

Die Zusammenfassungen sind teilweise stark veraltet (Vorlesungsinhalte aus vergangenen Semestern, alte Normen...) und sollten lediglich als Hilfestellung zum Verfassen eigener Zusammenfassungen dienen.

Erd- und Grundbau Formelsammlung

Jonathan C. Waller, Jonas Konrad

07.03.2022

Diese Formelsammlung wurde im Wintersemester 21/22 von Jonathan C. Waller verfasst.
Angepasst und ergänzt von Jonas Konrad.
Kein Anspruch auf Vollständigkeit oder Fehlerfreiheit.

Inhaltsverzeichnis

1 Erd- und Dammbau	1
1.1 Sickerströmung mit Sickersnetz	1
1.2 Sickerlinienentwicklung nach Kozy/Casagrande	2
1.3 Drän und Filter	2
1.4 Böschungsversagen	2
1.4.1 Ohne Durchströmung	2
1.4.2 Durchströmung orthogonal zu Böschung	2
1.4.3 Vertikale Durchströmung	2
1.4.4 Hangparallele Strömung	3
1.4.5 Horizontale Strömung aus Böschung heraus	3
2 Gründungsvarianten	3
2.1 Vordimensionierung: Skelettbau auf weichem Untergrund	3
2.1.1 Vordimensionierung Einzelfundamente	3
2.1.2 Vordimensionierung anhand von Setzungsrechnungen	3
2.2 Dammschüttung auf weichem Boden	4
2.2.1 Flügelsondierung	4
2.2.2 Standsicherheit mit Gleitkreis	4
2.2.3 Gleitkreis konstruieren	5
2.2.4 Dammschüttung in mehreren Etappen	5
2.2.5 Abstand von Dräns berechnen	6
2.2.6 Setzungsrechnung	6
2.3 Pfahlaufgaben Klausur	6
2.3.1 Probelastungen von Pfählen auswerten	6
2.3.2 Auffüllung neben Pfahl -> Folgen?	7

1 Erd- und Dammbau

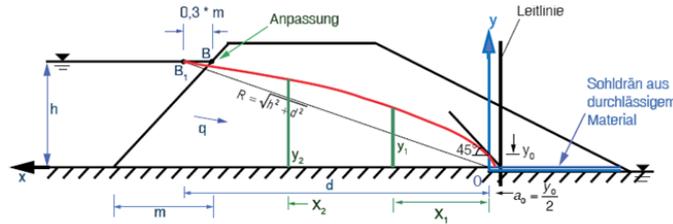
1.1 Sickerströmung mit Sickersnetz

- Durchfluss durch eine Stromröhre: $q = k \sum_n \frac{\Delta h}{\Delta l} = k \frac{\Delta h_{ges}}{n}$
- Nach Dachler (Strömung unter z.B. Staudamm):
(L>H) $q = k \cdot \frac{1}{L_{Damm}} \cdot \Delta h$
 $0,88 \cdot \frac{H_{Tunnel}}$
(L<H) $q = k \cdot 0,77 \cdot \log \left[\frac{13+(L/H)^2}{2,54 \cdot L/H} \right] \cdot \Delta h$; Δh = Potential Wasser

- $k = \frac{d_{10}^2}{100} [\frac{m}{s}]$ (d_{10} = größter mm Wert in diesem Bereich)
Erfahrungswert Dichtung: $k = 10^{-8} \frac{m}{s}$
- falls $d_{10} < 0.06 \text{ mm}$ und $C_U > 20$ verfahren nach Kozeny/Carman:
- Gesamtdurchfluss: $q = \frac{m}{n} k \cdot \Delta h_{ges}$
 - n : Anzahl der Potentialstufen
 - m : Anzahl der Stromröhren (oft keine Natürliche Zahl)

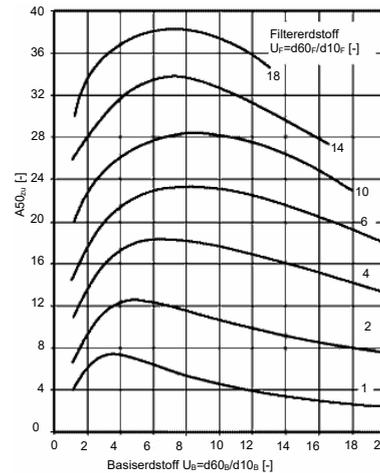
1.2 Sickerlinienentwicklung nach Kozy/Casagrande

- $y_0 = R - d = \sqrt{h^2 + d^2} - d$
- $a_0 = \frac{y_0}{2}$
- $y = \sqrt{2y_0x - y_0^2}$
- Durchfluss: $q = k \cdot y_0$



1.3 Drän und Filter

- $F_{(Filter)}$ und $B_{(Basis)}$ aus einer Kornverteilungslinie indem bei Plateau aufgeteilt wird.
- Filtergesetz nach Terzaghi (für geringe $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \leq 2$)
 - Filter: $\frac{d_{15F}}{d_{85B}} \leq 4$
 - Drän: $\frac{d_{15F}}{d_{15B}} \geq 4$
- Kriterium von Cistin/Ziems
 - $\frac{d_{50F}}{d_{50B}} = A_{50vorh} \leq A_{50zul}$
 - * Falls nicht eingehalten:
Zwischenfilter mit $d_{85B} = \frac{d_{15F}}{4}$ einbringen.
 - A_{50zul} aus Diagramm mit $U_B = \frac{d_{60B}}{d_{10B}}$ und $U_F = \frac{d_{60F}}{d_{10F}}$
- Bemessung Dränschicht: $q = \frac{k_{Drän}}{2} \frac{h_0^2}{l} \Rightarrow e > h_0 = \sqrt{\frac{2ql}{k_{Drän}}}$
 - l : Länge des Dräns
 - h_0 : Höhe des Dräns



1.4 Böschungsversagen

1.4.1 Ohne Durchströmung

$\eta = \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\beta)}$, β : Böschungswinkel

1.4.2 Durchströmung orthogonal zu Böschung

- In die Böschung hinein: $\eta = \left(1 + i \frac{1}{\cos(\beta)}\right) \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\beta)}$
- Aus Böschung heraus: $\eta = \left(1 - i \frac{1}{\cos(\beta)}\right) \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\beta)}$

1.4.3 Vertikale Durchströmung

$\eta = \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\beta)}$

1.4.4 Hangparallele Strömung

$$\eta = \frac{\gamma'}{\gamma' \cdot \gamma_w} \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\beta)} \text{ mit } \gamma_w \approx \gamma' \rightarrow \eta = \frac{1}{2} \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\beta)}$$

1.4.5 Horizontale Strömung aus Böschung heraus

$$\eta = \frac{\gamma' - \gamma_w \cdot \tan(\beta)^2}{\gamma' + \gamma_w} \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\beta)} \text{ mit } \gamma_w \approx \gamma' \rightarrow \eta = \frac{1}{2} (1 - \tan(\beta)^2) \frac{\tan(\varphi)}{\tan(\beta)}$$

Ausnutzungsgrad $\eta \leq 1, 0$; Bei NW örtliches Spreizen $\eta \leq 1, 3$

2 Gründungsvarianten

2.1 Vordimensionierung: Skelettbau auf weichem Untergrund

Erforderliche Schritte

1. Vordimensionierung Einzelfundamente (GZT)
2. Vordimensionierung anhand Setzungsberechnung (GZG)
3. Wenn kein Zerrbalken zwischen Fundamenten: Kippen/Gleiten möglich \Rightarrow Kipp/Grundbruch NW

2.1.1 Vordimensionierung Einzelfundamente

Ermittlung erforderlicher Breite:

- $b = \frac{1}{2}(3b_s - b_Q + (b_Q - b_S) \cdot 3 \cdot \frac{b_Q}{a})$ - Falls $\frac{a}{b} > 5$, so gilt $b \approx b_S$.

Einwirkende Last: ($\gamma_Q = 1, 45$)

- $Q_{ges,d} = \gamma_Q \cdot (F_k + 0, 1 \cdot F_k)$ - ($F_k =$ Annahme Eigengewicht Fundament)

Wahl: Einbindetiefe: $d = 1, 0m$ (üblich)

Wahl: Länge a (konstruktive Gründe oder vorgegeben)

b_Q - Breite eines Quadratfundaments

- $l_0 = \sqrt[3]{\frac{Q_{ges,d}}{\gamma}} \mapsto \frac{c}{\gamma \cdot l_0} \mapsto \frac{d}{l_0} \mapsto$ Abbildung 2.3 mit $\varphi \Rightarrow b_Q$

b_S - Breite eines Quadratfundaments

- $P = \frac{Q_{ges,d}}{3 \cdot b_Q} \quad l_0 = \sqrt{\frac{P}{\gamma}} \mapsto \frac{c}{\gamma \cdot l_0} \mapsto \frac{d}{l_0} \mapsto$ Abbildung 2.4 mit $\varphi \Rightarrow b_S$

\mapsto Erforderliche Abmessung b

Kontrolle des Eigengewichts:

- $Q = a \cdot b \cdot \gamma_{Fundament} \approx 10\% \cdot F_k$

2.1.2 Vordimensionierung anhand von Setzungsberechnungen

\mapsto Vordimensionierung ohne Berücksichtigung gegenseitiger Verschiebung

\mapsto Keine Unterscheidung zwischen starren und steifen Lastplatten

- $Q_{ges} = F_k + 0, 1 \cdot F_k$ (charakteristische Kombination)
- $\frac{a}{b} < 5 \mapsto$ Rechteckfundament \mapsto Abbildung 2.5
- $\frac{a}{b} > 5 \mapsto$ Rechteckfundament \mapsto Abbildung 2.6

\mapsto Setzung berechnen

- Falls > 2 Schichten \mapsto Härteste mit größtem E_S oder sehr dünne ignorieren

- Aus Abbildung 2.5/2.6 $\frac{z_1}{b} = \dots$ die erforderliche Breite berechnen.

Setzungsdifferenz $\Delta s = ||s_1 - s_2||$

Winkelverdrehung $\psi = \arctan\left(\frac{\Delta s}{c}\right)$, c Abstand der Fundamente $\rightarrow \beta = \frac{1}{\tan(\psi)}$

Bei endgültiger Berechnung die gegenseitige Beeinflussung berücksichtigen.

- f_s : S. 35 Bodenmechanik

6 Anmerkung zur Setzungsberechnung

Bei der Zusammenfassung mehrerer Schichten für vereinfachte Setzungsberechnungen muss ein gemittelter Steifemodul \bar{E}_s bestimmt werden. Eine einfache geometrische Mittelung, wie beispielsweise

$$\bar{E}_s = \frac{\sum d_i}{\sum \frac{d_i}{E_{s,i}}} \quad (1.1)$$

als mittlerer Steifemodul bei $\Delta\sigma = \text{konst.}$ in allen Tiefen gilt nur, wenn in allen Tiefen die gleiche Zusatzspannung vorliegt. Für eine typische Spannungsausbreitung unter einem Fundament ist diese Mittelung nicht problemgerecht. Zudem stellt sich die Frage bis zu welcher Tiefe eine Mittelung vorgenommen werden soll (Einflusstiefe).

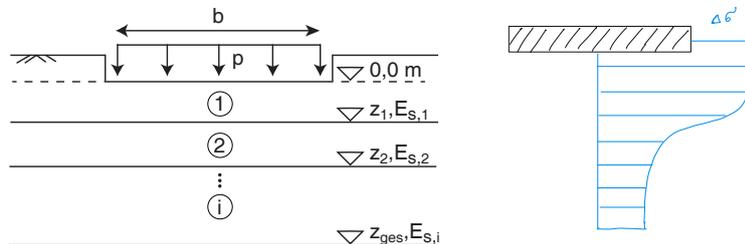


Abb. 1.4: Bestimmung Steifemodul

Eine realistische Mittelung ergibt sich bspw. bei Verwendung von Spannungseinflusszahlen oder Setzungseinflusszahlen, z.B. mit den Einflusszahlen für die direkte Setzungsberechnung nach Kany (siehe Abb. 3.12 des Skriptums). Für einen geschichteten Baugrund kann die Setzung der Ecke einer rechteckförmigen Auflast mit Gleichung (1.2) bestimmt werden:

$$s = \sum (f_s(z_i/b) - f_s(z_{i-1}/b)) \cdot \frac{b \cdot p}{E_{s,i}} \quad (1.2)$$

Damit sich bei einer Schicht dieselbe Setzung ergibt, muss ein geeignet gemittelter Steifemodul \bar{E}_s bekannt sein:

$$s = f_s(z_{ges}/b) \cdot \frac{b \cdot p}{\bar{E}_s} \quad (1.3)$$

Gleichsetzen der Gleichung (1.2) mit Gleichung (1.3) und Umstellung nach \bar{E}_s liefert:

$$\bar{E}_s = \frac{f_s(z_{ges}/b)}{\sum (f_s(z_i/b) - f_s(z_{i-1}/b)) / E_{s,i}} \quad (1.4)$$

Mit Gleichung (1.4) werden somit die oberen Schichten stärker gemittelt als die unteren Schichten.

2.2 Dammschüttung auf weichem Boden

2.2.1 Flügelsondierung

- Scherfestigkeit; $c_v = \tau_{fs} = \frac{2M_{\max}}{\pi(HD^2 + \frac{1}{3}D^3)}$ für $H = 2D$ gilt $c_v = \frac{6M_{\max}}{7\pi D^3}$
- Undrained Kohäsion: $c_u \approx \left[1 + I_v \ln\left(\frac{\gamma}{\gamma_a}\right) \right]$ oder $c_u \approx c_v \cdot 0,33 - 0,24 \ln(I_p)$

2.2.2 Standsicherheit mit Gleitkreis

- Gleitkreis nur in erster Schicht

1. $cal\ c_u = \frac{c_u}{\gamma_c}$ mit $\gamma_c = 1,25$ berechnen
2. Schütthöhe h_i wählen
3. Aus Diagramm 3.6 (GV S. 41) K_c ablesen mit $\frac{h_i}{d_1}$
4. Dammhöhe berechnen $h = \frac{cal\ c_u}{\gamma K_c}$
5. Wenn $h \approx h_i$ ist Iteration abgeschlossen

2.2.3 Gleitkreis konstruieren

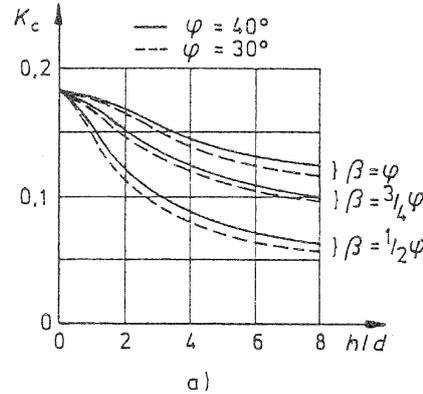
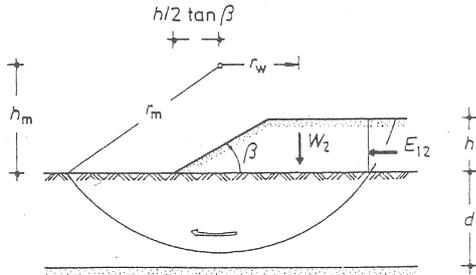
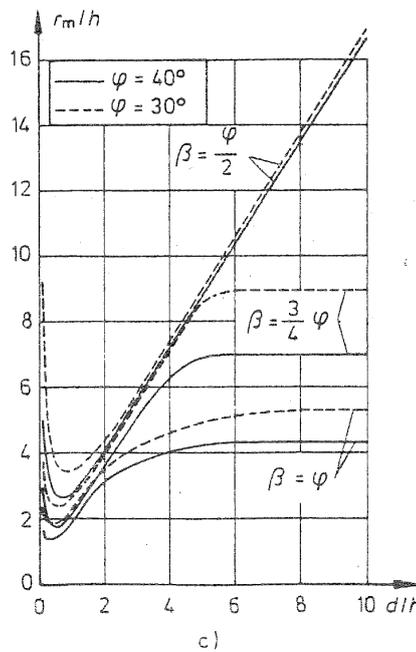
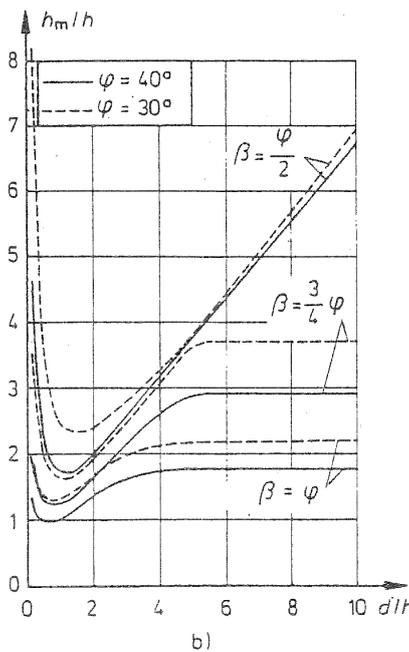


Abbildung 3.5: Kohäsionslose Schüttung auf reibungsfreiem Untergrund



2.2.4 Dammschüttung in mehreren Etappen

1. Maximale Dammhöhe berechnen die auf einmal aufgeschüttet werden kann
2. ggf. Prüfen ob Grundbruch durch eine oder zwei schichten maßgebend ist
3. Erforderliche Kohäsion $c_{u,erf}$ der Schicht(en) berechnen

4. Wartezeit t , bis zweite Lage aufgeschüttet werden kann berechnen $t = \frac{T_v \left(\frac{d}{2}\right)^2}{c_v}$

- T_v aus Diagramm mit $\bar{\mu} = \left(\frac{\sigma'_v}{\Delta\sigma}\right) \left(\frac{c_u}{c_{u0}} - 1\right)$ ablesen
 - σ'_v : Vorbelastungsspannung
 - $\Delta\sigma = \gamma h f_\sigma = p n i$: Zusatzspannung
 - $c_u = c_{u,erf}$: Erforderliche Kohäsion

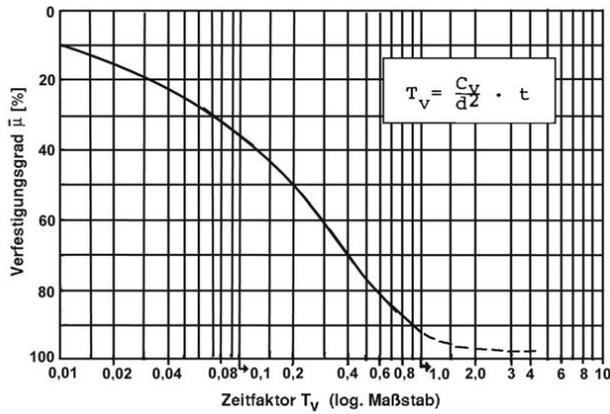


Abb. 2.3: Konsolidierungsgrad (Formelsammlung BM I)

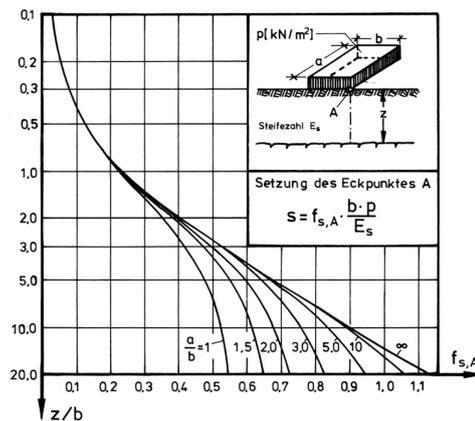
2.2.5 Abstand von Dräns berechnen

Iterative Berechnung von D mit $-\frac{8c_h t}{\ln(1-\bar{u})} = D^2 \ln\left(\frac{D}{d_F \cdot e^{\frac{3}{4}}}\right)$

- Äquivalenter Drändurchmesser von Filterbändern: $d_F = \frac{2(b+t)}{\pi}$
- $c_h \approx k_h \frac{E_s}{\gamma_w}$; $\gamma_w = 10 \frac{kN}{m^3}$, k_h Näherung aus Bodenechanik Formelsammlung S. 17

2.2.6 Setzungsberechnung

- Sofortsetzung: $s_0 = n b' \gamma h \frac{f_s}{E_v}$
 - n : Anzahl Flächen
 - $b' = \left(b - \frac{h_{soll}}{\tan(\beta)}\right) \frac{1}{2}$
 - f_s mit $\frac{z}{b'}$ aus Diagramm
- Primärsetzung: $s_1 = \Delta \epsilon d$
 - $\Delta \epsilon = \frac{C_c}{1+e_0} \ln\left(\frac{\sigma'_v + \Delta \sigma}{\sigma'_v}\right)$
 - * $\Delta \sigma = \gamma h_{soll} f_\sigma$
 - * $f_\sigma = n i$
- Sekundärsetzung $s_2 = \epsilon \cdot d = C_B \cdot \ln\left(\frac{c_v(t+t_p)}{d^2}\right) \cdot d'$
 - $C_B = 2I_v \cdot C_C \left(\frac{\tan(\varphi'_s)}{1+e_1}\right)$
 - d : Schichtdicke
 - d' : Längster Entwässerungsweg
 - $t_p = \frac{d^2}{c_v}$ Zeit der Primärsetzung
 - $e_1 = e_0 - \Delta \epsilon(1+e_0)$
 - t : Betrachtungszeitraum für Sekundärsetzung



Zahlenwerte der Setzungskurven (nach KANY)

z/b	a/b = 1,0	a/b = 1,5	a/b = 2,0	a/b = 3,0	a/b = 5,0	a/b = 10,0	a/b = ∞	z/b
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,125	0,0313	0,0313	0,0313	0,0313	0,0313	0,0313	0,0313	0,125
0,375	0,0931	0,0933	0,0933	0,0933	0,0934	0,0934	0,0934	0,375
0,625	0,1512	0,1528	0,1531	0,1533	0,1533	0,1534	0,1534	0,625
0,875	0,2027	0,2073	0,2085	0,2096	0,2093	0,2094	0,2094	0,875
1,250	0,2684	0,2799	0,2835	0,2859	0,2858	0,2861	0,2861	1,250
1,750	0,3289	0,3525	0,3615	0,3678	0,3691	0,3696	0,3696	1,750
2,500	0,3919	0,4328	0,4517	0,4665	0,4713	0,4726	0,4726	2,500
3,500	0,4366	0,4940	0,5249	0,5525	0,5672	0,5713	0,5716	3,500
5,000	0,4771	0,5514	0,5961	0,6431	0,6740	0,6850	0,6862	5,000
7,000	0,5025	0,5884	0,6437	0,7077	0,7602	0,7862	0,7904	7,000
9,000	0,5171	0,6098	0,6717	0,7467	0,8168	0,8596	0,8692	9,000
11,000	0,5267	0,6238	0,6901	0,7725	0,8564	0,9154	0,9324	11,000
13,500	0,5350	0,6361	0,7064	0,7960	0,8926	0,9702	0,9984	13,500
16,500	0,5413	0,6454	0,7190	0,8143	0,9217	1,0176	1,0617	16,500
19,000	0,5450	0,6509	0,7263	0,8251	0,9390	1,0471	1,1060	19,000
20,000	0,5462	0,6537	0,7286	0,8286	0,9447	1,0570	1,1219	20,000

Abbildung 3.12: Setzung des Eckpunktes A einer schlaffen Rechtecklast auf der Oberfläche eines elastischen Halbraumes ($\nu = 0.5$) nach KANY mit $a > b$

2.3 Pfahlaufgaben Klausur

2.3.1 Probelastungen von Pfählen auswerten

Ablauf:

J. B., J. R.

Erde und Grundbau

Seite 6

1. Setzungslinien der Pfähle in Diagramm eintragen
2. Bei maximal zulässiger (oder geforderter Setzung) Werte ablesen

$$3. R_{c,k} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{R_{c,m,Mittelwert}}{\xi_1} \\ \frac{R_{c,m,Minimum}}{\xi_{12}} \end{array} \right. \quad (\xi \text{ aus gegebenen Diagramm})$$

4. Einwirkungen berechnen und damit dann Anzahl benötigter Pfähle

2.3.2 Auffüllung neben Pfahl -> Folgen?

1. Negative Mantelreibung (Berechnung Grundbau - Seite 25)
2. Horizontale Belastung der Pfähle durch Fließdruck $p_{f,k} = 7 \cdot d \cdot c_{u,k} = 7 \cdot D_{eq} \cdot c_{u,k}$