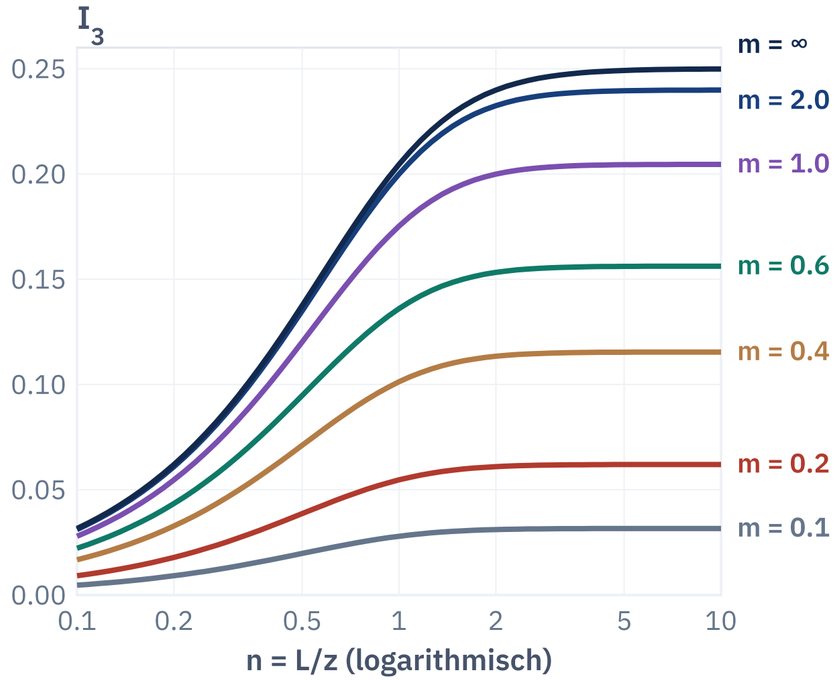
GeoTerva

Geotechnische Vorlesungspräsentation · Spannungen im Baugrund

Spannung unter einer Rechtecklast

Vorlesung: vertikale Spannung unter einer Rechtecklast; Ecklösung, Superposition und von Hand gerechnete Beispiele.

- Unter der Ecke · I_3
- Vier Rechtecke
- Unter der Mitte · I_4
- Außerhalb der Einzellast
- Mehrere Rechtecke



Einführung

Was lernen wir in dieser Vorlesung?

Die vertikale Spannungszunahme unter einer **rechteckigen Fläche** mit gleichmäßig verteilter Last (Fundament, Fundamentplatte, Decke): $\Delta\sigma_z$

Geschlossene Lösung unter der Ecke: $\Delta\sigma_z = q\, I_3$, I_3 hängt nur von $m = B/z$ und $n = L/z$ ab

Für **einen beliebigen Punkt** die **Addition und Subtraktion** von Rechtecken: die Last wird in vier Rechtecke aufgeteilt, die über dem Punkt eine gemeinsame Ecke haben

Direkt unter dem Mittelpunkt I_4; für das Quadrat die Kontrolle $I_4 = 4\, I_3(1, 1) = 0.701$

Dass sich die Spannungen mehrerer Rechtecke **überlagern**; der Einfluss der Rechteckform (L/B)

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: Rechteck 3 m × 2 m, $q = 150$ kN/m²; der Punkt A′ liegt 1 m über die kurze Seite hinaus, in Richtung einer der langen Seiten; $z = 4$ m.

Rechteckfläche mit Gleichlast

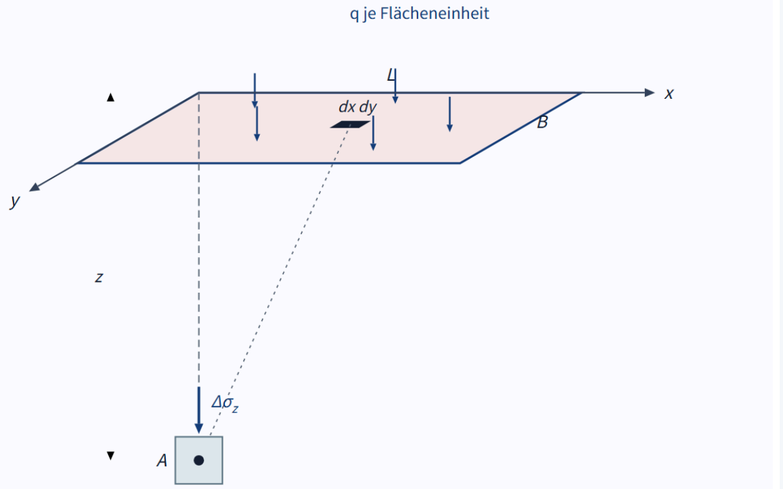
THEORIE

Die meisten Fundamente und Plattengründungen sind **rechteckig**; wird die Boussinesq-Lösung über ein Rechteck integriert, so erhält man die vertikale Spannung **unter einer Ecke** in geschlossener Form.

Für alle übrigen Punkte werden die Rechtecke **addiert und subtrahiert**

Ein flexibles Rechteck der Abmessungen **L × B** mit einer gleichmäßig verteilten Auflast **q**; der Boden ist ein homogenes, isotropes, linear elastisches halbunendliches Medium

$\Delta\sigma_z$ ist der Spannungszuwachs aus der Last allein



Boussinesq-Integral: $\Delta\sigma_z = q\, I_3$

THEORIE

Das Elementarfeld trägt die Last **dq = q dx dy**; in der Boussinesq-Gleichung werden P = q dx dy und r² = x² + y² angesetzt

$$d\sigma_z = \frac{3q\,dx\,dy\,z^3}{2\pi\left(x^2+y^2+z^2\right)^{5/2}}$$

$$\Delta\sigma_z = \int_0^B\int_0^L \frac{3q\,z^3\,dx\,dy}{2\pi\left(x^2+y^2+z^2\right)^{5/2}} = q\,I_3$$

m = B/z und **n = L/z**; I_3 hängt nur von diesen beiden Verhältnissen ab

Einflussbeiwert I_3

THEORIE

$$I_3 = \frac{1}{4\pi}\left[\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2+m^2n^2+1}\cdot\frac{m^2+n^2+2}{m^2+n^2+1}+\tan^{-1}\left(\frac{2mn\sqrt{m^2+n^2+1}}{m^2+n^2-m^2n^2+1}\right)\right]$$

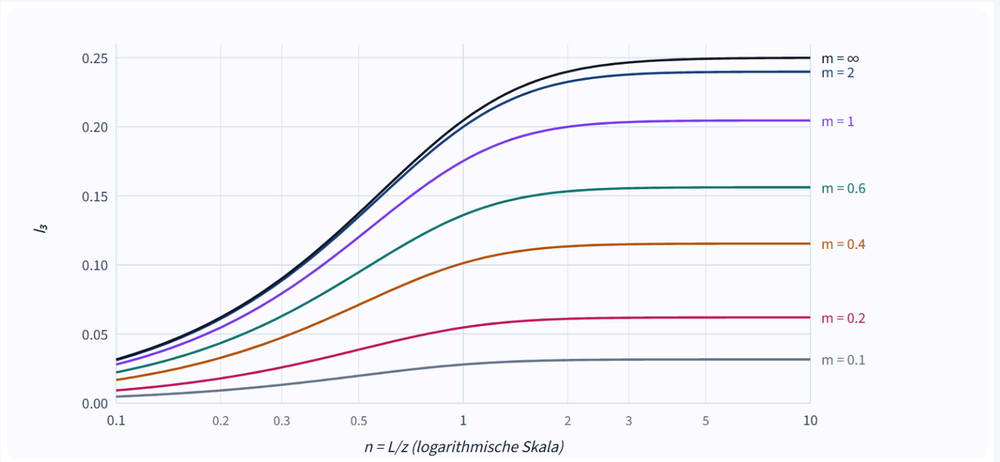
Der Arkustangens muss ein **positiver** Winkel im Bogenmaß sein: bei $m^2 + n^2 + 1 < m^2n^2$ ergibt er sich negativ und es wird **π addiert**

I_3 ist bezüglich m und n **symmetrisch**; für ein sehr großes Rechteck nähert es sich **1/4**: eine Ecke trägt ein Viertel der Last einer unendlich großen Fläche

Werte von I_3

THEORIE

n \ m	0.1	0.2	0.5	1.0	2.0	3.0
0.10	0.0047	0.0092	0.0198	0.0279	0.0311	0.0315
0.25	0.0113	0.0220	0.0475	0.0674	0.0752	0.0761
0.50	0.0198	0.0387	0.0840	0.1202	0.1350	0.1368
1.00	0.0279	0.0547	0.1202	0.1752	0.1999	0.2034
2.00	0.0311	0.0610	0.1350	0.1999	0.2325	0.2378
5.00	0.0316	0.0620	0.1374	0.2044	0.2395	0.2461



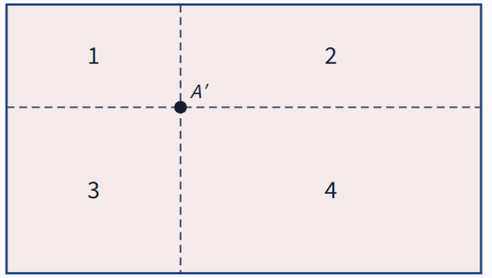
Rechteck aus vier Ecken

THEORIE

$$\Delta\sigma_z = q\left[I_{3(1)} + I_{3(2)} + I_{3(3)} + I_{3(4)}\right]$$

Die belastete Fläche wird in Rechtecke unterteilt, die einen **gemeinsamen Eckpunkt** über dem Punkt A′ haben; die Eckpunktspannungen werden summiert

Liegt A′ **außerhalb** der Fläche, so ragt ein Teil der Rechtecke über die Fläche hinaus und wird **abgezogen**; das Modul zeichnet die vier Rechtecke von der Einzellast zu den Ecken mit vorzeichenbehafteten Abständen an jedem Punkt, und jedes I_3 erhält das Vorzeichen des Produkts seiner beiden Seiten



Grundriss der Lastfläche; A′ ist Eckpunkt aller vier Rechtecke 1–4

Unter der Mitte: I_4

THEORIE

$$\Delta\sigma_z = q\, I_4, \quad I_4 = \frac{2}{\pi}\left[\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+m_1^2+n_1^2}}\,\frac{1+m_1^2+2n_1^2}{(1+n_1^2)(m_1^2+n_1^2)} + \sin^{-1}\frac{m_1}{\sqrt{m_1^2+n_1^2}\,\sqrt{1+n_1^2}}\right]$$

Unter dem Mittelpunkt sind die vier Rechtecke **gleich**; das Ergebnis wird direkt angeschrieben: **m_1 = L/B**, **n_1 = z/b**, b = B/2 (L ≥ B)

Für ein Quadrat in der Tiefe z = b gilt **I_4 = 0.701 = 4 I_3(1, 1)**

Superposition

THEORIE

Jedes Rechteck wird durch seine eigenen **q, L, B** und seinen Mittelpunkt auf dem Baugrund (x_C, y_C) definiert (im Modul höchstens acht)

Zwei Rechtecke **dürfen eine Kante gemeinsam haben, sich aber nicht überlappen**

Da der Boden elastisch ist, wird die Spannung jedes Rechtecks aus seinen eigenen **vier Eckrechtecken** ermittelt und die Spannungen werden summiert

$$\Delta\sigma_z = \sum_k q_k \sum \pm I_3 \ (\text{vier Ecken})$$

Aufgabe

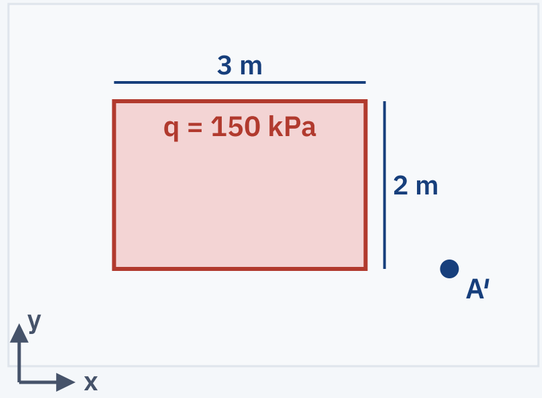
BEISPIEL

Gegeben

Rechteck	3×2 m ($L = 3$ m in x-Richtung, $B = 2$ m in y-Richtung), $q = 150$ kN/m², im Ursprung zentriert
Punkt A′	1 m über die kurze Seite hinaus, in Richtung einer der langen Seiten: $x = 2.5$ m, $y = -1$ m; $z = 4$ m

GESUCHT

$\Delta\sigma_z$: über das Rechteck der vier Ecken; die beiden I_3-Werte ausführlich berechnen.



Lösung (1/3)

LÖSUNG

1 Markierte Abstände von A′ zu den vier Ecken der Last (z = 4 m)

Ecke (x; y)	a = x − $x_{A'}$	b = y − $y_{A'}$	m = |a|/z	n = |b|/z	Vorzeichen
(1.5; 1.0)	−1.0	2.0	0.25	0.50	–
(1.5; -1.0)	−1.0	0.0	0.25	0.00	0 (b = 0)
(-1.5; 1.0)	−4.0	2.0	1.00	0.50	+
(-1.5; -1.0)	−4.0	0.0	1.00	0.00	0 (b = 0)

2 Zwei Rechtecke bleiben: A′ gemeinsame Ecke

$$\Delta\sigma_z = q\,[I_3(0.5;\,1) - I_3(0.25;\,0.5)] \qquad 4\,\mathrm{m} \times 2\,\mathrm{m} \;-\; 1\,\mathrm{m} \times 2\,\mathrm{m}$$

Zwei Ecken mit b = 0 liefern keinen Beitrag. Für das Rechteck **4 m × 2 m** gilt m = B/z = 2/4 = 0.5; n = L/z = 4/4 = 1; für das Rechteck **1 m × 2 m** gilt m = 1/4 = 0.25; n = 2/4 = 0.5. Da I_3 symmetrisch ist, sind (1; 0.5) und (0.5; 1) gleich.

Lösung (2/3)

LÖSUNG

Interpolation	$I_3(0.5; 1)$	$I_3(0.25; 0.5)$
m ; n	0.50 ; 1.00	0.25 ; 0.50
m^2 ; n^2	0.2500 ; 1.0000	0.0625 ; 0.2500
$S_1 = m^2 + n^2 + 1$	2.2500	1.3125
$\sqrt{S_1}$	1.5000	1.1456
$2mn\sqrt{S_1}$	1.5000	0.2864
$S_2 = m^2 + n^2 + m^2n^2 + 1$	2.5000	1.3281
$(m^2 + n^2 + 2)/S_1$	1.4444	1.7619
1. Term = $2mn\sqrt{S_1} / S_2 \cdot (m^2 + n^2 + 2)/S_1$	0.8667	0.3800
$D = m^2 + n^2 + 1 - m^2n^2$	2.0000	1.2969
$2mn\sqrt{S_1} / D$	0.7500	0.2208
$\tan^{-1}(\dots)$ (rad)	0.6435	0.2174
I_3 = (1. Term + $\tan^{-1}$)/(4π)	**0.12018**	**0.04753**

$I_3(0.5; 1) = 0.12018$ und **$I_3(0.25; 0.5) = 0.04753$**. Da an beiden Winkeln D > 0 gilt, ist der Arkustangens positiv; π muss nicht addiert werden.

Lösung (3/3)

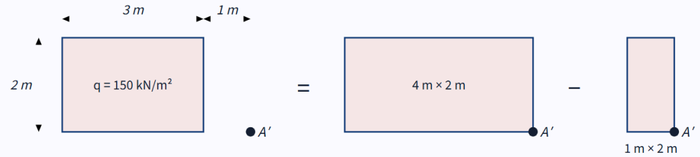
LÖSUNG

3 Differenz und Spannung

$$\Delta\sigma_z = 150\,(0.12018 - 0.04753) = 150\,(0.07264)$$

$$\Delta\sigma_z = 18.03 - 7.13 = \mathbf{10.90}\ \mathrm{kPa}$$

Im Punkt A′ ist **$\Delta\sigma_z$ = 10.90 kPa** ($\Delta\sigma_z/q$ = 0.07264). Das Modul öffnet mit diesem Beispiel; werden Rechteck und Punkt um dieselbe Strecke gemeinsam verschoben (Mittelpunkt 4; 3 m, Punkt 6.5; 2 m), ändert sich die Spannung nicht: 10.90 kPa.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

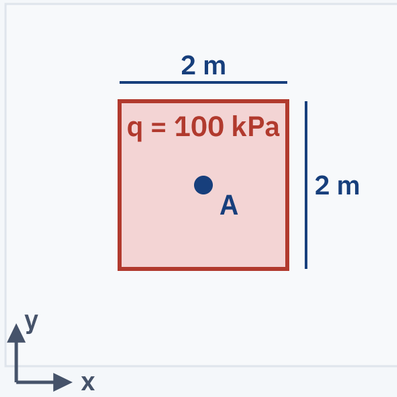
BEISPIEL

Gegeben

(a) Quadrat	2×2 **m,** $q = 100$ **kN/m²; unterhalb der Mitte** $z = 1$ **m (**$n_1 = z/b = 1$**)**
(b) Rechteckig	3×2 **m,** $q = 150$ **kN/m²; unterhalb der Mitte** $z = 4$ **m (**$m_1 = L/B = 1.5$**;** $n_1 = 4$**)**

GESUCHT

(a) Nachweis $\mathbf{I_4 = 4\, I_3(1, 1)}$; (b) $\mathbf{I_4}$ und $\mathbf{\Delta\sigma_z}$; Vergleich mit der Summe der vier Ecken.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Vier gleiche Rechtecke (je 1 m × 1 m, z = 1 m): $I_3(1, 1)$; $S_1 = 3$, $\sqrt{S_1} = 1.7321$, $2mn\sqrt{S_1} = 3.4641$, $S_2 = 4$

$$1.\ \text{Term} = \frac{3.4641}{4} \cdot \frac{4}{3} = 1.1547 \qquad \tan^{-1}\frac{3.4641}{3-1} = \tan^{-1}(1.7321) = 1.0472$$

$$I_3 = \frac{1.1547 + 1.0472}{4\pi} = \mathbf{0.17522}$$

2 Nachweis mit der Formel für den Mittelpunkt ($m_1 = 1$; $n_1 = 1$)

$$4\, I_3 = 4\,(0.17522) = 0.70089$$

$$I_4 = \frac{2}{\pi}\left[\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{4}{4} + \sin^{-1}\frac{1}{2}\right] = \frac{2}{\pi}\,(0.5774 + 0.5236) = \mathbf{0.70089}$$

Für das Quadrat gilt **$I_4 = 4\, I_3(1, 1) = 0.70089 \approx 0.701$**. In diesem Beispiel entspricht die Spannung unter dem Mittelpunkt 70.1 % der Lastpressung (z = b).

Lösung (2/2)

LÖSUNG

1 I_4: $m_1 = L/B = 1.5$; $n_1 = z/b = 4$ ($b = 1$ m); $m_1^2 + n_1^2 = 18.25$

$$\frac{m_1 n_1}{\sqrt{1 + m_1^2 + n_1^2}} = \frac{6}{4.3875} = 1.3675 \qquad \frac{1 + m_1^2 + 2n_1^2}{(1 + n_1^2)(m_1^2 + n_1^2)} = \frac{35.25}{310.25} = 0.1136$$

$$\sin^{-1} \frac{1.5}{\sqrt{18.25}\sqrt{17}} = 0.0853 \qquad I_4 = \frac{2}{\pi}\,(0.1554 + 0.0853) = \mathbf{0.15320}$$

2 Nachweis mit $\Delta\sigma_z$ und der Summe der vier Ecken

$$\Delta\sigma_z = 150\,(0.15320) = \mathbf{22.98}\ \mathrm{kPa} \qquad 4\,I_3(0.25;\,0.375) = 4\,(0.03830) = 0.15320$$

Unter der Mitte **$\Delta\sigma_z$ = 22.98 kPa** ($\Delta\sigma_z/q = 0.15320$). Dasselbe Ergebnis liefern auch vier gleiche Eckrechtecke (je 1.5 m × 1 m): 4 I_3(0.25; 0.375).

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

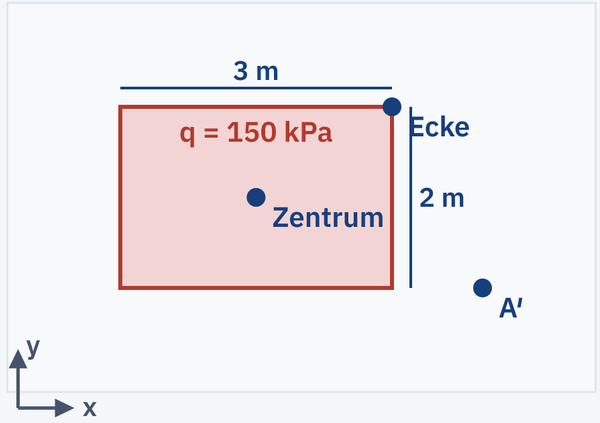
BEISPIEL

Gegeben

Rechteck	3×2 **m,** $q = 150$ **kN/m²**
Punkte	**Mitte** $(0; 0)$**, Ecke** $(1.5;\ 1)$ **und A′** $(2.5;\ -1)$
Tiefen	$z = 1; 2; 4; 6; 8; 12$ **m**

GESUCHT

$\Delta\sigma_z$ und $\Delta\sigma_z/q$ an drei Punkten; Interpretation der Änderung mit der Tiefe.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

z (m)	Mitte $\Delta\sigma_z$	Ecke $\Delta\sigma_z$	A′ $\Delta\sigma_z$	Schwerpunkt /q	Ecke /q	A′ /q
1	116.19	35.67	5.88	0.7746	0.2378	0.0392
2	64.24	29.05	11.96	0.4283	0.1936	0.0798
4	22.98	16.06	10.90	0.1532	0.1071	0.0726
6	11.10	9.19	7.41	0.0740	0.0612	0.0494
8	6.44	5.74	5.03	0.0429	0.0383	0.0335
12	2.93	2.78	2.60	0.0195	0.0185	0.0174

Unter der **Mitte** und der **Ecke** nimmt die Spannung mit der Tiefe monoton ab (22.98 und 16.06 kPa bei z = 4 m); das Verhältnis Ecke/Mitte beträgt 0.70 bei z = 4 m und 0.95 bei z = 12 m. Bei **A′** (außerhalb der Last) beträgt sie 5.88 kPa bei z = 1 m, steigt bei z ≈ 2.50 m auf ihren Größtwert (12.64 kPa) an und nimmt danach ab.

Lösung (2/2)

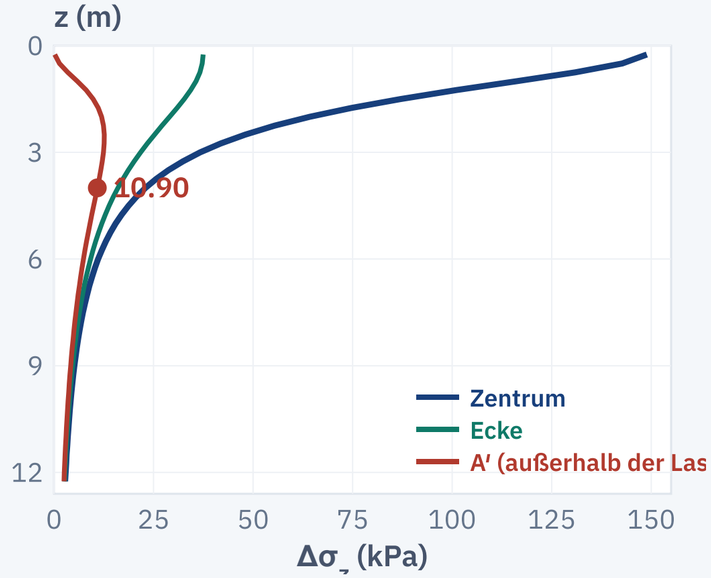
LÖSUNG

1 Zeile z = 4 m: drei Punkte

$$\text{Schwerpunkt: } 150\,(0.15320) = 22.98\ \text{kPa}$$

$$\text{Ecke: } 150\,I_3(0.5;\,0.75) = 16.06\ \text{kPa} \qquad \text{A}' : \ 10.90\ \text{kPa}$$

Nahe der Oberfläche nähert sich der Wert unter dem Mittelpunkt ≈ q und unter der Ecke ≈ q/4; in der Tiefe nähern sich die drei Kurven einander an: bei z = 12 m 2.93, 2.78 und 2.60 kPa.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

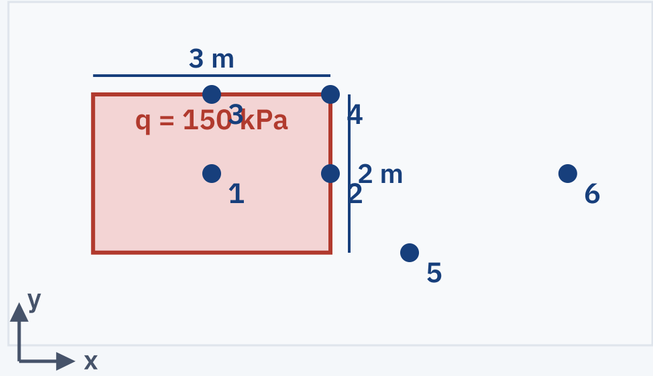
BEISPIEL

Gegeben

Rechteck	3×2 **m,** $q = 150$ **kN/m²,** $z = 4$ **m**
Punkte	**(1) Mitte; (2) Mitte der kurzen Seite; (3) Mitte der langen Seite; (4) Ecke; (5) A′; (6)** $(4.5;\ 0)$

GESUCHT

Vorzeichenbehaftete I_3-Terme an jedem Punkt, die Summe und $\Delta\sigma_z$.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

Punkt	(x; y)	Term 1	Term 2	Term 3	Term 4	$\Sigma \pm I_3$	$\Delta\sigma_z$ (kPa)
1	(0.0; 0)	0.0383	0.0383	0.0383	0.0383	0.1532	**22.98**
2	(1.5; 0)	0	0	0.0603	0.0603	0.1205	**18.08**
3	(0.0; 1)	0	0.0675	0	0.0675	0.1351	**20.26**
4	(1.5; 1)	0	0	0	0.1071	0.1071	**16.06**
5	(2.5; -1)	−0.0475	0	0.1202	0	0.0726	**10.90**
6	(4.5; 0)	−0.0603	−0.0603	0.0733	0.0733	0.0261	**3.91**

Am inneren Punkt (1) sind alle vier Terme **+**; an den Randpunkten (2, 3) sind zwei Terme null; an der Ecke (4) bleibt ein einziger Term übrig; außerhalb (5, 6) werden einige Terme **−**. Reihenfolge: 22.98 > 18.08 > 20.26 > 16.06 > 10.90 > 3.91 kPa.

Lösung (2/2)

LÖSUNG

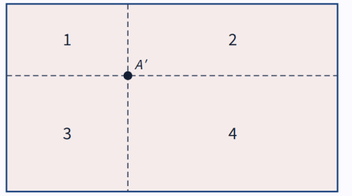
1 Ecke (4): ein einzelnes Rechteck (3 m × 2 m)

$$\Delta\sigma_z = q\, I_3(m = 0.5;\ n = 0.75) = 150\,(0.10707) = \mathbf{16.06}\ \mathrm{kPa}$$

2 Entfernter Punkt (6): (4.5; 0), 3 m hinter der Last

$$\Delta\sigma_z = q \cdot 2\,[\,I_3(1.5;\ 0.25) - I_3(0.75;\ 0.25)\,]$$
$$= 150 \cdot 2\,(0.07329 - 0.06026) = \mathbf{3.91}\ \mathrm{kPa}$$

Verhältnis der Eck- zur Mittelspannung 0.699; in 3 m Entfernung von der Last (6) verbleiben 3.91 kPa: auch außerhalb der Lastfläche ist die Spannung nicht null.



Grundriss der Lastfläche; A′ ist Eckpunkt aller vier Rechtecke 1–4

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

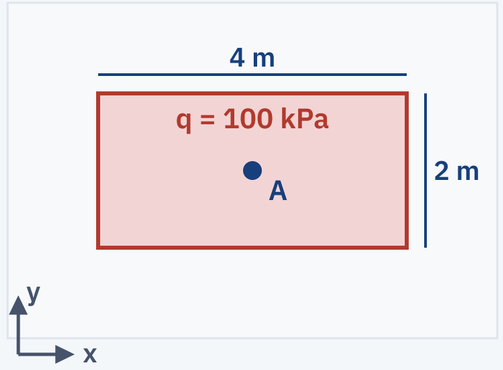
BEISPIEL

Gegeben

Rechteck	$B = 2$ **m** ($b = 1$ **m**), $L/B = 1; 2; 5; 10$ **und** $L \to \infty$ **(Streifen)**
Punkte	**unterhalb des Mittelpunkts,** $n_1 = z/b = 0.5$ **;** $1; 2; 4$

GESUCHT

Unterhalb der Mitte $\Delta\sigma_z/q = I_4$; Vergleich mit dem Streifenfundament.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

$n_1 = z/b$	L/B = 1	L/B = 2	L/B = 5	L/B = 10	Streifen (L/B → ∞)
0.5	0.9299	0.9565	0.9594	0.9595	**0.9595**
1.0	0.7009	0.7998	0.8176	0.8183	**0.8183**
2.0	0.3361	0.4807	0.5451	0.5495	**0.5498**
4.0	0.1081	0.1901	0.2848	0.3034	**0.3058**

Oberflächennah ($n_1 = 0.5$) spielt die Form kaum eine Rolle (0.930 – 0.959); in der Tiefe klingt die Spannung unter einem **kurzen** Rechteck deutlich schneller ab: bei $n_1 = 4$ ergibt das Quadrat 0.108, der Streifen 0.306.

Lösung (2/2)

LÖSUNG

1 Formel für I_4 (m_1 = 2; n_1 = 1)

$$m_1^2 + n_1^2 = 5 \qquad \frac{m_1 n_1}{\sqrt{1+5}} = \frac{2}{2.4495} = 0.8165 \qquad \frac{1+4+2}{(1+1)(5)} = 0.70$$

$$\sin^{-1}\frac{2}{\sqrt{5}\sqrt{2}} = 0.6847 \qquad I_4 = \frac{2}{\pi}\,(0.5715 + 0.6847) = \mathbf{0.79976}$$

2 Mit vier gleichen Eckrechtecken (je 2 m × 1 m, z = 1 m)

$$4\,I_3(1;\,2) = 4\,(0.19994) = \mathbf{0.79976}$$

In der Mitte eines Rechtecks mit L/B = 2 ergibt sich in der Tiefe z = b **$\Delta\sigma_z/q$ = 0.7998** (Quadrat: 0.7009; Streifen: 0.8183). Für L/B = 10 (n_1 = 1) beträgt der Wert 0.81826, beim Streifen 0.81831: Je länger das Rechteck wird, desto mehr nähert es sich dem Streifen.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

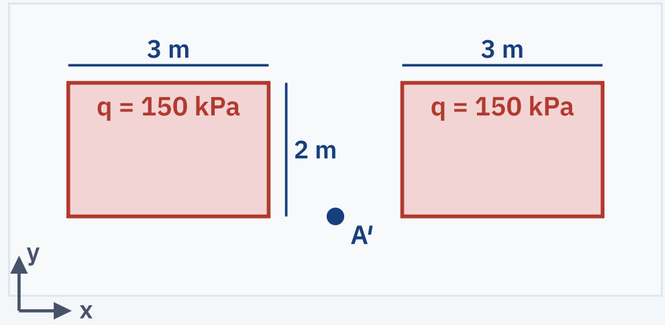
BEISPIEL

Gegeben

Rechteck 1	3×2 m, $q = 150$ kN/m², Mitte $x = 0$
Rechteck 2	3×2 m, $q = 150$ kN/m², Mittelpunkt $x = 5$ m ($y = 0$)
Punkt	A′: $x = 2.5$ m, $y = -1$ m; $z = 4$ m (ferner 1; 2; 6; 8; 12 m)

GESUCHT

Für jedes Rechteck und die Gesamtsumme $\Delta\sigma_z$; das Tiefenprofil.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Rechteck 2: Ecken bezogen auf A′ markiert (5 m zwischen den Mittelpunkten ≥ $(L_1 + L_2)/2$ = 3 m: keine Überlappung)

Ecke (x; y)	a	b	m	n	Vorzeichen
(6.5; 1.0)	4.0	2.0	1.00	0.50	+
(6.5; -1.0)	4.0	0.0	1.00	0.00	0 (b = 0)
(3.5; 1.0)	1.0	2.0	0.25	0.50	–
(3.5; -1.0)	1.0	0.0	0.25	0.00	0 (b = 0)

2 Superposition

$$\Delta\sigma_{z(2)} = 150\,[I_3(1;\,0.5) - I_3(0.25;\,0.5)] = 10.896\ \text{kPa}$$

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 10.896 + 10.896 = \mathbf{21.793}\ \text{kPa}$$

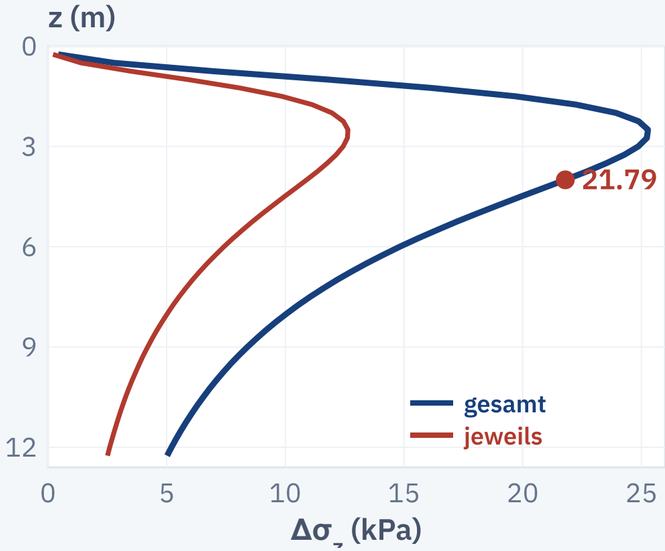
A′ liegt genau in der Mitte der beiden Rechtecke (x = 2.5 m; 1 m von jedem entfernt): Rechteck 2 ist das **Spiegelbild** von Rechteck 1 und liefert dieselbe Spannung. Gesamt **$\Delta\sigma_z$ = 21.79 kPa**.

Lösung (2/2)

LÖSUNG

z (m)	Rechteck 1	Rechteck 2	Gesamt
1	5.877	5.877	**11.754**
2	11.965	11.965	**23.930**
4	10.896	10.896	**21.793**
6	7.413	7.413	**14.826**
8	5.028	5.028	**10.056**
12	2.603	2.603	**5.205**

Die Gesamtspannung bei z = 4 m beträgt **21.79 kPa**; da die beiden Rechtecke symmetrisch sind, gilt für jede Tiefe Gesamt = 2 × Einzelrechteck. Der größte Gesamtwert ist 25.28 kPa bei z ≈ 2.50 m.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Zusammenfassung

Die wichtigsten Punkte

Ecke: $\Delta\sigma_z = q\, I_3(m, n)$, $m = B/z$, $n = L/z$; für eine große Fläche gilt $I_3 \to 1/4$. **Beliebiger Punkt:** vorzeichenbehaftetes Rechteck aus vier Ecken, $\Delta\sigma_z = q\, \Sigma \pm I_3$

Beispiel (A′; z = 4 m): 4 m × 2 m − 1 m × 2 m: $I_3(0.5; 1) = 0.12018$; $I_3(0.25; 0.5) = 0.04753$; **$\Delta\sigma_z$ = 150 (0.07264) = 10.90 kPa**

Mitte: $\Delta\sigma_z = q\, I_4$; Quadrat, z = b: $I_4 = 4\, I_3(1, 1) = 0.701$; Rechteck 3 × 2 m, z = 4 m: **22.98 kPa**

Lage (z = 4 m): Mittelpunkt 22.98, Seitenmitten 20.26 und 18.08, Ecke 16.06, A′ 10.90, ferner Punkt 3.91 kPa; auch außerhalb ist die Spannung nicht null

Form: bei z = 4b liefert das Quadrat 0.108 q, das Rechteck 10:1 0.303 q, das Streifenfundament 0.306 q. **Zwei Rechtecke:** die Spannungen werden summiert (10.90 + 10.90 = 21.79 kPa)

Literatur

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

Boussinesq, J. (1883). Application des Potentiels à l'Étude de l'Équilibre et du Mouvement des Solides Élastiques. Gauthier-Villars, Paris.

HINWEIS

Alle Zahlenbeispiele wurden mit der Berechnungsengine des Moduls selbst erzeugt; das Modul liefert dieselben Werte. Das Modul öffnet mit einem Rechteck von 3 m × 2 m (q = 150 kN/m²) und dem Punkt A′ (x = 2.5 m; y = −1 m; z = 4 m).

GeoTerva

Geotechnische Berechnungen online

Von der Theorie zur Praxis

Geben Sie Ihre Rechtecke (q, L, B, Mittelpunkt), den Punkt A und die Tiefe in GeoTerva ein; das Modul liefert die vier Eckterme, den Wert $\Delta\sigma_z$, die Isospannungslinien, das Tiefenprofil, die Schritt-für-Schritt-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