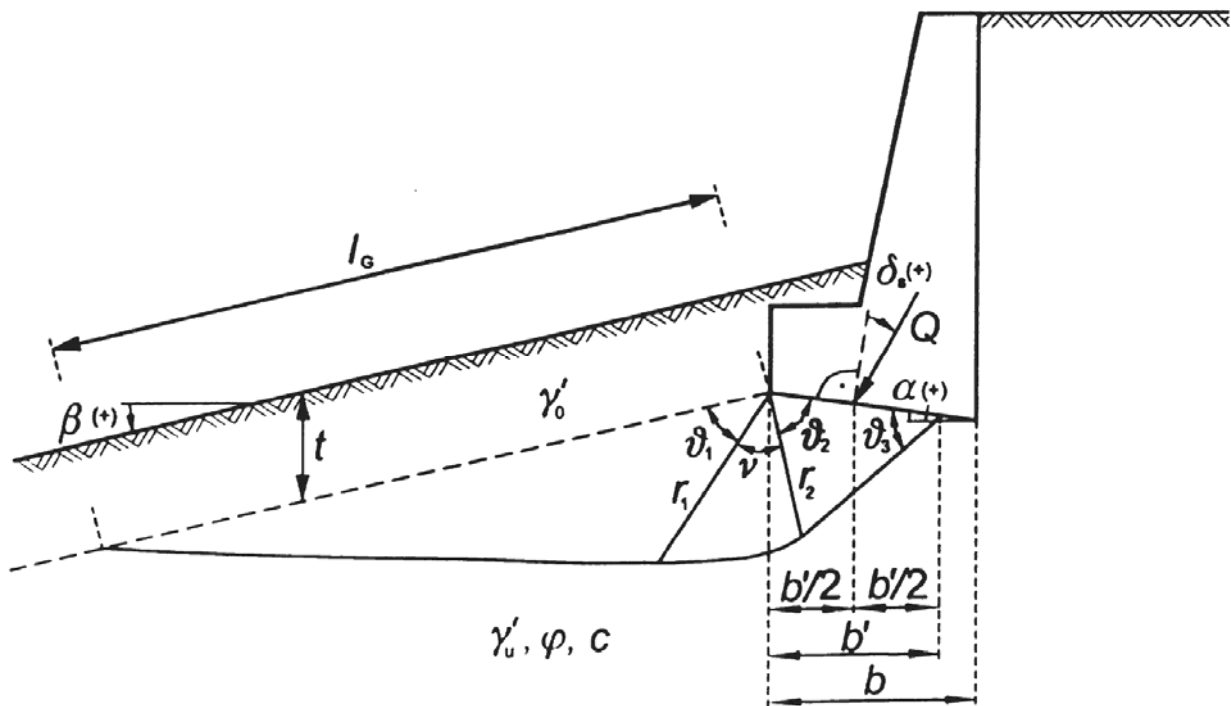
$$N_{\gamma,0} = (N_{q,0} - 1) \cdot \tan \varphi_d \qquad N_{q,0} = \frac{1 + \sin \varphi_d}{1 - \sin \varphi_d} \cdot e^{\pi \tan \varphi_d} \qquad N_{c,0} = \cot \varphi_d (N_{q,0} - 1)$$

Für die **Anfangstragfähigkeit** ( $\varphi = 0$ ) gelten folgende Tragfähigkeitsbeiwerte:

$$N_q = \cos \beta \quad \text{und} \quad N_c = N_{c,0} i_c g_c t_c s_c \quad \text{mit} \quad N_{c,0} = 5,14$$

Die Beiwerte  $i_i$ ,  $g_i$ ,  $t_i$ , und  $s_i$  ( $i = \gamma, q, c$ ) sowie die Vorzeichenvereinbarungen für die diversen Winkel können dem Pkt. 6.2.1 der ÖNORM B 4435-2 entnommen werden. Für den **Grundfall**  $\alpha = \beta = \delta_s = 0$  werden sämtliche Neigungsbeiwerte  $i_i$ ,  $g_i$ ,  $t_i = 1,0$ . Für rechteckige Fundamente mit einem Verhältnis von (rechnerischer) Fundamentlänge zu (rechnerischer) Fundamentbreite  $l'/b' \geq 5$  sind sämtliche Formbeiwerte  $s_i = 1,0$ .

Der **Verlauf der** beim mechanischen Grundbruch unterhalb eines Streifenfundamentes auftretenden **Gleitfläche** darf näherungsweise mit Hilfe folgender Gleichungen ermittelt werden, die genau für  $\gamma'_u = 0$  und  $c = 0$  gelten. Dabei ist der **charakteristische Wert des Reibungswinkels** ( $\varphi_k$ ) einzusetzen ! Die Errechnung der Bemessungswerte (Abminderung  $\gamma_i$ ) erfolgt erst nach der Ermittlung der gewichteten Mittelwerte.



Für den allgemeinen Fall mit ( $\varphi_k > 0$ ; Voraussetzungen:  $\beta < \varphi_k$ ,  $\delta_s < \varphi_k$ ) sind die Beziehungen in Pkt. 6.2.2 der ÖNORM B 4435-2 zu entnehmen, für den **Grundfall mit  $\alpha = \beta = \delta_s = 0$**  und  $\varphi_k > 0$  gilt:

$$\vartheta_1 = \frac{\pi}{4} - \frac{\varphi_k}{2} \quad \vartheta_2 = \vartheta_3 = \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_k}{2} \quad \nu = \frac{\pi}{2} \quad r_1 = r_2 \cdot e^{\nu \tan \varphi_k} \quad r_2 = \frac{b'}{2 \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_k}{2}\right)}$$

$$t_s = \frac{b' \cos \varphi_k}{2 \cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_k}{2}\right)} e^{\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_k}{2}\right) \tan \varphi_k} \quad l_G = \frac{r_1 \cos \varphi_k}{\cos\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_k}{2}\right)} \quad l_{Sp} = \frac{r_1 - r_2}{\sin \varphi_k} \quad A_{Sp} = \frac{r_1^2 - r_2^2}{4 \tan \varphi_k}$$

Gleichung der logarithmischen Spirale:  $r = r(\beta = 0^\circ) \cdot e^{\beta \tan \varphi_k}$

Die Tragfähigkeitsgleichung kann unmittelbar nur dann angewendet werden, wenn der Untergrund zwischen der Gründungssohle und der Tiefe, bis in welche die Gleitfläche reicht, annähernd homogen ist.

Zur Berücksichtigung eines **horizontal geschichteten Untergrundes** kann die Endtragfähigkeit mit folgenden mittleren Werten berechnet werden, wenn die Reibungswinkel der einzelnen Schichten nicht allzu sehr vom Mittelwert abweichen (Richtwert für die zulässige Abweichung:  $5^\circ$ ):

$$\gamma' = \frac{\sum \gamma_i A_i}{\sum A_i} \quad c = \frac{\sum c_i l_i}{\sum l_i} \quad \tan \varphi = \frac{\sum \tan \varphi_i \sigma_i l_i}{\sum \sigma_i l_i}$$

$\gamma'_i$ ,  $c_i$ ;  $\varphi_i$  sind die Bodenkennwerte und  $l_i$  die Längen der einzelnen Gleitflächenabschnitte,  $A_i$  sind die Flächen der einzelnen Gleitkörperbereiche.

Die Normalspannungen in der Gleitfläche können näherungsweise unterhalb des Fundamentkörpers aus

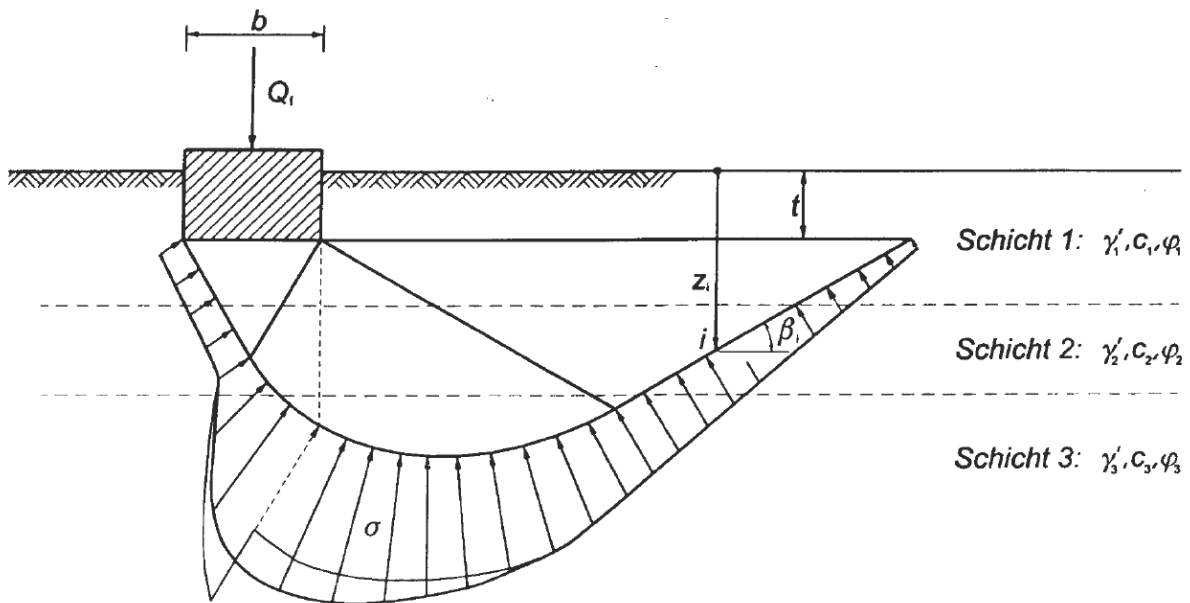
$$\sigma_i = \left( \frac{Q_f}{b} + \gamma(z_i - t) \right) \cos^2 \beta_i$$

und in den übrigen Gleitflächenabschnitten aus

$$\sigma_i = \gamma \cdot z_i \cdot \cos^2 \beta_i$$

berechnet werden. Der Index  $i$  kennzeichnet Punkte der Gleitfläche,  $z_i$  ist die Tiefe dieser Punkte unter der Geländeoberfläche,  $\beta_i$  ist die Neigung der Gleitfläche bei diesen Punkten.

Für die erste Annahme wird die Gleitfläche mit einem geschätzten Mittelwert des Reibungswinkels  $\varphi$  gerechnet. Anschließend wird iterativ der Mittelwert mit einer Genauigkeit von üblicherweise  $0,5^\circ$  ermittelt.



Im **Übungsprogramm** darf der Reibungswinkel  $\varphi$  abweichend von der Norm **ohne Berücksichtigung der Normalspannungsverteilung** gemittelt werden:

$$\tan \varphi = \frac{\sum \tan \varphi_i l_i}{\sum l_i}$$

Die Lage des **Grundwasserspiegels** hat einen bedeutenden Einfluss auf die Grundbruchlast des Bodens bei geringen Gründungstiefen; aus diesem Grund ist der höchstmögliche Grundwasserspiegel zu berücksichtigen.

Wenn der höchste Grundwasserspiegel unter der Gründungsfläche innerhalb der Tiefe  $t_w < t_s$  ( $t_w$  = Abstand des Grundwasserspiegels von der Gründungssohle) liegt, ist  $\gamma'$  analog zum geschichteten Untergrund zu ermitteln.

**Teilsicherheitsbeiwerte** für Einwirkungen und Bodenkennwerte; für die Übung sind die Beiwerte gemäß dem **Regelfall** zu verwenden:

	Einwirkungen, Lasten $\square$			Bodenkennwerte			
	Ständig wirkend (Eigengewicht, Seitendruck, Mantelreibung)	Flüssigkeits- druck	nicht ständig wirkend, ungünstig	Wichte $\gamma$	Reibungs- beiwert $\tan \varphi$	Kohäsion $c$	Anfangsscher- festigkeit $c_u$
	$\gamma_G$	$\gamma_F$	$\gamma_Q$	$\gamma_\gamma$	$\gamma_\varphi$	$\gamma_c$	$\gamma_{c_u}$
Lastfallklasse 1 (Regelfall)	1,0 $\square$	1,0 $\square$	1,0 $\square$	1,0 $\square$	1,3 $\square$	1,3 $\square$	1,6
Lastfallklasse 2 (Ausnahmefall)	1,0 $\square$	1,0 $\square$	1,0 $\square$	1,0 $\square$	1,2 $\square$	1,2 $\square$	1,5
Lastfallklasse 3 (Sonderlastfall)	1,0 $\square$	1,0 $\square$	1,0 $\square$	1,0 $\square$	1,1 $\square$	1,1 $\square$	1,4



**TECHNISCHE UNIVERSITÄT WIEN**  
**INSTITUT FÜR GRUNDBAU UND BODENMECHANIK**

**Formelzeichen**

Symbol	Einheit	Bezeichnung
$a$	kN/m <sup>2</sup>	Adhäsion zwischen Fundamentsohle und Boden
$A$	m <sup>2</sup>	Grundfläche eines Fundamentes, projiziert in eine horizontale Ebene
$A'$	m <sup>2</sup>	rechnerische Grundfläche eines Fundamentes, projiziert in eine horizontale Ebene
$B$	kN	kN/m Erdbebenkraft (auch längenbezogen)
$b$	m	Breite des Fundaments, projiziert in eine horizontale Ebene
$b'$	m	rechnerische Breite eines Fundamentes, projiziert in eine horizontale Ebene
$c$	kN/m <sup>2</sup>	Kohäsion des Bodens
$c_u$	kN/m <sup>2</sup>	Anfangsscherfestigkeit
$E$	kN, kN/m	Erddruckkraft, resultierender Erddruck (auch längenbezogen)
$E_s$	kN/m <sup>2</sup>	Steifemodul
$e_i, e_b$	m	Abstände des Angriffspunktes der Resultierenden von den Symmetrieebenen des Gründungskörpers in Längs- bzw. Querrichtung
$F_A$	kN	Ankerkraft
$g_p, g_q, g_c$	1	Beiwerte zur Berücksichtigung der Geländeneigung $\beta$
$G$	kN, kN/m	Eigengewicht des Bauwerkes (auch längenbezogen)
$H$	kN, kN/m	Horizontalkomponente einer Kraft (auch längenbezogen)
$H$	m	Böschungshöhe
$i_p, i_q, i_c$	1	Beiwerte zur Berücksichtigung der Lastneigung $\delta_s$
$K$	1	Erddruckbeiwert
$K_a$	1	Aktiver Erddruckbeiwert
$K_o$	1	Ruhedruckbeiwert
$l$	m	Länge des Fundamentes, projiziert in eine horizontale Ebene
$l'$	m	rechnerische Länge des Fundamentes, projiziert in eine horizontale Ebene
$l_B$	m	Breite der Berme vor der Fundamentvorderkante
$l_i$	m	Längen der einzelnen Gleitflächenabschnitte
$l_{G,h}$	m	horizontale Länge des Gleitkörpers vor der Fundamentkante
$l_G$	m	Länge des Gleitkörpers vor der Fundamentkante, parallel zur Geländeoberfläche gemessen
$l_{Sp}$	m	Länge der logarithmischen Spirale des Gleitkörpers
$N_{p,os}, N_{q,os}, N_{c,os}$	1	Tragfähigkeitsbeiwerte für den Grundfall $\alpha = \beta = \delta_s = 0$
$N_p, N_q, N_c$	1	Tragfähigkeitsbeiwerte für den allgemeinen Fall $\alpha \neq 0, \beta \neq 0$ und/oder $\delta_s \neq 0$
$P$	kN, kN/m	Nutzlasten, Verkehrslasten und andere veränderliche Einwirkungen (auch längenbezogen)
$Q$	kN, kN/m	wirksame Sohldruckkraft (auch längenbezogen)
$Q_f$	kN, kN/m	normal oder schräg auf die Sohlfläche wirkende Grundbruchlast (auch längenbezogen)
$R$	kN, kN/m	in der Sohlfläche angreifende Resultierende aller auf das Bauwerk wirkenden Lasten einschließlich des Eigengewichtes (auch längenbezogen)
$r_1, r_2$	m	Radiusvektoren der logarithmischen Spirale des Gleitkörpers
$s$	m	Bermenbreite
$s_p, s_q, s_c$	1	Beiwerte zur Berücksichtigung der Fundamentform
$t_p, t_q, t_c$	1	Beiwerte zur Berücksichtigung der Sohlneigung $\alpha$
$t$	m	geringste Gründungstiefe unter der Oberfläche des Geländes bzw. des Kellerfußbodens
$t_s$	m	Abstand des tiefsten Punktes der Gleitfläche von der Vorderseite der Fundamentsohle
$u$	kN/m <sup>2</sup>	Porenwasserdruck
$V$	kN, kN/m	Vertikalkomponente einer Kraft (auch längenbezogen)
$w$	kN/m <sup>2</sup>	Sohlwasserdruck
$W$	kN, kN/m	Sohlwasserdruckkraft (auch längenbezogen)
$z$	m	vertikale Koordinate
$\alpha$	°	Neigung der Fundamentsohle *)
$\beta$	°	Neigung der Geländeoberfläche *)
$\delta$	°	Kontaktreibungswinkel zwischen Bauwerk und Boden *)
$\delta_s$	°	Lastneigungswinkel zur Normalen auf die Sohlfläche *)
$\varepsilon$	1	Erdbebenbeiwert
$\varepsilon_h$	1	horizontaler Erdbebenbeiwert
$\varepsilon_1, \varepsilon_2$	°	Hilfswinkel zur Konstruktion des Gleitflächenverlaufes *)
$\gamma_x$	1	Teilsicherheitsbeiwert für die Größe $x$
$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	(totale) Wichte des Bodens
$\gamma'$	kN/m <sup>3</sup>	wirksame Wichte des Bodens
$\gamma'_{us}, \gamma'_o$	kN/m <sup>3</sup>	wirksame Wichten des Bodens unterhalb bzw. oberhalb der Gründungssohle
$\varphi$	°	Reibungswinkel des Bodens *)
$\kappa$	°	Winkel zwischen der Richtung der Seite $b'$ und der Horizontalkomponente $Q_h$ *)
$\vartheta_1, \vartheta_2, \vartheta_3, \nu$	°	Winkel zur Konstruktion des Gleitflächenverlaufes *)
$\sigma$	kN/m <sup>2</sup>	Normalspannung
$\tau$	kN/m <sup>2</sup>	Schubspannung

\*) Diese Winkelgrößen sind in allen Gleichungen im Bogenmaß einzusetzen.

## 1.2 Bestimmung der kritischen Randbelastung

Für das bemessene Streifenfundament nach Pkt. 1.1 ist die Berechnung der kritischen Randbelastung  $q_{krit}$  durchzuführen. Dabei ist der Einfluss der unmittelbar belasteten Schicht und der nächsten Schicht zu untersuchen. Die dazu notwendigen Formeln sind auf der nächsten Seite zusammengestellt. Mit der kritischen Randspannung wird der Grenzzustand für plastisches Fließen bestimmt. Für den Spannungsnachweis werden kleine Plastifizierungen zugelassen, weshalb gilt:

$$1,2 \cdot q_{krit} \geq \sigma_{zus,o}$$

Die zusätzliche Spannung  $\sigma_{zus,o}$  wird in der Fundamentsohle (Index "o") ermittelt. Sie ergibt sich aus Bauwerklast und Fundamentgewicht vermindert um die ursprüngliche Spannung  $\sigma_{ü,o}$  in der Fundamentsohle zufolge des Eigengewichts des Bodens (unter Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse):

$$\sigma_{zus,o} = \sigma_o - \sigma_{ü,o}$$

$$\sigma_o = \frac{P}{b} + \gamma_b \cdot t_F$$

$$\sigma_{ü,o} = \sum \gamma_i \cdot t_i$$

**Eine Neubemessung des Fundamentes nach  $q_{krit}$  ist nicht erforderlich !**

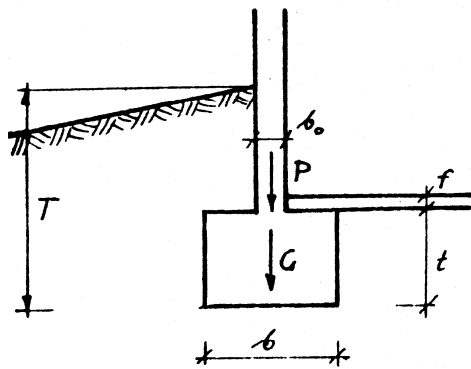
## 1.3 Gegenüberstellung und Fundamentplan

Die **Ergebnisse** der Berechnungen nach Punkt 1.1 und Punkt 1.2 sind gegenüberzustellen und zu **interpretieren** (Wodurch werden die unterschiedlichen Ergebnisse erzielt ?). Das Fundament zufolge der Bemessung auf mechanischen Grundbruch ist im **Fundamentplan** (Grundriss, Schnitt) **maßstäblich** darzustellen.

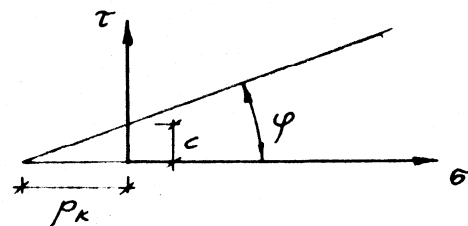
### Kritische Randspannung $q_{krit}$

(A)

Ermittlung der kritischen Randbelastung für die unmittelbar belastete Schichte



- $b_0$  ... Dicke des Kellermauerwerks
- $f$  ... Kellerfußboden
- $P$  ... Bauwerkslast
- $G$  ... Fundamentgewicht
- $p_k$  ... Binnendruck



$$q_{KRIT1} = \frac{\pi (\gamma \cdot t + p_k)}{\cot \varphi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi\right)}$$

$$p_k = c \cdot \cot \varphi$$

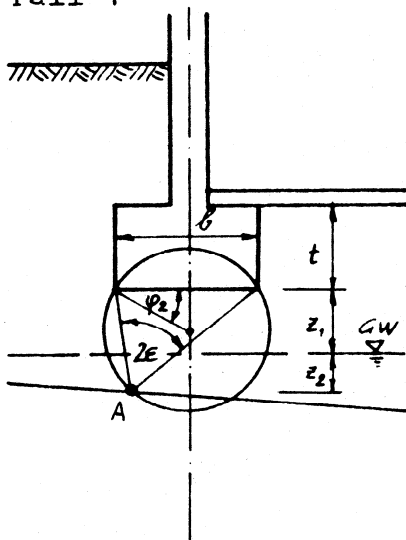
(B)

Ermittlung der kritischen Randbelastung für die nächste Schicht (Nur erforderlich wenn schlechterer Boden)

Der  $\varphi$  - Kreis liefert den maßgebenden Punkt A :

Fall 1

Fall 2

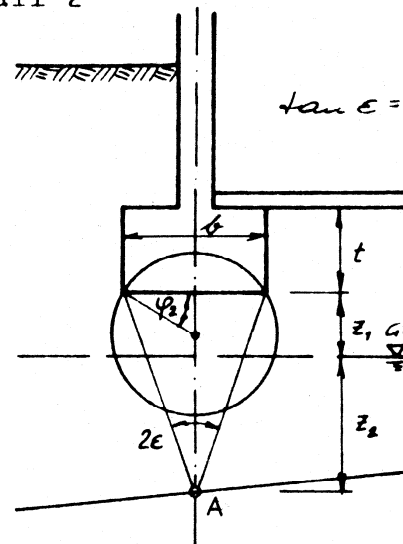


BODEN 1

$\gamma_{F1}$   
 $\gamma_{UW1}$   
 $\varphi_1, c_1$

BODEN 2

$\gamma_{UW2}$   
 $\varphi_2, c_2$



$$\tan \epsilon = \frac{b}{2} \cdot \frac{1}{z_1 + z_2}$$

BODEN 1

$\gamma_{F1}$   
 $\gamma_{UW}$   
 $\varphi_1, c_1$

BODEN 2

$\gamma_{UW2}$

$$\text{Fall 1 } q_{KRIT2,1} = \frac{\pi \cdot [\gamma_{F1} \cdot (t + z_1) + \gamma_{UW1} \cdot z_2 + p_{k2}]}{\cot \varphi_2 - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_2\right)}$$

$$\text{Fall 2 } q_{KRIT2,2} = \frac{\pi \cdot [\gamma_{F1} \cdot (t + z_1) + \gamma_{UW1} \cdot z_2 + p_{k2}]}{\frac{\sin 2\epsilon}{\sin \varphi_2} - 2\epsilon}$$

Wenn  $q_{krit 2} < q_{krit 1}$ , ist die zweite Bodenschicht für die (Neu-) Bemessung maßgebend.

## 2 Setzungsberechnung

Unter Setzung versteht man die lotrechte Verschiebung der Sohlfläche eines Gründungskörpers mitsamt aufgehendem Bauwerk.

Wichtige Ursachen für Setzungen sind:

- a) Zusammendrücken des Untergrundes durch Aufbringen von Bauwerkslasten
- b) Grundwasserspiegeländerungen
- c) Frosteinwirkungen
- d) Grundwasserströmungen
- e) Austrocknen des Bodens

Im Übungsprogramm soll nur der einfachste Fall von Punkt a), die Berechnung der Setzung unter lotrecht, mittiger Belastung behandelt werden (Punkt ist angegeben).

Das Aufbringen von Bauwerkslasten bewirkt im Boden zusätzliche Normalspannungen, die je nach ihrer Größe und der Zusammendrückbarkeit des Bodens Setzungen hervorrufen.

Die Setzung ergibt sich mit

$$s = \sum \Delta h_i = \int_0^{z_g} \frac{\sigma_{zus}}{E_s} dz$$

$\Delta h_i$  ... Setzungen der einzelnen Schichten (auf mm genau)

$E_s$  ... Steifemodul bei verhinderter Seitenausdehnung in kN/m<sup>2</sup>

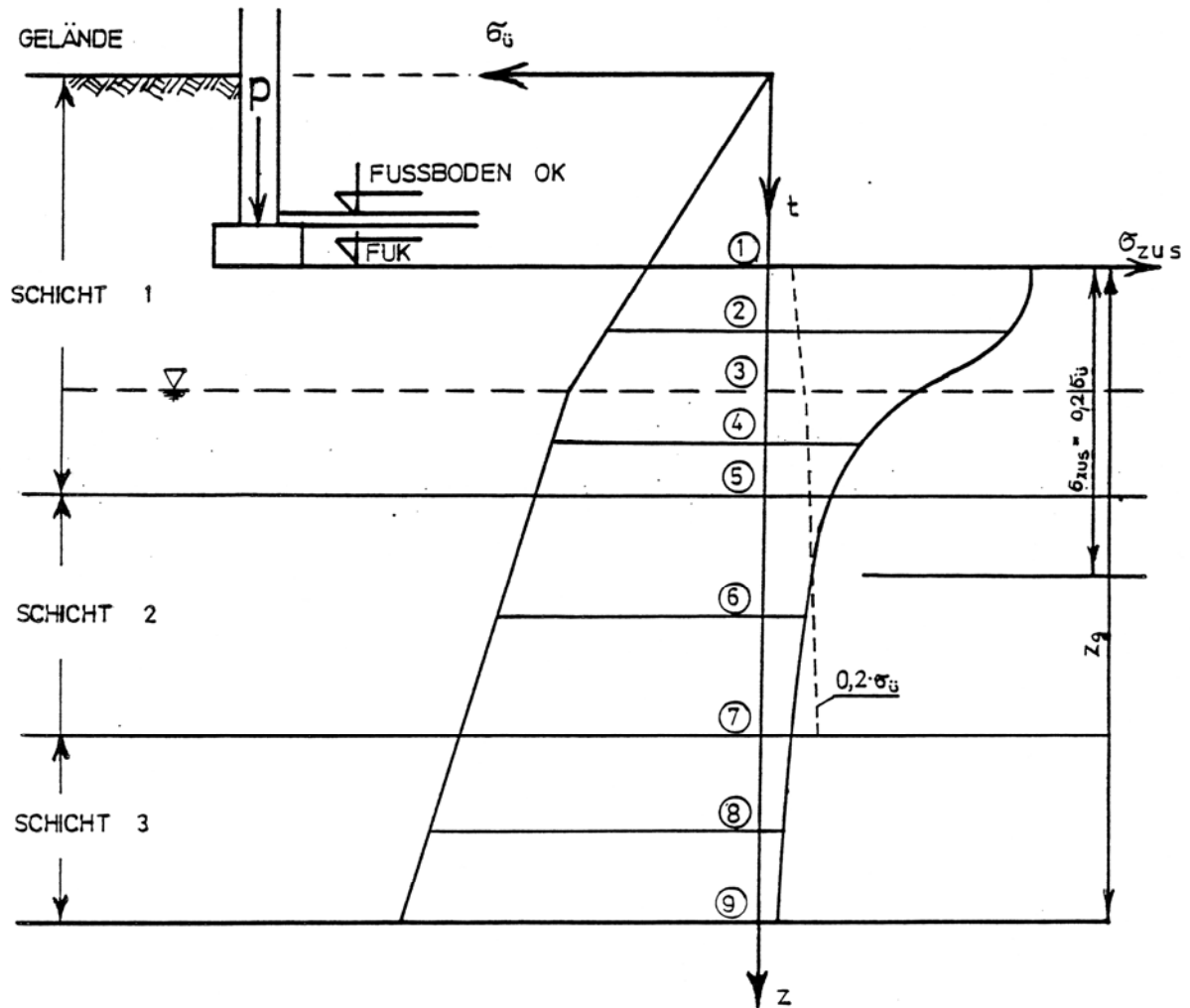
$z_g$  ... Grenztiefe in m

### 2.1 Lotrechte Normalspannung $\sigma_{zus}$

Die lotrechte Spannungsverteilung unter einem Punkt wird nach der Theorie des elastisch-isotropen Halbraumes für schlaffe Lasten ermittelt. Für angrenzende Fundamentflächen und eine eventuelle Aufschüttung kann die Spannungsermittlung mit Hilfe des Diagramms von Steinbrenner erfolgen.

Nach der Bestimmung der zusätzlichen Spannungen und der Überlagerungsspannungen sind diese neben dem **Verlauf** der einzelnen Bodenschichten **maßstäblich darzustellen**. Sinnvollerweise werden in Schichtmitte und am Schichtrand die Spannungen  $\sigma_{zus}$  und  $\sigma_{\ddot{u}}$  errechnet und ihr Wert in der Zeichnung eingetragen.

### 2.1.1 Geländeschnitt und Darstellung der Spannungsverteilungen



Da sich der natürliche Boden vom gewichtslosen Medium gemäß dem elastisch-isotropen Halbraum unterscheidet, gelten die Diagramme für die Flächenlasten für die Praxis, vor allem in großer Tiefe, nur angenähert, weil der Einfluss der Last stärker als nach theoretischen Überlegungen abnimmt. Die Bestimmung der Spannung wird daher nur bis zur Grenztiefe  $z_g$ , deren Bestimmung von den geologischen Verhältnissen und der Breite der belasteten Fläche sowie von der zusätzlichen Spannung abhängt, durchgeführt.

Die Grenztiefe  $z_g$  darf mit jener Tiefe festgelegt werden, bei der die zusätzlich aufgebrachte Spannung  $\sigma_{zus}$  nur mehr ca. 20 % der ursprünglichen Spannung  $\sigma_{\bar{u}}$  des Bodens beträgt.

## 2.2 Flächenlasten nach Steinbrenner

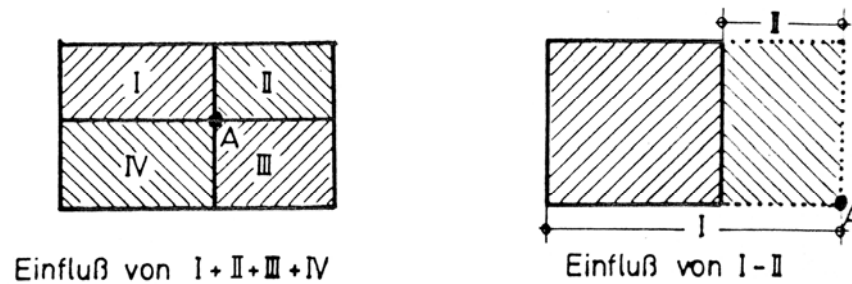
(siehe Studienblatt Steinbrennerkurven)

Mit diesem Diagramm wird die lotrechte Spannungsverteilung unter einem Eckpunkt eines Rechteckes ermittelt.

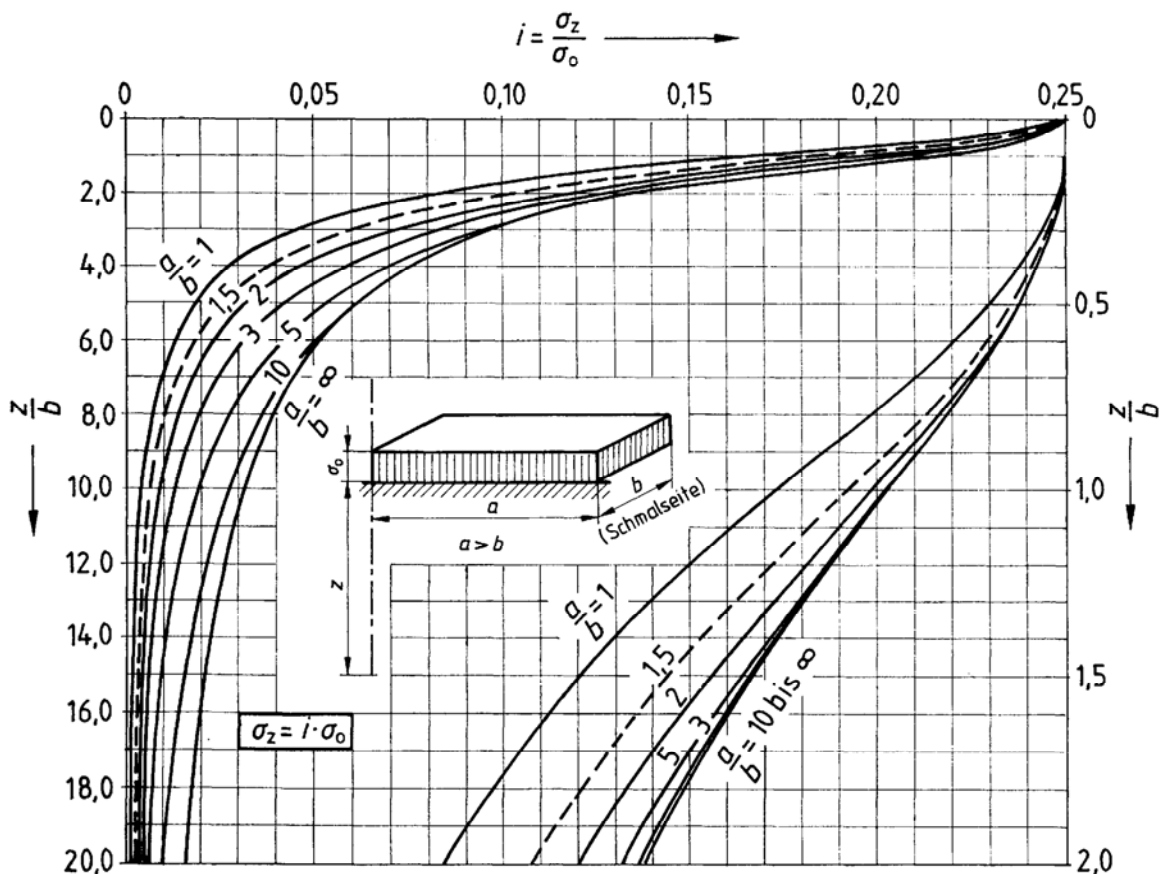
$$\sigma_{zus} = i_1 \cdot \sigma_{zus,o} \text{ [kN/m}^3\text{]}$$

Die Flächenlast (Fundament, Aufschüttung) ist derart in Rechtecke zu zerlegen, dass immer ein Eckpunkt des Rechteckes über dem betrachteten Punkt liegt.

Zum Beispiel:



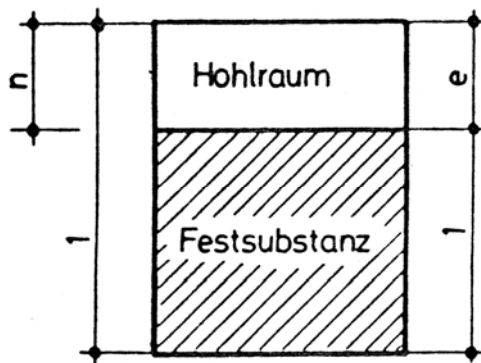
Einflußbeiwerte  $i$  zur Berechnung der lotrechten Normalspannungen unter einem Eckpunkt einer gleichmäßig belasteten Rechteckfläche (nach Steinbrenner):



### 2.3 Steifemodul $E_s$

Die Setzungsberechnung kann vereinfacht werden, indem unter dem Bauwerk eine Schicht angenommen oder mehrere gleichartige Schichten zusammengefasst werden. Für jede Schicht wird aus einem charakteristischen Druck-Porenzahl Diagramm oder einem Spannungs-Setzungsdiagramm der Steifemodul bestimmt. Der Steifemodul  $E_s$  ist nicht wie der Elastizitätsmodul von Stahl ein konstanter Wert (im elastischen Bereich), sondern von der Laststufe abhängig, da die Last-Verformungslinie keine Gerade darstellt.

Die Setzung beruht auf der Verringerung des Porenraumes, während die Festsubstanz unverändert bleibt.



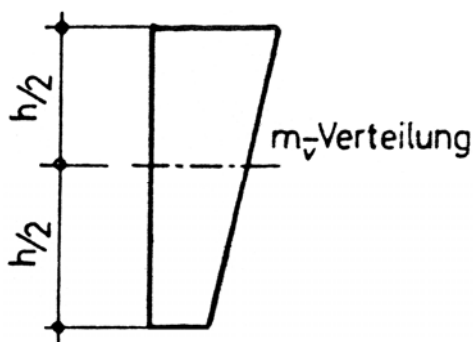
n...Porenanteil  
e...Porenzahl  
 $\Delta p$ ...Laststeigerung

$$\frac{\Delta h}{h} = \frac{\Delta n}{1} = \frac{\Delta p}{E_s}$$

$$E_s = \frac{\Delta p}{\Delta n}$$

und mit  $\Delta n = \frac{\Delta e}{1+e}$

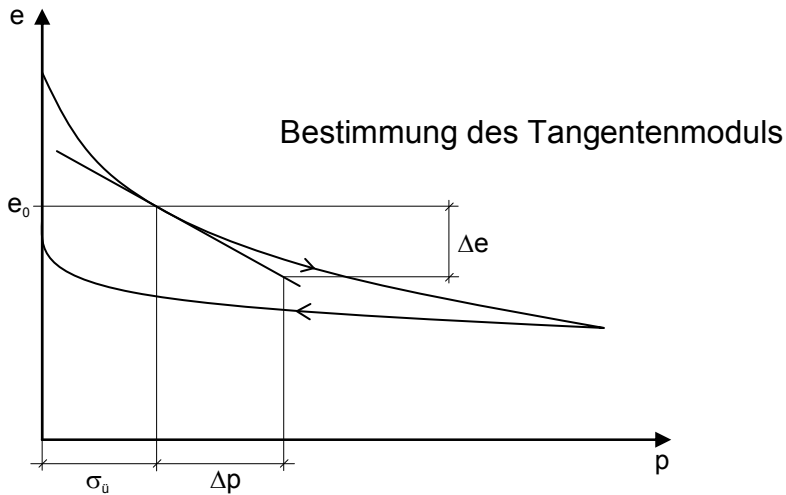
$$E_s = \frac{\Delta p}{\Delta e} (1+e)$$



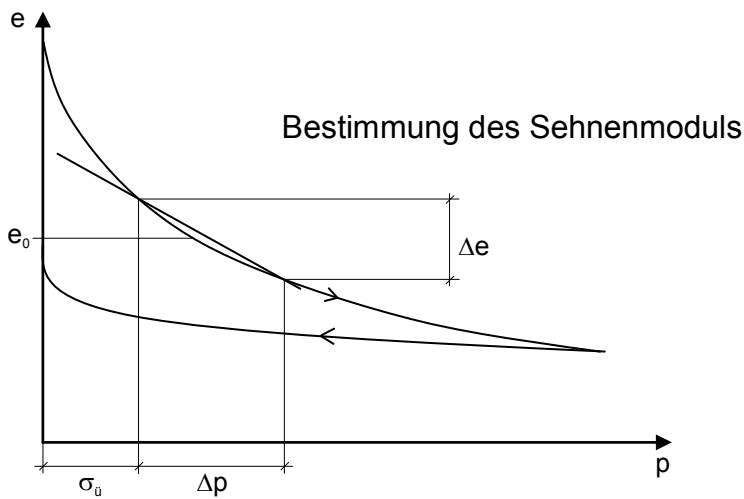
Der Verlauf der Verdichtungsziffer  $m_v = 1/E_s$  nimmt mit der Tiefe annähernd linear ab, so dass der Wert in der Schichtmitte in guter Näherung als repräsentativer Wert für die ganze Schicht angenommen werden kann.

Wenn jedoch der Verlauf von  $\sigma_{zus}$  in der betrachteten Schicht nicht annähernd linear ist, muss diese noch in entsprechende Teilschichten unterteilt werden. In **Schicht- bzw. Teilschichtmitte** sind sodann  $\sigma_{\ddot{u}}$  und  $\sigma_{zus}$  zu **ermitteln** und mit diesen Werten der **mittlere Steifemodul  $E_s$**  für die jeweilige (Teil)Schicht zu **bestimmen**.

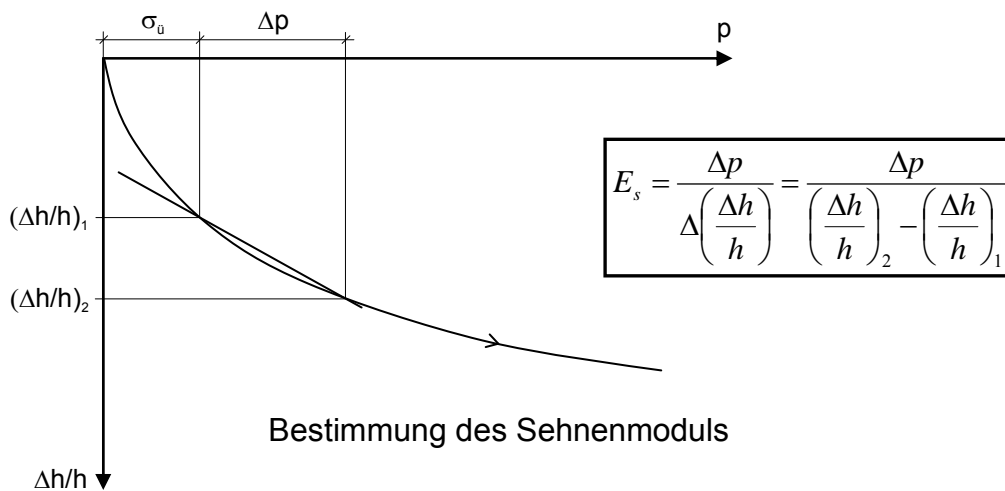
### 2.3.1 $E_s$ aus dem Druck-Porenzahl Diagramm (p-e Diagramm)



$$E_s = \frac{\Delta p}{\Delta e} (1 + e_0)$$



### 2.3.2 $E_s$ aus dem Spannungs-Setzungsdiagramm (p- $\Delta h/h$ Diagramm)



$$E_s = \frac{\Delta p}{\Delta \left( \frac{\Delta h}{h} \right)} = \frac{\Delta p}{\left( \frac{\Delta h}{h} \right)_2 - \left( \frac{\Delta h}{h} \right)_1}$$



## 2.4 Gesamtsetzung

Die Gesamtsetzung ist die Summe der Setzungen aller einzelnen Schichten bzw. Teilschichten, die bis zur Grenztiefe zu berücksichtigen sind.

$$s = \int_0^{z_g} \frac{\sigma_{zus}}{E_s} dz = \sum \frac{\int \sigma_{zus} \cdot dz}{E_s} \quad \begin{array}{l} \text{Setzung je Schicht bzw. Teilschicht} \\ \text{(Näherung nach Punkt 2.2.)} \end{array}$$

Das Integral  $\int \sigma_{zus} dz$  einer (Teil-)Schicht stellt dabei die entsprechende Spannungsfläche dar, welche näherungsweise am besten über Trapeze ermittelt wird.

In Verbindung mit dem mittleren Steifemodul  $E_s$  dieser (Teil-)Schicht erhält man die Setzung (auf Millimeter genau berechnen).

Zur Berechnung der Setzungsunterschiede sind für verschiedene Punkte des Gründungskörpers Setzungsberechnungen durchzuführen. Bei schlaffen Bauwerken wird sich eine Setzungsmulde ausbilden. Starre Bauwerke hingegen haben bei zentrischer Vertikallast und homogenem Untergrund überall eine gleich große Setzung. Jener Punkt, in dem die Setzung eines schlaffen und eines starren Fundamentes übereinstimmt, heißt kennzeichnender Punkt. Für diesen beträgt die Setzung näherungsweise den 0,75 fachen Wert der Setzung des Flächenmittelpunktes eines biegeweichen Gründungskörpers.

Normen für Setzungsberechnungen:

ÖNORM B 4431, Teil 1

DIN 4019, Teil 1 + Beiblatt

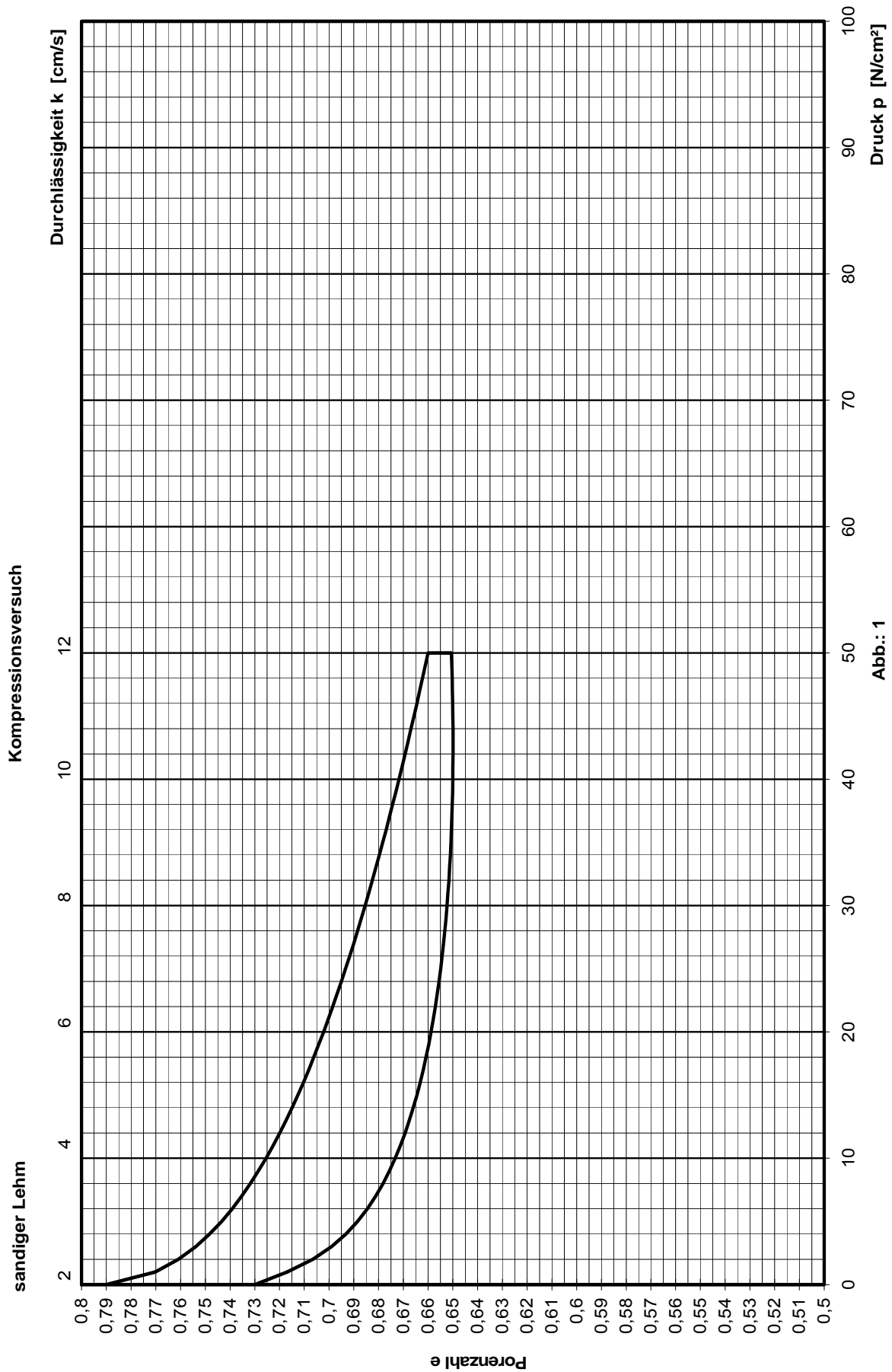


Abb.: 1

