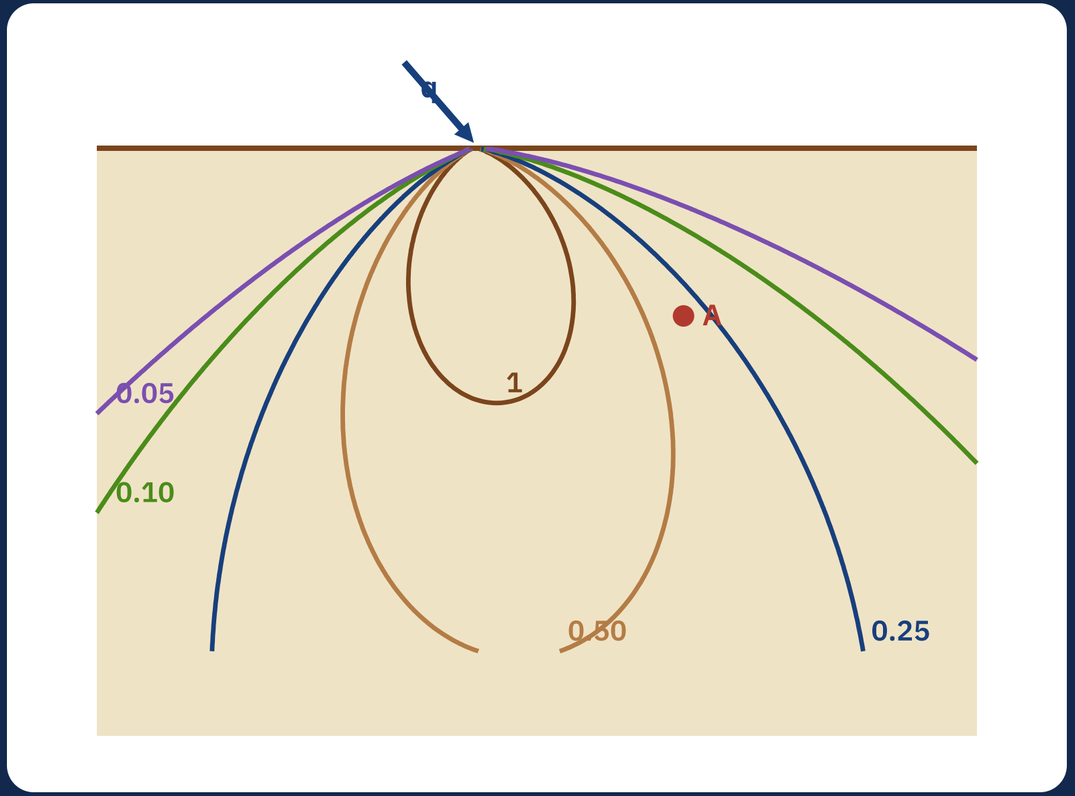
GeoTerva

Geotechnische Vorlesungspräsentation · Spannungsausbreitung im Baugrund

# Spannung unter einer horizontalen Linienlast

Vorlesung: die vertikale Spannung im Baugrund infolge horizontaler und geneigter Linienlast; das Einführungsbeispiel mit seinen Komponenten von Anfang bis Ende von Hand, die Tiefen- und Seitenprofile mit Tabellen.




- Horizontale Linienlast
- Komponenten einer geneigten Last
- Vorzeichenregel
- Superposition
- Linien gleicher Spannung

Einführung

# Was lernen wir in dieser Vorlesung?

Die vertikale Spannung infolge einer **horizontalen** Linienlast an der Oberfläche (Sohlreibung der Wand, Bremskraft, Bogenschub): $\Delta\sigma_z = (2q/\pi) \cdot z^2/(x^2 + z^2)^2$

**Vorzeichenregelung**: Auf der Seite, zu der die Last drückt ($x > 0$), nimmt die Spannung zu, auf der anderen Seite ab, und unmittelbar unter der Last ist sie null; der Größtwert tritt bei $x/z = 1/\sqrt{3}$ auf

**Zerlegung** einer geneigten Linienlast in ihre Komponenten: $q_V = q \cos \alpha$, $q_H = q \sin \alpha$; Überlagerung der beiden Spannungen

Einfluss von Neigung, Tiefe und seitlicher Lage auf die Spannung; **Superposition** bei mehreren Lasten

Das Eröffnungsbeispiel des Moduls ($q = 10$ kN/m, $\alpha = 20°$) **vollständig von Hand**; der getrennte Beitrag der Komponenten in Tabellen

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: $q = 10$ kN/m, $\alpha = 20°$ gegen die Vertikale; Punkt A: $x = 5$ m, $z = 4$ m.

# Horizontale und geneigte Linienlasten

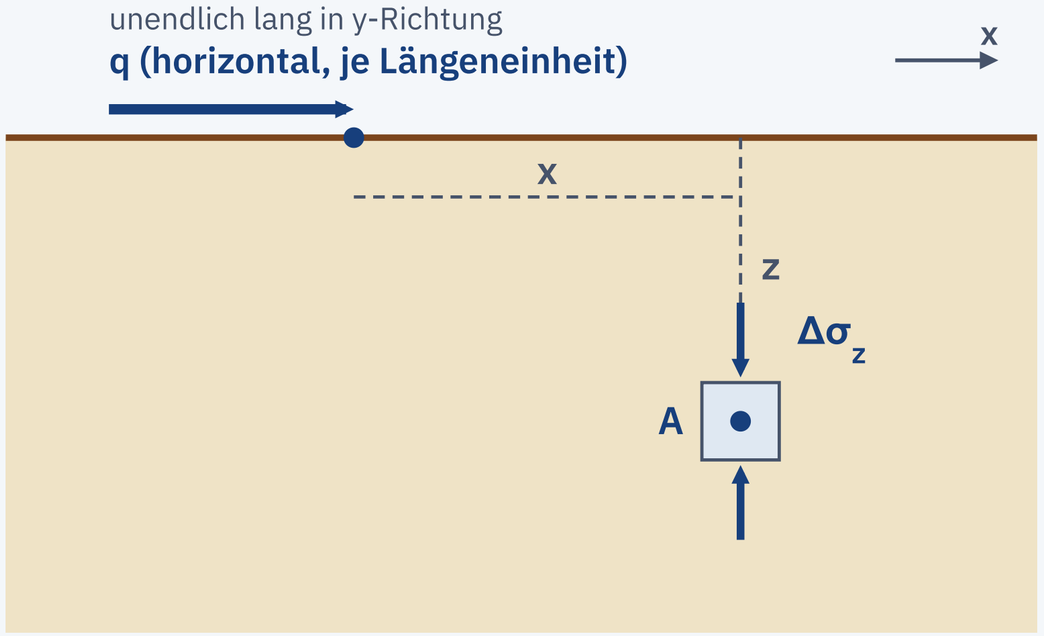
THEORIE

Eine Linienlast kann auch entlang der Oberfläche drücken, statt senkrecht auf sie einzuwirken; Reibung an der Sohle einer Stützwand, Bremskräfte von Eisenbahnen und Gewölbeschub sind Beispiele dafür.

Das Modul berechnet den vertikalen Spannungszuwachs unter einer horizontalen Linienlast sowie unter einer geneigten Linienlast durch Superposition der beiden Komponenten.

Die flexible Linienlast ist in y-Richtung unendlich lang, q ist die Last je Längeneinheit, und in jedem Querschnitt gilt der ebene Verzerrungszustand.

Der Boden ist ein homogenes, isotropes, linear elastisches Halbraumkontinuum; $\Delta\sigma_z$ ist ausschließlich der durch die Last erzeugte Spannungszuwachs.



# $\Delta\sigma_z$ einer horizontalen Linienlast

THEORIE

Für eine horizontale Linienlast liefert die elastische Lösung den vertikalen Spannungszuwachs am Punkt A in der Form $\Delta\sigma_z = (2q/\pi) \cdot x\, z^2/(x^2 + z^2)^2$.

Das Vorzeichen der Spannung hängt vom Wert x ab: Die vertikale Spannung nimmt auf der Seite zu, zu der die Last drückt (x > 0), auf der anderen Seite ab und ist direkt unter der Last (x = 0) null.

In dimensionsloser Form ergibt sich **$\Delta\sigma_z/(q/z) = (2/\pi)(x/z) / [(x/z)^2 + 1]^2$**; eine einzige Kurve wird für jedes q und jedes z verwendet.

$$\Delta\sigma_z = \frac{2q}{\pi} \frac{x\, z^2}{(x^2 + z^2)^2}$$

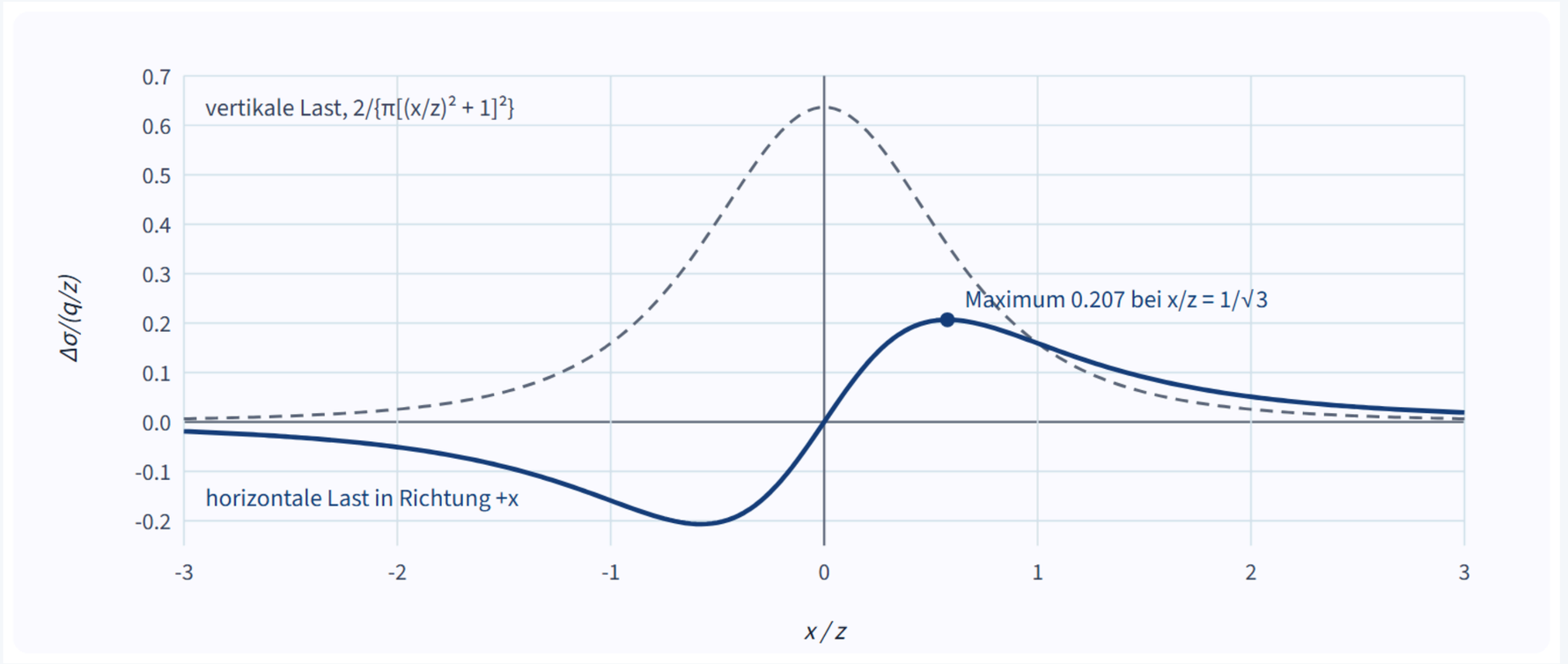
$$\frac{\Delta\sigma_z}{q/z} = \frac{2}{\pi} \frac{x/z}{[(x/z)^2 + 1]^2}$$

**Werte $\Delta\sigma_z/(q/z)$ (MODUL)**

| x/z | $\Delta\sigma_z/(q/z)$ | x/z | $\Delta\sigma_z/(q/z)$ |
|---|---|---|---|
| 0.00 | 0.000 | 0.70 | 0.201 |
| 0.10 | 0.062 | 0.80 | 0.189 |
| 0.20 | 0.118 | 0.90 | 0.175 |
| 0.30 | 0.161 | 1.00 | 0.159 |
| 0.40 | 0.189 | 1.25 | 0.121 |
| 0.50 | 0.204 | 1.50 | 0.090 |
| 0.60 | 0.207 | 2.00 | 0.051 |

# $\Delta\sigma_z/(q/z)$ über x/z

THEORIE




Δσz/(q/z) in Abhängigkeit von x/z unter einer horizontalen Linienlast (durchgezogene Linie) und, gestrichelt, unter einer vertikalen Linienlast gleicher Intensität. Die horizontale Last wirkt in Richtung +x.

# Komponenten und Superposition

THEORIE

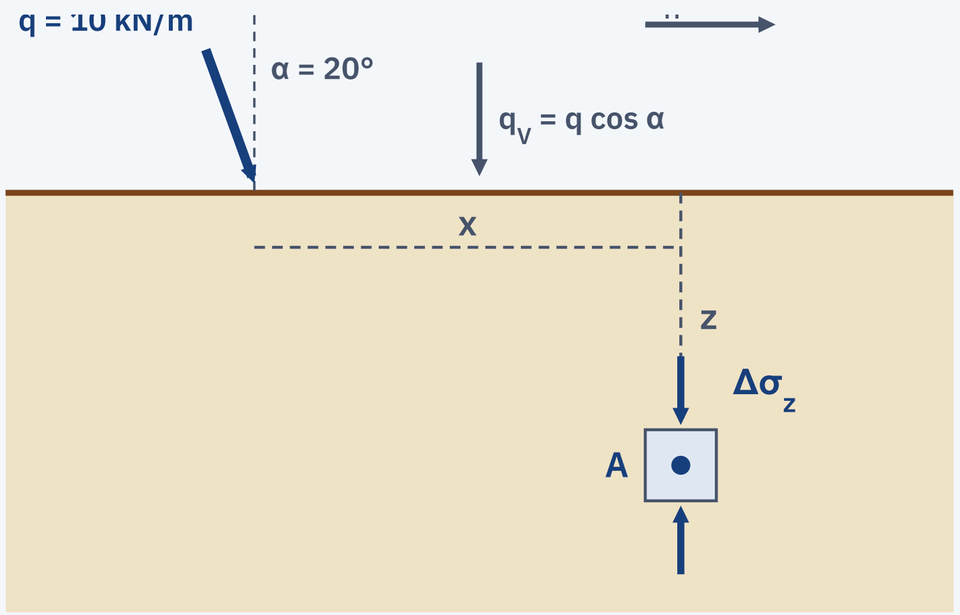
Eine geneigte Linienlast ist die Summe der Komponenten einer unter dem Winkel α gegen die Vertikale geneigten Linienlast q, und da der Boden elastisch ist, werden die Spannungen der Komponenten addiert.

α = 90° ergibt eine rein horizontale Last, α = 0 eine vertikale Last.

Zusätzliche Linienlasten, jede durch ihre eigene Größe, Neigung und Lage definiert, werden einzeln über Linienlast hinzufügen eingegeben (höchstens acht; zwei dürfen nicht an derselben Stelle liegen).

$$q_V = q\cos\alpha, \qquad q_H = q\sin\alpha$$

$$\Delta\sigma_z = \frac{2q_V\,z^3}{\pi(x^2+z^2)^2} + \frac{2q_H}{\pi}\,\frac{x\,z^2}{(x^2+z^2)^2}$$



# Aufgabe

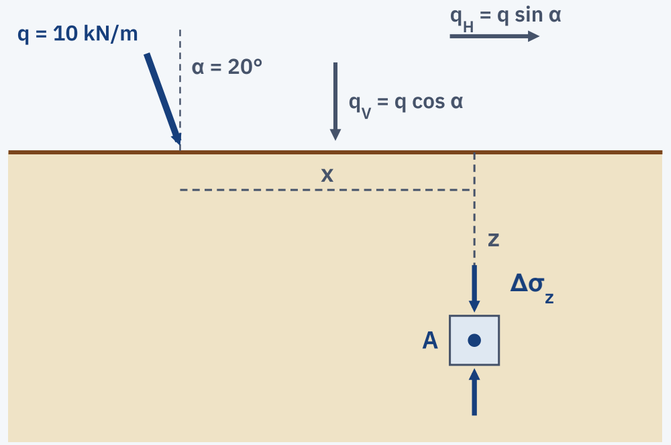
BEISPIEL

## Gegeben

| | |
|---|---|
| Last | **Linienlast $q = 10$ kN/m, um $\alpha = 20°$ gegen die Vertikale geneigt (horizontale Komponente in Richtung $+x$), $x_L = 0$** |
| Punkt A | $x = 5$ m, $z = 4$ m |
| Baugrund | **homogener, elastischer Halbraum; ebener Formänderungszustand** |

## GESUCHT

**$q_V$**, **$q_H$**; der **$\Delta\sigma_z$**-Wert jeder Komponente und die gesamte **$\Delta\sigma_z$**.



# Lösung (1/2)

LÖSUNG

**1** Komponenten der geneigten Last (α = 20°)

$$q_V = q\cos\alpha = 10\cos 20^\circ = \mathbf{9.397}\ \mathrm{kN/m}$$

$$q_H = q\sin\alpha = 10\sin 20^\circ = \mathbf{3.420}\ \mathrm{kN/m}$$

**2** Spannung aus der vertikalen Komponente (x = 5, z = 4)

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2q_V z^3}{\pi\left(x^2+z^2\right)^2} = \frac{2(9.397)(4^3)}{\pi(5^2+4^2)^2} = \frac{1{,}202.8}{\pi\,(1{,}681)} = \mathbf{0.22776}\ \mathrm{kPa}$$

Die vertikale Komponente allein ergibt **0.22776 kPa**; der Beitrag der horizontalen Komponente folgt auf der nächsten Seite.

# Lösung (2/2)

LÖSUNG

**3** Spannung der Horizontalkomponente (x = 5 m: die von der Last gedrückte Seite, Vorzeichen positiv)

$$\Delta\sigma_{z(H)} = \frac{2q_H}{\pi}\,\frac{xz^2}{(x^2+z^2)^2} = \frac{2(3.420)(5)(4^2)}{\pi(5^2+4^2)^2} = \frac{547.23}{\pi\,(1{,}681)} = \mathbf{0.10362}\ \text{kPa}$$

**4** Superposition

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(V)} + \Delta\sigma_{z(H)} = 0.22776 + 0.10362 = \mathbf{0.33138}\ \text{kPa}$$

**$\Delta\sigma_z$ = 0.33138 kPa** (vertikal 0.22776 + horizontal 0.10362). Nachweis: Für x/z = 1.25 gilt $\Delta\sigma_{z(V)}/(q_V/z)$ = 0.0970, $\Delta\sigma_{z(H)}/(q_H/z)$ = 0.1212; die Produkte sind 0.22776 und 0.10362 kPa. Das Modul liefert denselben Wert.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

# Aufgabe

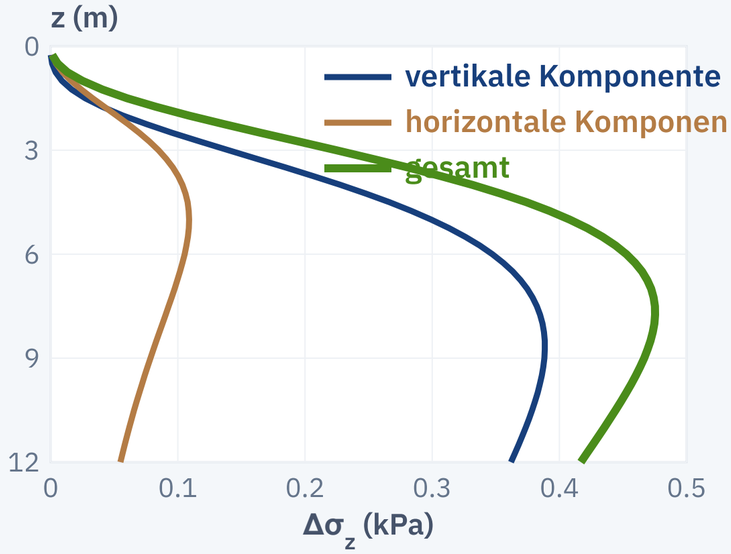
BEISPIEL

## Gegeben

| | |
|---|---|
| Last | **Last in Beispiel 1:** $q = 10$ **kN/m,** $\alpha = 20°$**,** $x_L = 0$ |
| Punkte | $x_A = 5$ **m;** $z = 1.2$**;** $2.4$**; ...;** $12$ **m (Profilschichtzeilen des Moduls)** |

## GESUCHT

Für jede Tiefe $\Delta\sigma_{z(V)}$, $\Delta\sigma_{z(H)}$ und die Summe; ausführliche Lösung für z = 5 m; die Tiefen, in denen die Komponenten am größten sind.



# Lösung (1/2)

LÖSUNG

**1** Vertikale Komponente (x = 5, z = 5: $x^2 + z^2 = 50$)

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2(9.397)(5^3)}{\pi(50)^2} = \frac{2{,}349.2}{7{,}854.0} = \mathbf{0.29911}\ \text{kPa}$$

**2** Horizontale Komponente

$$\Delta\sigma_{z(H)} = \frac{2(3.420)(5)(5^2)}{\pi(50)^2} = \frac{855.05}{7{,}854.0} = \mathbf{0.10887}\ \text{kPa}$$

**3** Gesamt

$$\Delta\sigma_z = 0.29911 + 0.10887 = \mathbf{0.40798}\ \text{kPa}$$

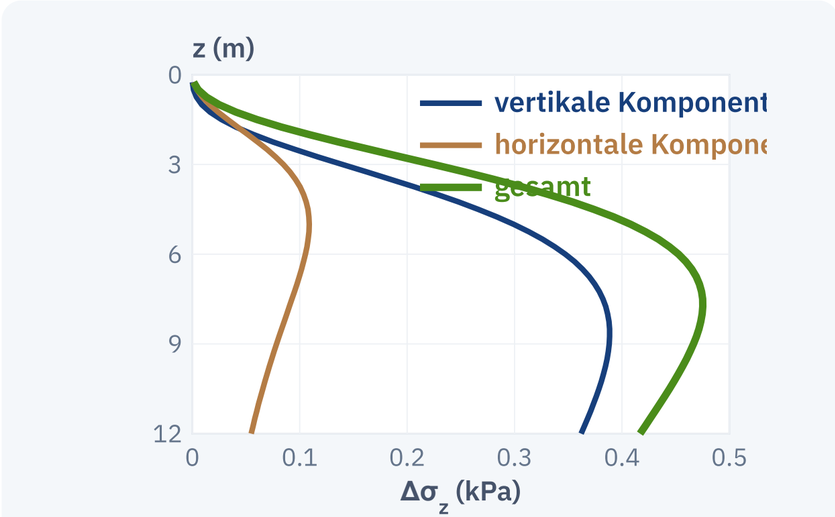
Bei z = 5 m ist $\Delta\sigma_z$ = 0.40798 kPa; dieser Wert ist größer als der Wert bei z = 4 m (0.33138 kPa). Die Tabelle befindet sich auf der nächsten Seite.

# Lösung (2/2)

LÖSUNG

| z (m) | $\Delta\sigma_{z(V)}$ (kPa) | $\Delta\sigma_{z(H)}$ (kPa) | Gesamt $\Delta\sigma_z$ (kPa) |
|---|---|---|---|
| 1.2 | 0.01479 | 0.02243 | **0.03721** |
| 2.4 | 0.08740 | 0.06628 | **0.15368** |
| 3.6 | 0.19370 | 0.09792 | **0.29161** |
| 4.8 | 0.28667 | 0.10869 | **0.39536** |
| 6.0 | 0.34726 | 0.10533 | **0.45259** |
| 7.2 | 0.37817 | 0.09559 | **0.47376** |
| 8.4 | 0.38829 | 0.08412 | **0.47241** |
| 9.6 | 0.38559 | 0.07309 | **0.45868** |
| 10.8 | 0.37563 | 0.06330 | **0.43893** |
| 12.0 | 0.36194 | 0.05489 | **0.41683** |

Die Spannung aus der horizontalen Komponente ist in der Tiefe z = x = 5 m am größten ($q_H/(2\pi x)$ = 0.10887 kPa) und nimmt danach ab; die vertikale Komponente ist bei z = $\sqrt{3}\cdot$x = 8.66 m am größten (0.3886 kPa). Die Gesamtspannung beträgt höchstens 0.4753 kPa bei z ≈ 7.7 m.




Lösung in GeoTerva prüfen ↗

# Aufgabe

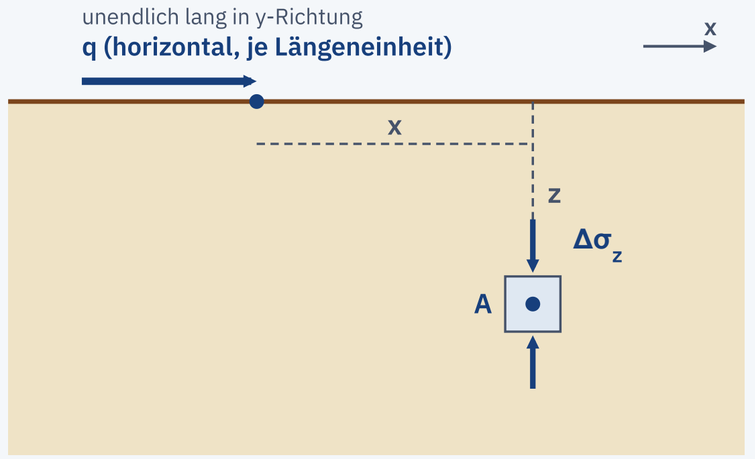
BEISPIEL

## Gegeben

| | |
|---|---|
| Last | **horizontale Linienlast $q = 20$ kN/m ($\alpha = 90°$), in Richtung $+x$, $x_L = 0$** |
| Punkte | $z = 3$ **m;** $x = -6; -3; -1.73; 0; 1.73; 3;$ $6$ **m** $(x/z = -2 \ldots 2)$ |

## GESUCHT

Für jeden Punkt **x/z**, $\Delta\sigma_z/(q/z)$ und $\Delta\sigma_z$; Vergleich mit einer vertikalen Last gleicher Intensität; der Größtwert.



# Lösung (1/2)

LÖSUNG

**1** x = 3 m (x/z = 1): von der Last weggedrückte Seite

$$\Delta\sigma_z/(q/z) = \frac{2}{\pi}\cdot\frac{1}{(1^2+1)^2} = \frac{1}{2\pi} = 0.15915$$

$$\Delta\sigma_z = 0.15915\,(20/3) = \mathbf{1.0610}\ \mathrm{kPa} \qquad (x = -3\ \mathrm{m}:\ -\mathbf{1.0610}\ \mathrm{kPa})$$

**2** Größtwert: x/z = 1/√3 = 0.5774 (x = 1.732 m)

$$\Delta\sigma_z/(q/z) = \frac{2}{\pi}\cdot\frac{0.5774}{(1/3+1)^2} = 0.20675$$

$$\Delta\sigma_z = 0.20675\,(20/3) = \mathbf{1.3783}\ \mathrm{kPa}$$

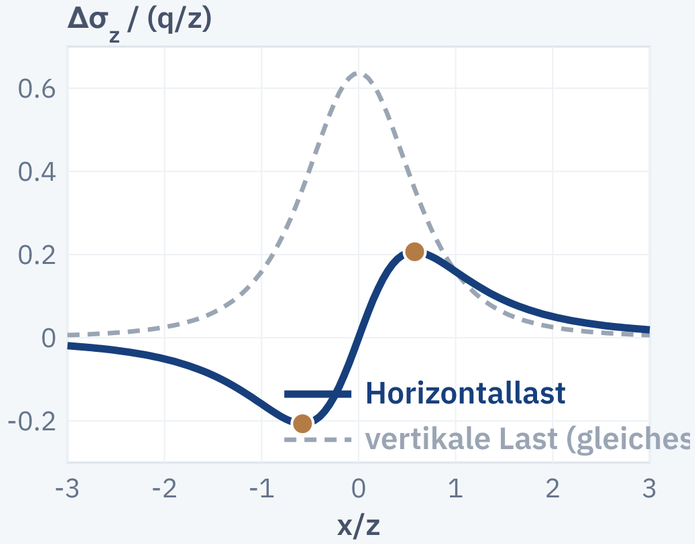
Unter einer Horizontallast (x = 0) ist die Spannung **null**; auf der belasteten Seite nimmt sie zu, auf der gegenüberliegenden Seite um denselben Betrag ab. Der Größtwert beträgt 0.2067·(q/z) = 1.378 kPa bei x/z = 0.5774.

# Lösung (2/2)

LÖSUNG

| x (m) | x/z | $\Delta\sigma_z/(q/z)$ | Horizontallast $\Delta\sigma_z$ (kPa) | Vertikallast, gleiche q (kPa) |
|---|---|---|---|---|
| −6.00 | −2.000 | −0.0509 | **−0.3395** | 0.1698 |
| −3.00 | −1.000 | −0.1592 | **−1.0610** | 1.0610 |
| −1.73 | −0.577 | −0.2067 | **−1.3783** | 2.3873 |
| 0.00 | 0.000 | 0.0000 | **0.0000** | 4.2441 |
| 1.73 | 0.577 | 0.2067 | **1.3783** | 2.3873 |
| 3.00 | 1.000 | 0.1592 | **1.0610** | 1.0610 |
| 6.00 | 2.000 | 0.0509 | **0.3395** | 0.1698 |

Für die Horizontallast ist die Kurve bezüglich x = 0 **antimetrisch** (ungerade Funktion); die Kurve der Vertikallast ist dagegen gerade und unter der Last am größten (4.244 kPa). Bei x/z = 1 liefern beide Lasten den gleichen Betrag (1.061 kPa).




Lösung in GeoTerva prüfen ↗

# Aufgabe

BEISPIEL

## Gegeben

| | |
|---|---|
| Last | $q = 10$ **kN/m, um** $\alpha$ **von der Vertikalen geneigt;** $x_L = 0$ |
| Punkt A | $x = 5$ **m,** $z = 4$ **m** |
| Böschungen | $\alpha = 0; 10; 20; 30; 45; 60; 90°$ |

## GESUCHT

Für jede Geländeneigung $q_V$, $q_H$, $\Delta\sigma_{z(V)}$, $\Delta\sigma_{z(H)}$ und die Summe; Einzelheiten für α = 45°; die Geländeneigung, bei der die Summe am größten ist.

# Lösung (1/2)

LÖSUNG

**1** Beiwerte für Einheitslast (x = 5, z = 4): jede Komponente wird mit ihrem eigenen Beiwert multipliziert

$$a = \frac{2z^3}{\pi(x^2+z^2)^2} = \frac{128}{5{,}281.0} = 0.024238$$

$$b = \frac{2xz^2}{\pi(x^2+z^2)^2} = \frac{160}{5{,}281.0} = 0.030297 \qquad \Delta\sigma_z = q\,(a\cos\alpha + b\sin\alpha)$$

**2** α = 45° ($q_V = q_H$ = 7,071 kN/m)

$$\Delta\sigma_z = 10\,(0.024238)(0.7071) + 10\,(0.030297)(0.7071)$$
$$= 0.17139 + 0.21423 = \mathbf{0.38562}\ \mathrm{kPa}$$

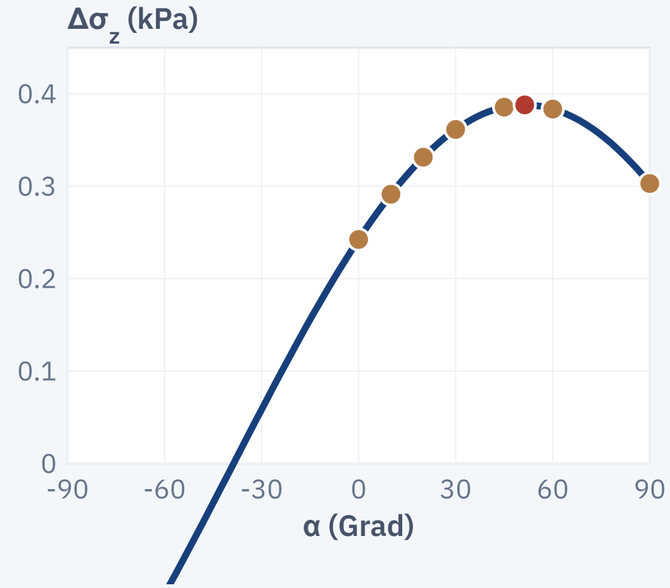
Nachweis: Aus x/z = 1.25 folgt b/a = 1.25; die Summe ist unter der Bedingung tan α = b/a = x/z am größten: für α = 51.34° ergibt sich $\Delta\sigma_z = q\sqrt{(a^2 + b^2)}$ = **0.38799 kPa**.

# Lösung (2/2)

LÖSUNG

| α (°) | $q_V$ (kN/m) | $q_H$ (kN/m) | $\Delta\sigma_{z(V)}$ (kPa) | $\Delta\sigma_{z(H)}$ (kPa) | Gesamt $\Delta\sigma_z$ (kPa) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 10.000 | 0.000 | 0.24238 | 0.00000 | **0.24238** |
| 10 | 9.848 | 1.736 | 0.23870 | 0.05261 | **0.29131** |
| 20 | 9.397 | 3.420 | 0.22776 | 0.10362 | **0.33138** |
| 30 | 8.660 | 5.000 | 0.20991 | 0.15149 | **0.36139** |
| 45 | 7.071 | 7.071 | 0.17139 | 0.21423 | **0.38562** |
| 60 | 5.000 | 8.660 | 0.12119 | 0.26238 | **0.38357** |
| 90 | 0.000 | 10.000 | 0.00000 | 0.30297 | **0.30297** |

Eine vertikale Last (α = 0) ergibt 0.24238 kPa; je mehr sich die Last zum Punkt A hin neigt, desto stärker wirkt die Horizontalkomponente, und die Summe nimmt zu: Der größte Wert beträgt 0.3880 kPa bei α ≈ 51.3°. Bei vollständig horizontaler Last (α = 90°) fällt er auf 0.3030 kPa ab. Ein negatives α richtet die Horizontalkomponente von A weg und verringert die Summe (Abbildung).




Lösung in GeoTerva prüfen ↗

# Aufgabe

BEISPIEL

## Gegeben

| | |
|---|---|
| Last | **Die Last aus Beispiel 1: $q = 10$ kN/m, $\alpha = 20°$ (drückt in Richtung $+x$), $x_L = 0$** |
| Punkte | $z = 4$ **m;** $x = -10; -5; 0; 5; 10$ **m** |

## GESUCHT

Für jeden Punkt $\Delta\sigma_{z(V)}$, $\Delta\sigma_{z(H)}$ und die Summe; Einzelheiten für x = −5 m und x = 0; die Unsymmetrie der Kurve.

# Lösung (1/2)

LÖSUNG

**1** x = −5 m (die vom Last nicht gedrückte Seite): vertikale Komponente gleich, horizontale Komponente negativ

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2(9.397)(4^3)}{\pi((-5)^2+4^2)^2} = 0.22776\ \text{kPa}$$

$$\Delta\sigma_{z(H)} = \frac{2(3.420)(-5)(4^2)}{\pi(41)^2} = -\mathbf{0.10362}\ \text{kPa}$$

$$\Delta\sigma_z = 0.22776 + (-0.10362) = \mathbf{0.12414}\ \text{kPa}$$

**2** x = 0 (unmittelbar unter der Last): die horizontale Komponente ist null

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2q_V}{\pi z} = \frac{2(9.397)}{\pi(4)} = \mathbf{1.49557}\ \text{kPa}, \qquad \Delta\sigma_{z(H)} = 0$$

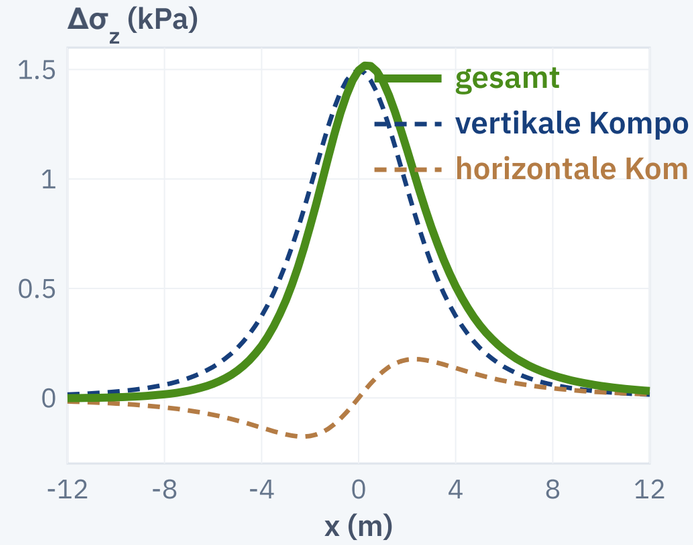
Bei x = +5 m 0.3314 kPa, bei x = −5 m 0.1241 kPa: bei gleichem Abstand ist die Spannung auf der Seite, zu der die Last drückt, **2.67-mal** größer. Die vertikale Komponente ist eine gerade Funktion, die horizontale eine ungerade.

# Lösung (2/2)

LÖSUNG

| x (m) | $\Delta\sigma_{z(V)}$ (kPa) | $\Delta\sigma_{z(H)}$ (kPa) | Gesamt $\Delta\sigma_z$ (kPa) |
|---|---|---|---|
| −10 | 0.02845 | −0.02589 | **0.00256** |
| −5 | 0.22776 | −0.10362 | **0.12414** |
| 0 | 1.49557 | 0.00000 | **1.49557** |
| 5 | 0.22776 | 0.10362 | **0.33138** |
| 10 | 0.02845 | 0.02589 | **0.05434** |

Die Gesamtkurve ist unter der Last (x = 0) am höchsten (1.4956 kPa) und klingt auf der Seite, zu der die Last drückt, langsamer ab: bei x = 10 m 0.05434, bei x = −10 m nur 0.00256 kPa.




Lösung in GeoTerva prüfen ↗

# Aufgabe

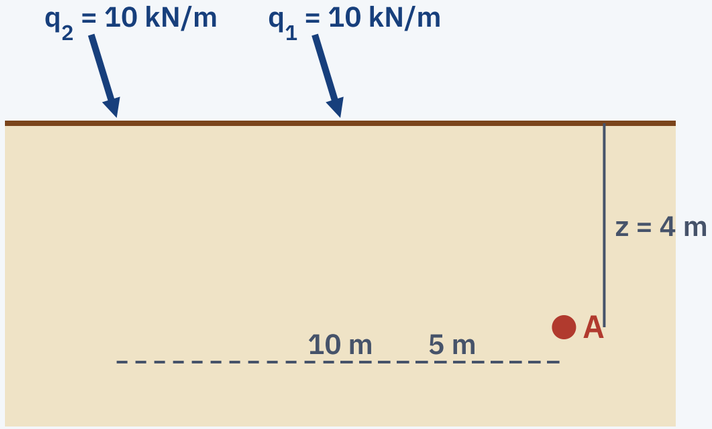
BEISPIEL

## Gegeben

| | |
|---|---|
| Lasten | **Last 1:** $q_1 = 10$ **kN/m,** $\alpha_1 = 20°$**,** $x_{L1} = 0$**; Last 2:** $q_2 = 10$ **kN/m,** $\alpha_2 = 20°$**,** $x_{L2} = -5$ **m** |
| Punkt A | $x_A = 5$ **m;** $z = 4$ **m (dann** $2; 6; 8; 12$ **m)** |

## GESUCHT

Beitrag der Last 2 (vertikal und horizontal), Summe der beiden Lasten; Tiefenprofil.



# Lösung (1/2)

LÖSUNG

**1** Last 2 (x = 5 – (–5) = 10 m): dieselben Komponenten $q_V$ = 9,397, $q_H$ = 3,420 kN/m

$$\Delta\sigma_{z(V)} = \frac{2(9.397)(4^3)}{\pi(10^2+4^2)^2} = \frac{1{,}202.8}{42{,}273.3} = 0.02845$$

$$\Delta\sigma_{z(H)} = \frac{2(3.420)(10)(4^2)}{\pi(10^2+4^2)^2} = \frac{1{,}094.5}{42{,}273.3} = 0.02589 \qquad \Delta\sigma_{z(2)} = \mathbf{0.05434}\ \mathrm{kPa}$$

**2** Gesamt: der Beitrag der Last 1 ist der Wert aus Beispiel 1

$$\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(1)} + \Delta\sigma_{z(2)} = 0.33138 + 0.05434 = \mathbf{0.38573}\ \mathrm{kPa}$$

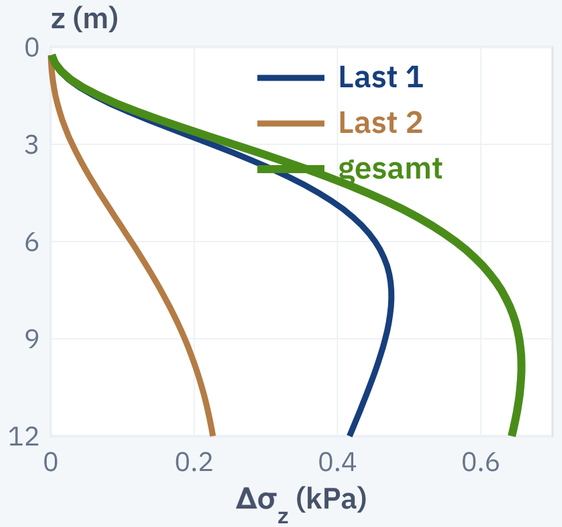
**$\Delta\sigma_z$ = 0.38573 kPa** (vertikale Komponenten 0.25621, horizontale Komponenten 0.12951). Last 2 trägt nur 0.05434 kPa bei: Sie ist 10 m entfernt.

# Lösung (2/2)

LÖSUNG

| z (m) | Last 1: V + H | Last 2: V + H | Gesamt $\Delta\sigma_z$ (kPa) |
|---|---|---|---|
| 2 | 0.0569 + 0.0518 = 0.1087 | 0.0044 + 0.0081 = 0.0125 | **0.1212** |
| 4 | 0.2278 + 0.1036 = 0.3314 | 0.0285 + 0.0259 = 0.0543 | **0.3857** |
| 6 | 0.3473 + 0.1053 = 0.4526 | 0.0699 + 0.0424 = 0.1122 | **0.5648** |
| 8 | 0.3867 + 0.0880 = 0.4746 | 0.1139 + 0.0518 = 0.1657 | **0.6403** |
| 12 | 0.3619 + 0.0549 = 0.4168 | 0.1736 + 0.0527 = 0.2263 | **0.6431** |

In jeder Tiefe werden die vertikalen und horizontalen Komponenten der Lasten getrennt summiert, und das Ergebnis ist die Summe der beiden Lasten. Die Gesamtsumme beträgt 0.6403 kPa bei z = 8 m und 0.6431 kPa bei z = 12 m; der Anteil der Last 2 nimmt mit der Tiefe zu.




Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Zusammenfassung

# Die wichtigsten Punkte

**Horizontallast**: $\Delta\sigma_z = (2q/\pi) \cdot z^2/(x^2 + z^2)^2$; sie wächst auf der gedrückten Seite ($x > 0$), nimmt auf der gegenüberliegenden Seite ab und ist darunter null; der Größtwert beträgt $0.2067 \cdot (q/z)$ für $x/z = 1/\sqrt{3}$

**Schräglast**: $q_V = q \cos\alpha$ und $q_H = q \sin\alpha$; $\Delta\sigma_z = \Delta\sigma_{z(V)} + \Delta\sigma_{z(H)}$ (auch im elastischen Boden werden die Spannungen der Komponenten superponiert)

**Beispiel ($q = 10$ kN/m, $\alpha = 20°$; A: $x = 5$, $z = 4$ m)**: $q_V = 9.397$, $q_H = 3.420$ kN/m; $\Delta\sigma_{z(V)} = 0.22776$ + $\Delta\sigma_{z(H)} = 0.10362$ = **0.33138 kPa**

**Neigung und Tiefe**: Die Gesamtgröße ist am größten, wenn $\tan\alpha = x/z$ gilt ($\alpha = 51.3°$); die horizontale Komponente erreicht ihr Maximum bei $z = x$, die vertikale Komponente bei $z = \sqrt{3} \cdot x$

**Zwei Seiten**: 0.3314 bei $x = +5$ m und 0.1241 kPa bei $x = -5$ m; bei **zwei Lasten** werden die Komponenten getrennt summiert (im Beispiel 0.3857 kPa)

# Literatur

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

**HINWEIS**

Alle Zahlenbeispiele wurden mit der moduleigenen Berechnungsengine erzeugt; das Modul liefert dieselben Werte. Das Modul öffnet mit $q = 10$ kN/m, einer Last mit $\alpha = 20°$ und dem Punkt A ($x = 5$ m, $z = 4$ m).

GeoTerva

Geotechnische Berechnungen online

# Von der Theorie zur Praxis

Geben Sie Ihre eigenen horizontalen oder geneigten Linienlasten, deren Neigungen, Lagen und Ihren Punkt in GeoTerva ein; das Modul liefert den Beitrag der vertikalen und horizontalen Komponenten, den Gesamtwert $\Delta\sigma_z$, das Tiefenprofil, die Isolinien, 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