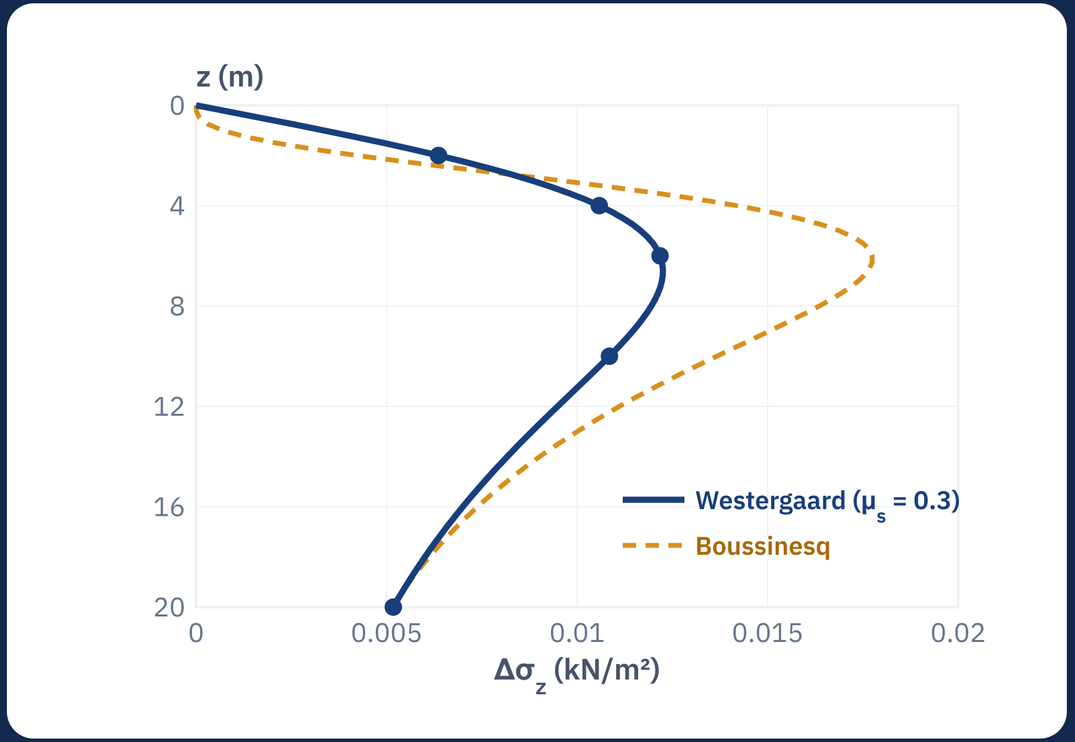
Geotechnische Vorlesungspräsentation · Spannungen im Baugrund

Westergaard: Spannung unter einer Einzellast

Vorlesung: Spannungen unter einer Einzellast in einem geschichteten Baugrund, dessen seitliche Verformungen durch starre Platten behindert werden; ein Punkt wird von Anfang bis Ende von Hand gelöst.

- Westergaard-Medium
- η und I_5
- Einfluss von μ_s
- Vergleich mit Boussinesq
- Superposition



Was lernen wir in dieser Vorlesung?

Das Westergaard-Medium: eine elastische Bodenidealisierung mit dünnen, starren horizontalen Platten, die keine seitliche Verformung zulassen

Die vertikale Spannungszunahme unter einer Einzellast: **η**, der **Einflussbeiwert** I_5 und $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$

Wo die Westergaard-Spannung kleiner und wo größer als die **Boussinesq**-Spannung ist; die Rolle der Querdehnzahl μ_s

Die Änderung mit der Tiefe und dem horizontalen Abstand, die Tiefe der größten Spannung

Superposition mehrerer Einzellasten

VORLESUNGSABLAUF

Jedes Thema wird in **drei Schritten** behandelt:

1 · **Theorie**: Formel und Begründung

2 · **Aufgabe**: Gegeben und Gesucht

3 · **Lösung**: Schritt für Schritt, mit Zahlen

Beispiel: P = 5 kN, der Punkt A liegt im Abstand r = 5 m von der Last und in einer Tiefe z = 4 m; im Boden zwischen den Platten gilt $\mu_s = 0.3$.

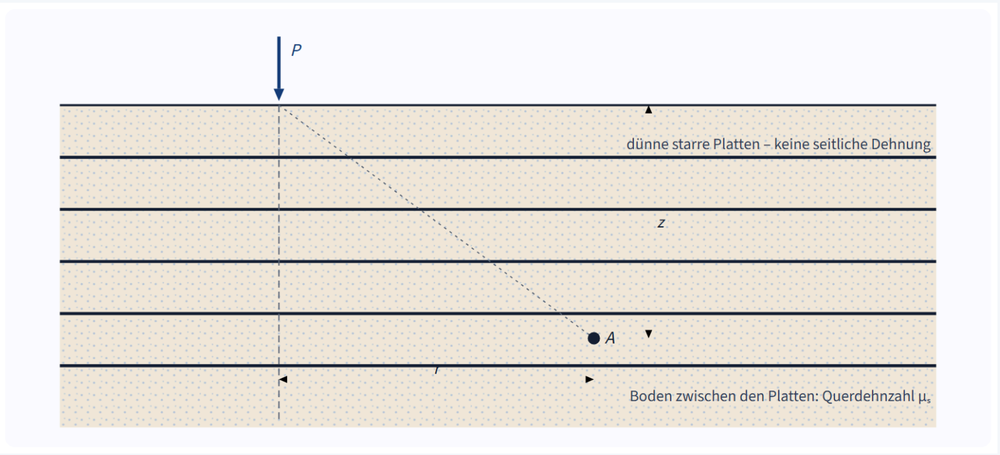
Baugrund mit starrer horizontaler Platte

THEORIE

Die Lösungen auf Boussinesq-Basis beruhen auf der Integration der Einzellastlösung für einen **homogenen und isotropen** Halbraum. Viele Böden sind jedoch **geschichtet**

Beispiel: ein Ton mit feinen Sandadern, dessen horizontale Verformung durch steifere Schichten behindert wird

Westergaard (1938) idealisierte diesen Baugrund wie folgt: ein elastisches Medium mit einer Vielzahl **dünner, starrer horizontaler Platten**, die keine seitliche Verformung zulassen



Vertikaler Spannungszuwachs und η

THEORIE

Der Spannungszuwachs in vertikaler Richtung, den die Einzellast **P** an der Oberfläche im Punkt A mit horizontalem Abstand **r** und Tiefe **z** hervorruft; **μ_s** ist die Querdehnzahl des Bodens zwischen starren Platten, $r = \sqrt{(x^2 + y^2)}$

Die Lösung wird mit einem **Einflusswert** umgeschrieben, wie bei Boussinesq I_1

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\,\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2 + (r/z)^2}\right]^{3/2}$$

$$\eta = \sqrt{\frac{1 - 2\mu_s}{2 - 2\mu_s}}$$

$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$

THEORIE

Die Lösung nach Westergaard wird wie bei Boussinesq in der Form **$\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$** geschrieben; I_5 hängt nur von **$r/(\eta z)$** und **η** ab

Zum Vergleich die Lösung nach Boussinesq: $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_1$, wobei I_1 nur von r/z abhängt (die vertikale Spannung ist unabhängig von der Querdehnzahl)

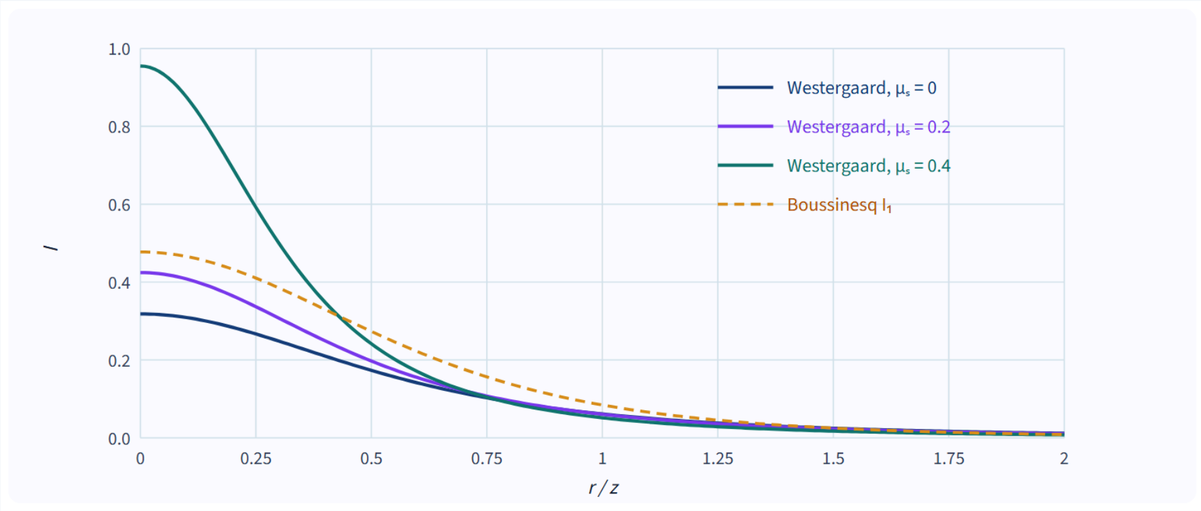
$$\Delta\sigma_z = \left(\frac{P}{z^2}\right) I_5 \qquad I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2}$$

$$\text{Boussinesq:} \quad I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2 + 1\right]^{-5/2}$$

Änderung des Einflussbeiwerts mit r/z

THEORIE

r/z	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1	1.5	2	3	5
$\mu_S = 0$	0.3183	0.3090	0.2836	0.2483	0.2099	0.1733	0.1411	0.0925	0.0613	0.0247	0.0118	0.0038	0.0009
$\mu_S = 0.2$	0.4244	0.4080	0.3646	0.3074	0.2491	0.1972	0.1547	0.0953	0.0604	0.0229	0.0107	0.0034	0.0008
$\mu_S = 0.4$	0.9549	0.8750	0.6916	0.4997	0.3480	0.2416	0.1700	0.0897	0.0516	0.0173	0.0076	0.0023	0.0005
Boussinesq I_1	0.4775	0.4657	0.4329	0.3849	0.3295	0.2733	0.2214	0.1386	0.0844	0.0251	0.0085	0.0015	0.0001



Westergaard und Boussinesq unter der Last

THEORIE

Unter der Last (r = 0) ist die Spannung nach Westergaard für **μ_s = 0 kleiner** als die Spannung nach Boussinesq: $I_5 = 1/\pi = 0.3183$; für Boussinesq gilt $I_1 = 3/2\pi = 0.4775$. Starre Platten verteilen die Last seitlich

Unter der Last wächst die Spannung mit **zunehmendem μ_s**; bei **μ_s = 0.5** wird η = 0 und die Lösung **verliert ihre Gültigkeit**. Das Modul berücksichtigt μ_s im Bereich von 0 bis 0.49

μ_s	0.00	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45	0.49
η	0.7071	0.6667	0.6124	0.5774	0.5345	0.4082	0.3015	0.1400
η^2	0.5000	0.4444	0.3750	0.3333	0.2857	0.1667	0.0909	0.0196
I_5 (r = 0) = $1/(2\pi\eta^2)$	0.3183	0.3581	0.4244	0.4775	0.5570	0.9549	1.7507	8.1169

Superposition

THEORIE

Da das Westergaard-Medium **elastisch** ist, wird die Spannung jeder Last mit ihrem **eigenen Abstand r** zum Punkt A ermittelt, und die Spannungen werden **summiert**

Die Lasten befinden sich an ihren eigenen Positionen auf dem Baugrund; es können bis zu acht Lasten eingegeben werden, und keine zwei dürfen an derselben Position liegen

Auch der Vergleichswert nach Boussinesq wird in gleicher Weise summiert

$$\Delta\sigma_z = \sum_k \frac{P_k}{z^2}\, I_{5,k} \qquad r_k = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2} \qquad I_{5,k} = I_5\left(\frac{r_k}{\eta z}\right)$$

Aufgabe

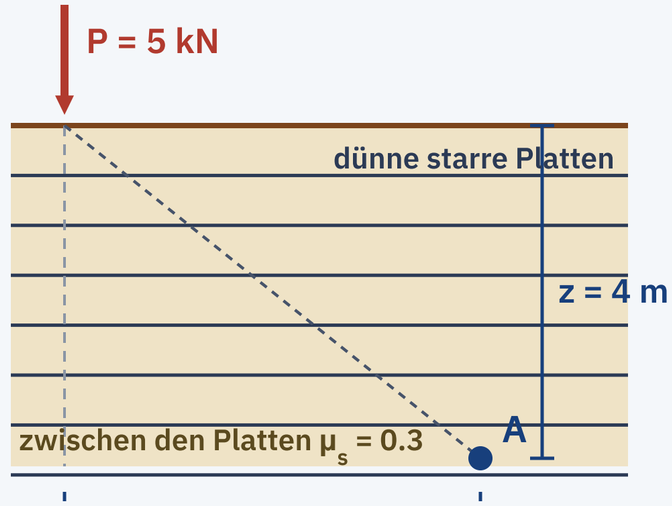
BEISPIEL

Gegeben

Last	**an der Oberfläche** $P = 5$ **kN,** $(x_L;\, y_L) = (0;\, 0)$
Punkt A	$x = 3$ **m,** $y = 4$ **m,** $z = 4$ **m**
Baugrund	**zwischen den Platten** $\mu_s = 0.3$

GESUCHT

η, **r/(ηz)**, Einflusswert $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ und Vergleich mit der Boussinesq-Spannung.



Lösung (1/3)

LÖSUNG

1 Westergaard-Konstante η

$$\eta = \sqrt{\frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s}} = \sqrt{\frac{1-0.6}{2-0.6}} = \sqrt{0.2857} = \mathbf{0.5345}$$

2 Horizontaler Abstand und r/(ηz)

$$r = \sqrt{x^2+y^2} = \sqrt{3^2+4^2} = \mathbf{5.00\ m}$$

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.5345\,(4)} = \mathbf{2.3385}$$

η = **0.5345** (η² = 0.2857). Der Punkt A liegt in einer Entfernung **r = 5 m** von der Last; bei Boussinesq ginge dieser Abstand als r/z = 1.25 ein, bei Westergaard als r/(ηz) = **2.3385**.

Lösung (2/3)

LÖSUNG

3 Einflussbeiwert I_5

$$I_5 = \frac{1}{2\pi\eta^2}\left[\left(\frac{r}{\eta z}\right)^2 + 1\right]^{-3/2} = \frac{1}{2\pi\,(0.2857)}\left[2.3385^2 + 1\right]^{-3/2}$$

$$= 0.5570 \times [6.4687]^{-3/2} = 0.5570 \times 0.06078 = \mathbf{0.03386}$$

4 Vertikaler Spannungszuwachs

$$\Delta\sigma_z = \frac{P}{z^2}\,I_5 = \frac{5}{4^2}\,(0.03386) = 0.3125 \times 0.03386 = \mathbf{0.01058}\ \mathrm{kN/m^2}$$

Die Einzellast von 5 kN an der Oberfläche erzeugt am Punkt A im Westergaard-Medium einen Zuwachs von **$\Delta\sigma_z$ = 0.01058 kN/m²** (I_5 = 0.03386).

Lösung (3/3)

LÖSUNG

5 Nachweis mit der ersten Form der Gleichung

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi z^2}\left[\frac{1}{\eta^2+(r/z)^2}\right]^{3/2} = \frac{5\,(0.5345)}{2\pi\,(16)}\left[\frac{1}{0.2857+1.5625}\right]^{3/2} = \mathbf{0.01058}$$

6 Boussinesq (Vergleich)

$$I_1 = \frac{3}{2\pi}\left[\left(\frac{r}{z}\right)^2+1\right]^{-5/2} = \frac{3}{2\pi}\left[2.5625\right]^{-5/2} = \mathbf{0.04542}$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{4^2}\,(0.04542) = \mathbf{0.01419}\ \mathrm{kN/m^2} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = 0.745$$

Beide Formulierungen liefern dasselbe Ergebnis. In diesem Punkt beträgt die Spannung nach Westergaard etwa **74.5 %** der Spannung nach Boussinesq: Da starre Platten die Last seitlich verteilen, ist die Spannung in mittlerer Tiefe kleiner.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

BEISPIEL

Gegeben

Last und Punkt	$P = 5$ **kN; Punkt A ist** $r = 5$ **m von der Last entfernt;** $\mu_s = 0.3$
Tiefen	$z = 2,\ 4,\ 6 \ldots 20$ **m (die Profiltabelle des Moduls)**

GESUCHT

Für jede Tiefe **r/(ηz)**, $\mathbf{I_5}$, die Spannungen nach Westergaard und Boussinesq; die **Tiefe der größten Spannung**.

Lösung (1/2)

LÖSUNG

z (m)	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ nach Westergaard	$\Delta\sigma_z$ nach Boussinesq	Verhältnis W/B
2	4.677	0.0051	**0.00636**	0.00422	1.509
4	2.339	0.0339	**0.01058**	0.01419	0.745
6	1.559	0.0877	**0.01218**	0.01774	0.686
8	1.169	0.1529	**0.01195**	0.01636	0.731
10	0.935	0.2170	**0.01085**	0.01367	0.794
12	0.780	0.2733	**0.00949**	0.01111	0.854
14	0.668	0.3202	**0.00817**	0.00902	0.905
16	0.585	0.3584	**0.00700**	0.00739	0.948
18	0.520	0.3892	**0.00601**	0.00612	0.982
20	0.468	0.4140	**0.00518**	0.00513	1.009

Bei z = 2 m ist die Spannung nach Westergaard größer (0.00636 und 0.00422); **in mittleren Tiefen ist sie kleiner** (z = 6 m: 0.01218 und 0.01774); **bei z = 20 m** nähern sich die beiden Lösungen einander an (0.00518 und 0.00513).

Lösung (2/2)

LÖSUNG

1 von Hand für z = 10 m

$$\frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.5345\,(10)} = 0.9354$$

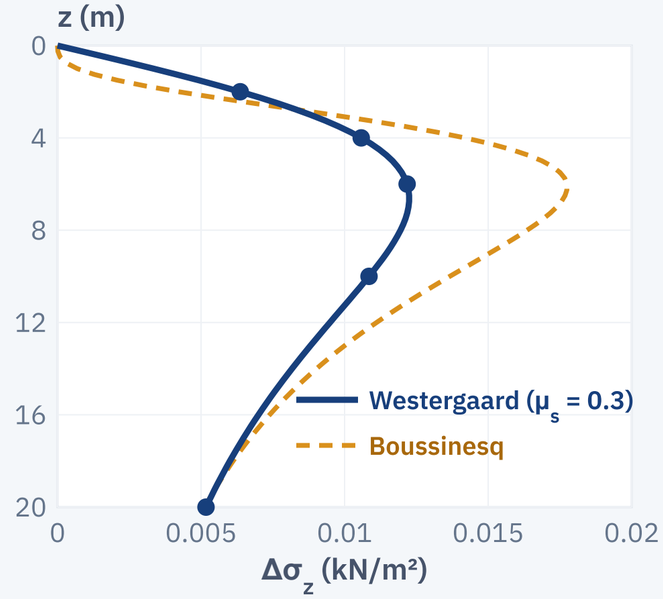
$$I_5 = 0.5570\,[1.8750]^{-3/2} = 0.2170$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{10^2}\,(0.2170) = \mathbf{0.01085}\ \mathrm{kN/m^2}$$

2 Tiefe der größten Spannung ($d\Delta\sigma_z/dz = 0$)

$$\Delta\sigma_z = \frac{P\eta}{2\pi}\,z\,(r^2+\eta^2 z^2)^{-3/2}$$

$$z^* = \frac{r}{\sqrt{2}\,\eta} = \frac{5}{1.4142\,(0.5345)} = \mathbf{6.61}\ \mathrm{m}$$



Größte Spannung: nach Westergaard bei **z = 6.61 m** (0.01225), nach Boussinesq (z* = r√1.5) bei **z = 6.12 m** (0.01775 kN/m²).

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

BEISPIEL

Gegeben

Last und Punkt	$P = 5$ **kN,** $r = 5$ **m,** $z = 4$ **m (Punkt aus Beispiel 1)**
Veränderlich	$\mu_s = 0;\ 0.1;\ 0.2;\ 0.3;\ 0.4;\ 0.45;\ 0.49$

GESUCHT

Für jedes μ_s: **η**, **r/(ηz)**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ und das Verhältnis zu Boussinesq.

Lösung (1/3)

LÖSUNG

μ_s	η	$r/(\eta z)$	I_5	$\Delta\sigma_z$ (kN/m²)	$\Delta\sigma_z$ / Boussinesq
0.00	0.7071	1.768	0.03799	**0.01187**	0.836
0.10	0.6667	1.875	0.03732	**0.01166**	0.822
0.20	0.6124	2.041	0.03614	**0.01129**	0.796
0.30	0.5345	2.339	0.03386	**0.01058**	0.745
0.40	0.4082	3.062	0.02858	**0.00893**	0.629
0.45	0.3015	4.146	0.02257	**0.00705**	0.497
0.49	0.1400	8.927	0.01120	**0.00350**	0.247

An dieser Stelle (r/z = 1.25) **nimmt die Westergaard-Spannung mit wachsendem μ_s ab**: 0.01187 bei μ_s = 0 und 0.00350 kN/m² bei μ_s = 0.49. Auf der Lastachse ist es umgekehrt (Beispiel 4): Die Richtung der Wirkung hängt von der Lage des Punktes ab.

Lösung (2/3)

LÖSUNG

1 $\mu_s = 0$

$$\eta^2 = \frac{1}{2} = 0.5000\,, \quad \eta = 0.7071\,, \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.7071(4)} = 1.7678$$

$$I_5 = \frac{1}{\pi}\left[4.1250\right]^{-3/2} = 0.3183 \times 0.11936 = 0.03799$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.03799) = \mathbf{0.01187}$$

Bei Querdehnzahl null ergibt sich η = 1/√2 = 0.7071; an diesem Punkt wird **$\Delta\sigma_z$ = 0.01187 kN/m²** ermittelt (83.6 % von Boussinesq).

Lösung (3/3)

LÖSUNG

2 $\mu_s = 0.4$

$$\eta^2 = \frac{1 - 0.8}{2 - 0.8} = 0.1667\,, \quad \eta = 0.4082\,, \quad \frac{r}{\eta z} = \frac{5}{0.4082(4)} = 3.0619$$

$$I_5 = 0.9549\,[10.3750]^{-3/2} = 0.9549 \times 0.02992 = 0.02858$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.02858) = \mathbf{0.00893}$$

Mit zunehmender Querdehnzahl des Bodens zwischen den Platten nimmt η ab; r/(ηz) wird größer und I_5 nimmt an diesem Punkt ab: **0.01187 → 0.00893 kN/m²** ($\mu_s = 0 \rightarrow 0.4$).

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

BEISPIEL

Gegeben

Last	$P = 5$ **kN,** $\mu_s = 0.3$
Tiefe	$z = 4$ **m; horizontaler Abstand** $r = 0,\ 1,\ 2 \ldots 10$ **m**
Aufgabe	**wie sich die Spannungen nach Westergaard und Boussinesq auf der Lastachse verhalten; für welchen Wert von** μ_s **die beiden Lösungen gleich werden?**

GESUCHT

$\Delta\sigma_z$ unter der Last (r = 0), derselbe Wert für $\mu_s = 0$ und die **Tabelle des Horizontalprofils**.

Lösung (1/3)

LÖSUNG

1 r = 0 für $\mu_s = 0.3$

$$I_5(0) = \frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{1}{2\pi\,(0.2857)} = 0.5570 \qquad \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.5570) = \mathbf{0.1741}$$

$$\text{Boussinesq: } I_1(0) = \frac{3}{2\pi} = 0.4775 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_{z,B} = \frac{5}{16}\,(0.4775) = \mathbf{0.1492}$$

2 Für $\mu_s = 0$, r = 0

$$I_5(0) = \frac{1}{\pi} = 0.3183 \;\Rightarrow\; \Delta\sigma_z = \frac{5}{16}\,(0.3183) = \mathbf{0.0995} \qquad \frac{\Delta\sigma_z}{\Delta\sigma_{z,B}} = \frac{1/\pi}{3/2\pi} = \frac{2}{3}$$

μ_s = 0: Westergaard beträgt **2/3** von Boussinesq (0.0995 und 0.1492); **μ_s = 0.3**: sie ist größer als diese (0.1741); die beiden Lösungen werden bei **μ_s = 0.25** gleich.

Lösung (2/3)

LÖSUNG

3 μ_S, bei dem die beiden Lösungen auf der Achse gleich sind

$$\frac{1}{2\pi\eta^2} = \frac{3}{2\pi} \Rightarrow \eta^2 = \frac{1}{3} = \frac{1-2\mu_s}{2-2\mu_s} \Rightarrow \mu_s = \mathbf{0.25}$$

4 Verhältnis auf der Achse: Westergaard / Boussinesq = $(1/2\pi\eta^2) / (3/2\pi) = 1/(3\eta^2)$

μ_S	0.00	0.10	0.20	0.25	0.30	0.40	0.45	0.49
η^2	0.5000	0.4444	0.3750	0.3333	0.2857	0.1667	0.0909	0.0196
$\Delta\sigma_z$ Westergaard / Boussinesq	0.667	0.750	0.889	1.000	1.167	2.000	3.667	17.000

Auf der Lastachse wächst das Verhältnis mit μ_S rasch: 2/3 bei $\mu_S = 0$, 1 bei $\mu_S = 0.25$, 3.67 bei $\mu_S = 0.45$; wenn μ_S gegen 0.5 strebt, geht $\eta \to 0$ und das Verhältnis wächst unbegrenzt.

Lösung (3/3)

LÖSUNG

r (m)	r/z	r/(ηz)	I_5	$\Delta\sigma_z$ nach Westergaard	$\Delta\sigma_z$ nach Boussinesq	Verhältnis W/B
0	0.00	0.000	0.5570	**0.17408**	0.14921	1.167
1	0.25	0.468	0.4140	**0.12938**	0.12822	1.009
2	0.50	0.935	0.2170	**0.06780**	0.08541	0.794
3	0.75	1.403	0.1089	**0.03403**	0.04889	0.696
4	1.00	1.871	0.0584	**0.01824**	0.02638	0.691
5	1.25	2.339	0.0339	**0.01058**	0.01419	0.745
6	1.50	2.806	0.0211	**0.00658**	0.00784	0.840
8	2.00	3.742	0.0096	**0.00300**	0.00267	1.123
10	2.50	4.677	0.0051	**0.00159**	0.00105	1.509

Die Westergaard-Spannung liegt auf der Achse über der von Boussinesq; nach **r/z ≈ 0.26** fällt sie unter Boussinesq (r = 2 m: 0.06780 und 0.08541) und nach **r/z ≈ 1.81** (r ≈ 7.2 m) steigt sie wieder darüber (r = 10 m: 0.00159 und 0.00105): in der Ferne nimmt die Westergaard-Spannung langsamer ab.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

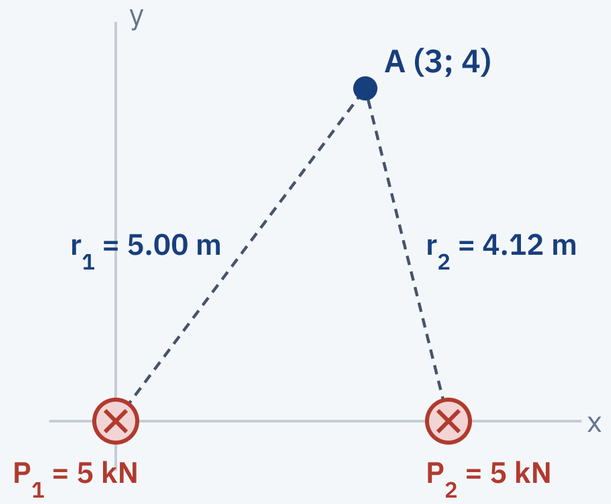
BEISPIEL

GESUCHT

Die Werte **r**, $\mathbf{I_5}$, $\mathbf{\Delta\sigma_z}$ jeder Last; Gesamtspannung und Boussinesq-Summe.

Gegeben

Lasten	$P_1 = 5$ **kN,** $(0;\ 0)$ **und** $P_2 = 5$ **kN,** $(4;\ 0)$
Punkt A	$x = 3$ **m,** $y = 4$ **m,** $z = 4$ **m**
Baugrund	$\mu_s = 0.3$



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 P_1 (0; 0)

$$r_1 = \sqrt{3^2 + 4^2} = 5.000 \text{ m}$$

$$\frac{r_1}{\eta z} = \frac{5.000}{0.5345(4)} = 2.3385\,, \quad I_5 = 0.03386$$

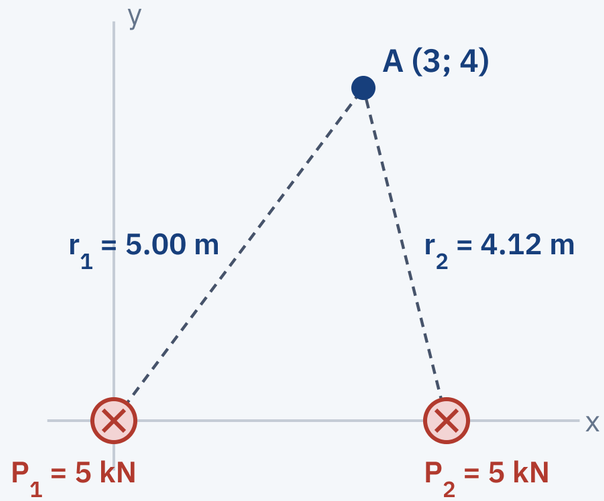
$$\Delta\sigma_{z(1)} = \frac{5}{16}\,(0.03386) = \mathbf{0.01058}\ \text{kN/m}^2$$

2 P_2 (4; 0)

$$r_2 = \sqrt{(3-4)^2 + 4^2} = 4.123 \text{ m}$$

$$\frac{r_2}{\eta z} = \frac{4.123}{0.5345(4)} = 1.9284\,, \quad I_5 = 0.05434$$

$$\Delta\sigma_{z(2)} = \frac{5}{16}\,(0.05434) = \mathbf{0.01698}\ \text{kN/m}^2$$



Last 2 ist näher: **0.01698**; Last 1: **0.01058 kN/m²**.

Lösung (2/2)

LÖSUNG

1 Die Spannungen werden summiert

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 0.01058 + 0.01698 = \mathbf{0.02756}\ \mathrm{kN/m^2}$$

$$\Delta\sigma_{z,B} = 0.01419 + 0.02442 = 0.03862\ \mathrm{kN/m^2}$$

2 Tiefenprofil unter demselben Punkt (Summe der beiden Lasten)

z (m)	2	4	6	8	10	12	16	20
$\Delta\sigma_z$ nach Westergaard	0.0174	0.0276	0.0301	0.0282	0.0247	0.0210	0.0150	0.0108
$\Delta\sigma_z$ nach Boussinesq	0.0137	0.0386	0.0430	0.0371	0.0298	0.0237	0.0153	0.0105

Am Punkt A (z = 4 m) erzeugen die beiden Lasten zusammen **$\Delta\sigma_z$ = 0.02756 kN/m²**; die Boussinesq-Summe beträgt 0.03862 kN/m². Die Gesamtsumme ist die Summe der für jede Last einzeln ermittelten Werte; der Wert einer einzelnen Last (Beispiel 1) ist ein Teil dieser Summe.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Zusammenfassung

Die wichtigsten Punkte

Westergaard-Medium: dünne starre horizontale Platten verhindern die Seitliche Verformung; $\Delta\sigma_z = (P/z^2)\, I_5$, $I_5 = [1/(2\pi\eta^2)]\,[(r/\eta z)^2 + 1]^{-3/2}$, $\eta = \sqrt{[(1 - 2\mu_s)/(2 - 2\mu_s)]}$

Beispiel (P = 5 kN, r = 5 m, z = 4 m, μ_s = 0.3): η 0.5345; r/(ηz) 2.339; I_5 0.03386 → **$\Delta\sigma_z$ = 0.01058 kN/m²**; Boussinesq 0.01419

Auf der Lastebene $I_5 = 1/(2\pi\eta^2)$: für $\mu_s = 0$ gilt $1/\pi = 0.3183$ (Boussinesq $3/2\pi = 0.4775$); die Spannung nimmt mit μ_s zu, bei $\mu_s = 0.5$ verliert die Lösung ihre Gültigkeit

Tiefe: in mittleren Tiefen ist die Spannung nach Westergaard kleiner, in großer Tiefe nähern sich die beiden Lösungen an; die größte Spannung tritt bei $z = r/(\sqrt{2}\,\eta) = 6.61$ m auf (Boussinesq: $r\sqrt{1.5} = 6.12$ m)

Superposition: Jede Last wird mit ihrem eigenen Abstand r erfasst, die Spannungen werden summiert (im Beispiel zwei Lasten: 0.02756 kN/m²)

Literatur

Das, B.M. (2018). Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed. Cengage Learning.

Westergaard, H.M. (1938). A problem of elasticity suggested by a problem in soil mechanics: soft material reinforced by numerous strong horizontal sheets. In Contributions to the Mechanics of Solids, Stephen Timoshenko 60th Anniversary Volume. Macmillan, New York, 268–277.

HINWEIS

Alle Zahlenbeispiele wurden mit der moduleigenen Berechnungsengine erzeugt; das Modul liefert dieselben Werte. Das Eröffnungsbeispiel des Moduls ist P = 5 kN, r = 5 m, μ_s = 0.3 und z = 4 m.

GeoTerva

Geotechnische Berechnungen online

Von der Theorie zur Praxis

Geben Sie Ihre eigenen Einzellasten, den Punkt A und den Wert μ_s in GeoTerva ein; das Modul liefert η, den Einflussbeiwert I_5, den Beitrag jeder Last, den Vergleich mit Boussinesq, das Tiefenprofil, die schrittweise Lösung und den Bericht zusammen.

Modul öffnen → **Theorieseite →**

Auf dem Smartphone öffnen
Die Beispielmodule erfordern keine Registrierung.

Falls Sie sie in Ihren Vorlesungen verwenden möchten: info@geoterva.com