Geotechnische Vorlesung · Erddruck

Passiver Erddruck unter Erdbeben

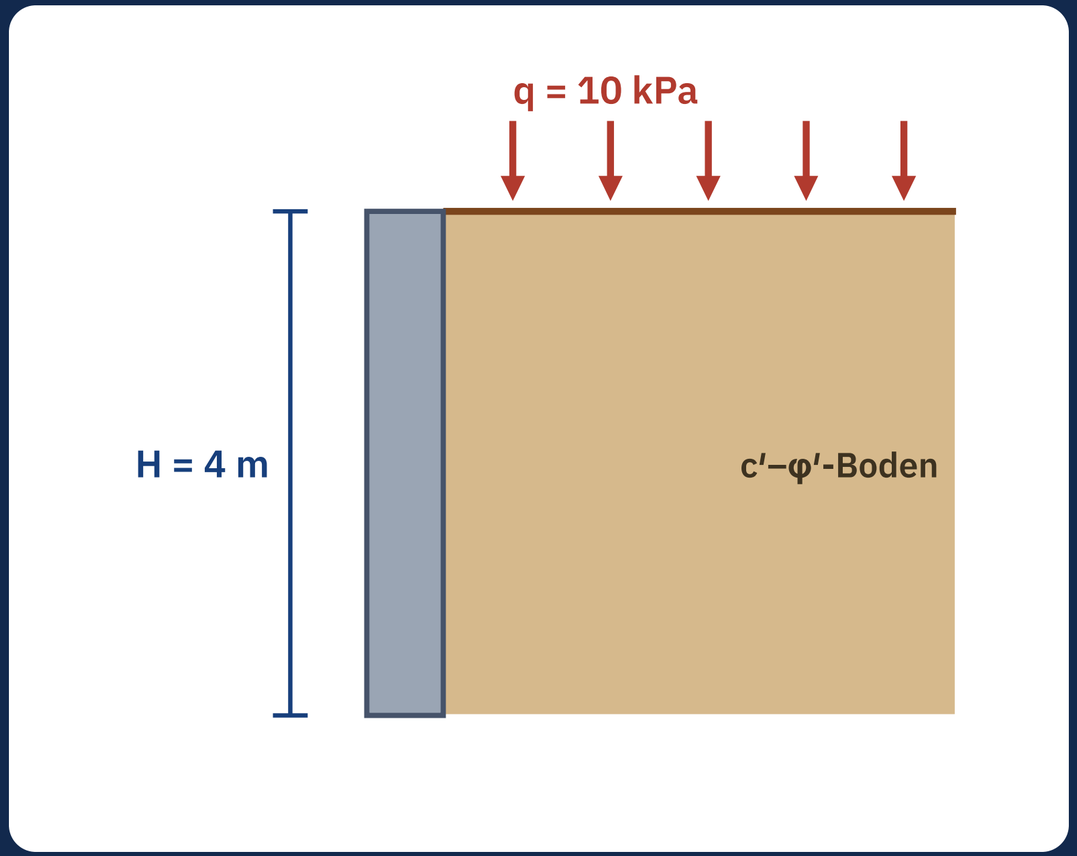
Vorlesung: pseudostatische Berechnung des passiven Erddrucks des Bodens vor einer Wand im Erdbebenfall (Subba Rao und Choudhury 2005): die Beiwerte $K_{p\gamma(e)}$, $K_{pq(e)}$, $K_{pc'(e)}$, k_v, Schichtung, Wasser und Auflast; ein Rechenbeispiel zu jedem Thema.

$$P_{pe} = [\tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma(e)} + qHK_{pq(e)} + 2c'HK_{pc'(e)}]/\cos\delta'$$

Subba Rao – Choudhury

k_h und k_v

Schicht · Wasser · Auflast



Einführung

Was lernen wir in dieser Vorlesung?

Warum der passive Widerstand beim **Erdbeben abnimmt**: Die Trägheitskraft des Gleitkeils trägt dazu bei, den Boden von der Wand wegzubewegen

Die passive Kraft mit **drei Beiwerten** zu berechnen: $P_{pe} = [½\gamma H^2 K_{p\gamma(e)} + qHK_{pq(e)} + 2c'HK_{pc'(e)}]/\cos\delta'$

Die **Tafeln** der Beiwerte ($\varphi' = 10–40°$, $\delta'/\varphi' = 0.5$ und 1, $k_v = 0$ und k_h) und wie die Zwischenwerte abgelesen werden

Die Lage der Kraft (H/3 und H/2) und ihre Richtung (δ' von der Normalen) zu bestimmen

die Wirkung von k_v, des **Wassers** (gespannt oder frei), der Schichten und der Auflast

Die **k_h-Grenze**, an der die Diagramme enden, und warum das Modul dort abbricht

VORLESUNGSABLAUF

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

1 · **Theorie**: Wie lautet die Regel, warum ist sie so?

2 · **Aufgabe**: Gegeben und Gesucht

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

Die Kräfte beziehen sich auf die Länge der Wand (kN/m); senkrechte Wand, waagerechte Geländeoberfläche; k_v positiv nach oben, $0 \le k_v \le k_h$.

Subba Rao und Choudhury (2005)

THEORIE

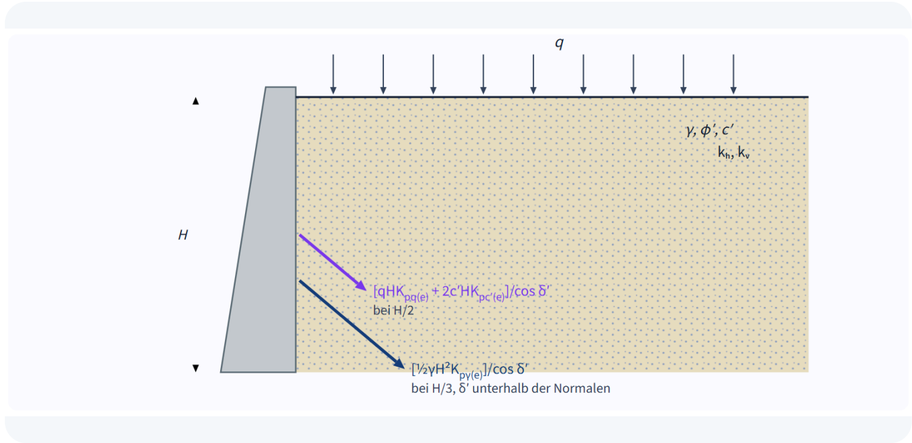
Im Erdbebenfall hilft die Trägheit des Keils vor der Wand, den Boden von der Wand wegzudrücken; **der passive Widerstand nimmt ab**. Subba Rao und Choudhury erweiterten das Grenzgleichgewicht des passiven Erddrucks mit gekrümmter Gleitfläche (Spirale + gerader Abschnitt) um die Kräfte $k_h W$ und $k_v W$ (senkrechte Wand, horizontale c′–φ′-Hinterfüllung, Auflast q, Wandreibungswinkel δ′, Adhäsion c'_a):

$$P_{pe} = \left[\tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma(e)} + qHK_{pq(e)} + 2c'HK_{pc'(e)}\right]\frac{1}{\cos\delta'}$$

Die drei Beiwerte sind Komponenten **senkrecht** zur Wand; sie werden daher durch cos δ′ geteilt. Der γ-Anteil wirkt bei H/3, der q- und c′-Anteil bei H/2:

$$\bar{z} = \frac{P_\gamma\,(H/3) + (P_q + P_{c'})\,(H/2)}{P_{pe}}$$

> Die Kraft ist um δ′ **nach unten** gegenüber der Normalen der Wandfläche geneigt.



Nomogramme und Ablesen von Zwischenwerten

THEORIE

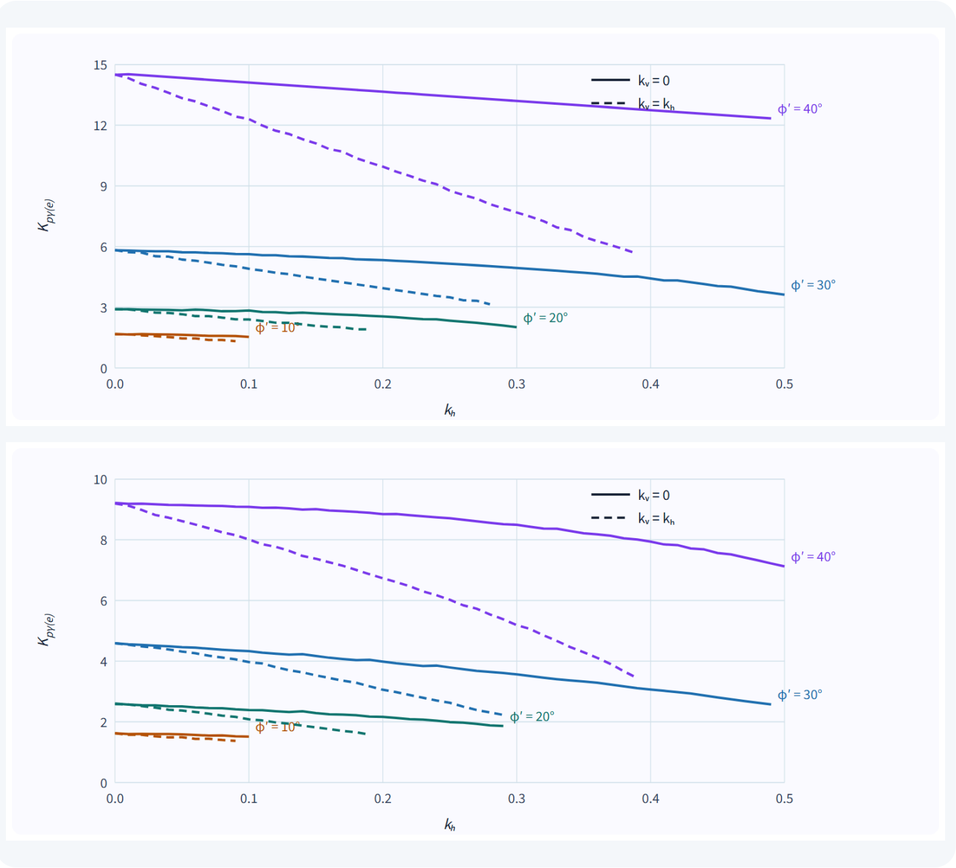
$K_{p\gamma(e)}$ und $K_{pq(e)}$ werden als **Bemessungstafeln** für $\varphi' = 10°, 20°, 30°, 40°$; $\delta'/\varphi' = 0.5$ und 1; $k_v = 0$ und $k_v = k_h$ angegeben (die Modultafeln sind in Schritten von $\Delta k_h = 0.01$ tabelliert). Zwischenwerte: linear in k_h und δ'/φ', **log-linear** in φ'; keine Extrapolation außerhalb des Bereichs (φ' 10–40°, δ' $\varphi'/2$ – φ').

Mit steigendem k_h nehmen die Beiwerte ab; bei **$k_v = k_h$ deutlich schneller**. Jede Kurve endet bei dem k_h, bei dem der passive Widerstand erschöpft ist; dort hält das Modul an.

Bei $k_h = 0$ liefern die Tafeln den statischen passiven Erddruckbeiwert: für $\varphi' = \delta' = 40°$ ist $K_{p\gamma(e)} = 14.49$; im Log-Spiral-Modul ist $K_p \cos \delta' = 14.45$.

$0 \le k_v \le k_h$ (nach oben, ungünstig für den passiven Erddruck): lineare Interpolation zwischen den Kurven $k_v = 0$ und $k_v = k_h$; mit dem Coulomb-Beiwert geprüft, Fehler < 0.4 % (im unteren Bereich).

$K_{pc'(e)}$ in der Tabelle: für $\varphi' = 40°$, $\delta'/\varphi' = 1$ ergibt sich 5.95 bei $c'_a = 0$ und 5.97 mit Haftung.



Aufgabe

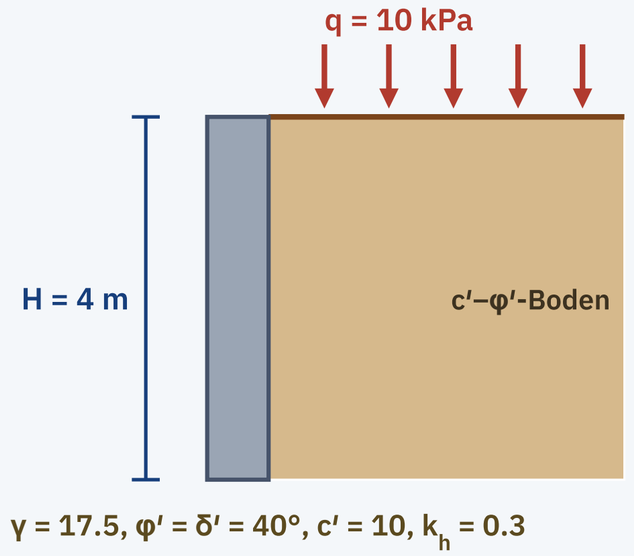
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 4$ **m, lotrecht; horizontale Geländeoberfläche;** $q = 10$ **kPa**
Baugrund	$\gamma = 17.5\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 40°,\ c' = 10$ **kPa;** $\delta' = 40°, c'_a = 0$
Erdbeben	$k_h = 0.3, k_v = 0$

GESUCHT

Abakenbeiwerte, $\mathbf{P_{pe}}$, deren Richtung und $\bar{\mathbf{z}}$. Das Modul wird mit dieser Wand geöffnet.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Beiwerte ($\delta'/\varphi' = 1$, $k_h = 0.3$, $k_v = 0$; das Modul liest aus den Diagrammen ab)

$$K_{p\gamma(e)} = \mathbf{13.20} \qquad K_{pq(e)} = \mathbf{11.00} \qquad K_{pc'(e)} = \mathbf{5.95}$$

$$(\text{statisch},\ k_h = 0:\ K_{p\gamma} = 14.49,\ K_{pq} = 11.11)$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

2 Normalkomponenten und Resultierende

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}(17.5)(4)^2(13.20) = 1{,}848\ \text{kN/m}$$

$$P_q = 10(4)(11.00) = 440 \qquad P_{c'} = 2(10)(4)(5.95) = 476$$

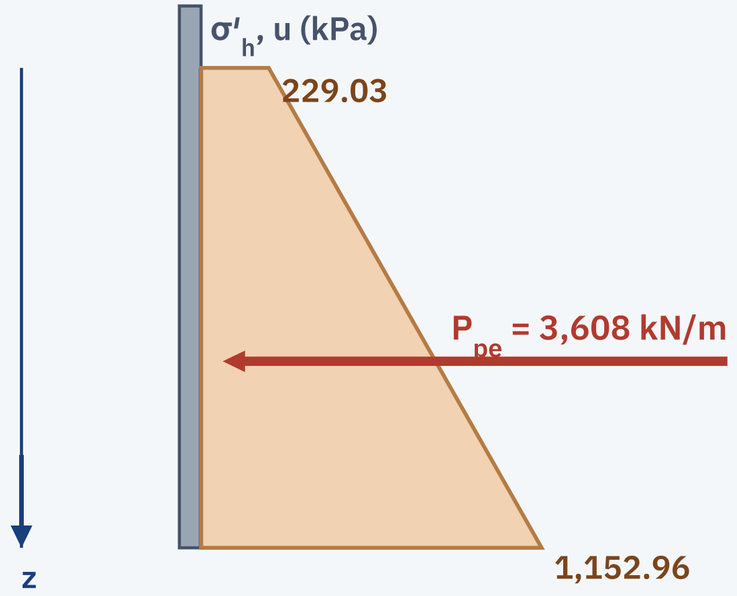
$$P_{pe} = \frac{1{,}848 + 440 + 476}{\cos 40^\circ} = \frac{2{,}764}{0.766} = \mathbf{3{,}608}\ \text{kN/m}$$

3 Lage und Komponenten

$$\bar{z} = \frac{2{,}412.2(4/3) + 1{,}195.9(2)}{3{,}608} = \mathbf{1.554}\ \text{m}$$

$$P_h = P_{pe}\cos 40^\circ = 2{,}764 \qquad P_v = P_{pe}\sin 40^\circ = 2{,}319\ \text{kN/m}$$

P_{pe} ≈ **3,608 kN/m**, um 40° gegenüber der Normalen nach unten geneigt, **1.554 m** über der Sohle; der Anteil aus dem Bodengewicht beträgt 2,412, der Anteil aus q und c′ 1,196 kN/m (bei Division durch die Normale).



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

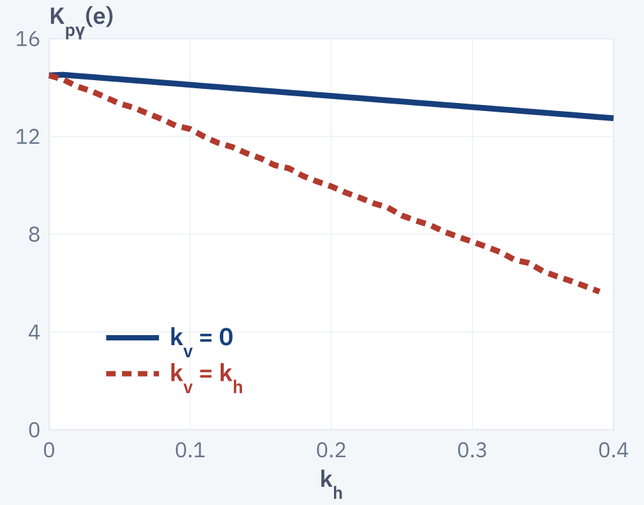
BEISPIEL

Gegeben

Baugrund	$\varphi' = \delta' = 40°$ **($\delta'/\varphi' = 1$); trockener Sand, nichtbindig**
Variable	$k_h = 0,\ 0.1,\ 0.2,\ 0.3,\ 0.35$ **und** $k_v = 0$ **oder** $k_v = k_h$

GESUCHT

$K_{p\gamma(e)}$-Werte; Abminderungsverhältnisse bei $k_h = 0.3$.



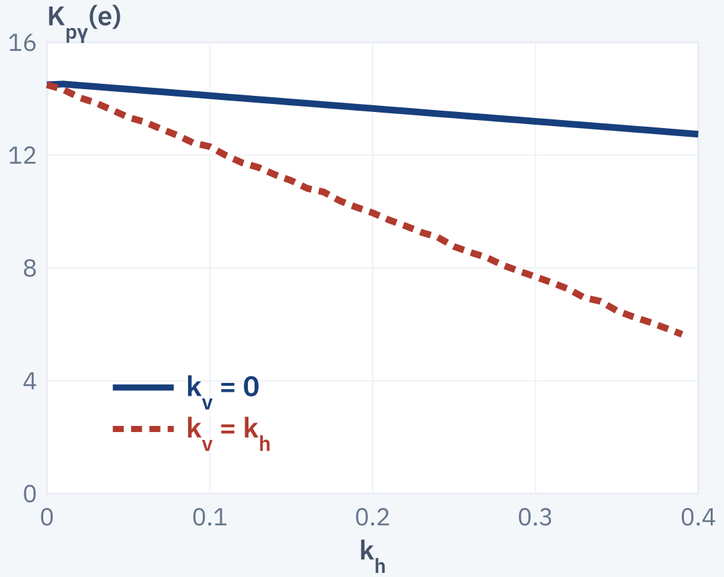
Lösung

LÖSUNG

1 Diagrammablesungen ($\delta'/\varphi' = 1$)

k_h	$K_{p\gamma(e)}$ ($k_v = 0$)	$K_{p\gamma(e)}$ ($k_v = k_h$)
0.00	14.49	14.49
0.10	14.11	12.30
0.20	13.65	9.95
0.30	13.20	7.69
0.35	12.97	6.48

k_h = 0 bis 0.3: $K_{p\gamma(e)}$ 14.49 → 13.20 (9 % Abnahme, k_v = 0); bei $k_v = k_h$ sinkt der Wert auf 7.69 (47 %). Im statischen Fall stimmt 14.49 mit $K_p \cos \delta'$ = 14.45 im Log-Spiral-Modul überein.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

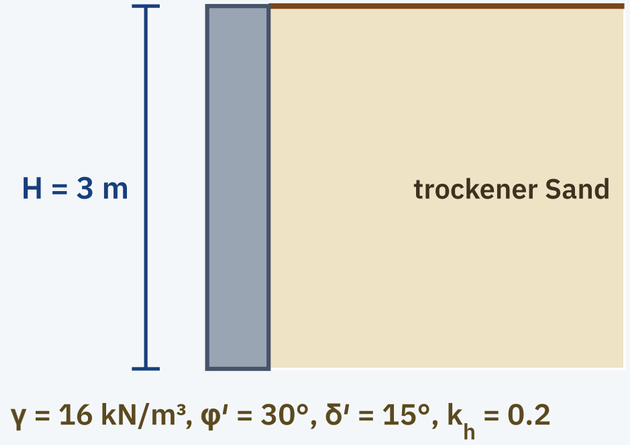
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 3$ m, vertikal; horizontale Geländeoberfläche; keine Auflast
Baugrund	trockener Sand: $\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$; $\delta' = 15°$ ($\delta'/\varphi' = 0.5$)
Erdbeben	$k_h = 0.2$, $k_v = 0$

GESUCHT

P_{pe}, $\bar{z}$, Komponenten; Vergleich mit der statischen passiven Kraft.



Lösung

LÖSUNG

1 Beiwerte (δ′/φ′ = 0.5)

$$k_h = 0: \; K_{p\gamma} = 4.592 \qquad k_h = 0.2: \; K_{p\gamma(e)} = \mathbf{3.987}$$

2 Kraft (c′ = q = 0)

$$P_{pe} = \frac{\frac{1}{2}(16)(3)^2(3.987)}{\cos 15^\circ} = \frac{287.1}{0.9659} = \mathbf{297.2}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\text{Statik: } P_p = 342.3\ \mathrm{kN/m}\ (K_p = 4.592)$$

3 Lage und Komponenten

$$\bar{z} = \frac{H}{3} = \mathbf{1.00}\ \mathrm{m} \qquad P_h = P_{pe}\cos 15^\circ = 287.1 \qquad P_v = P_{pe}\sin 15^\circ = 76.9\ \mathrm{kN/m}$$

P_{pe} = **297.2 kN/m**; der statische Wert betrug 342.3 kN/m: k_h = 0.2 **verringerte** den Widerstand um 13%.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

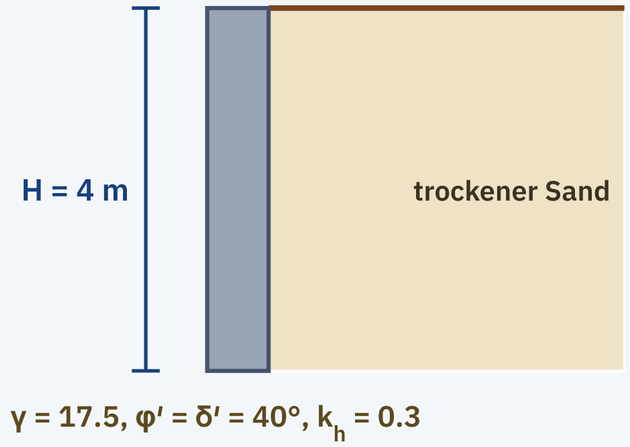
BEISPIEL

Gegeben

Wand und Boden	$H = 4$ **m; trockener Sand:** $\gamma = 17.5\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = \delta' = 40^\circ$
Erdbeben	$k_h = 0.3$**;** $k_v = 0,\ 0.15\ (= 0.5k_h),\ 0.30\ (= k_h)$

GESUCHT

Für jedes k_v $\mathbf{K_{p\gamma(e)}}$ und $\mathbf{P_{pe}}$; wie wird der Zwischenwert ermittelt?



Lösung

LÖSUNG

1 Interpolation: $K(k_v) = K(0) + [K(k_h) - K(0)]\cdot k_v/k_h$; $P_{pe} = ½(17.5)(16)K_{pγ(e)}/\cos 40° = 182.7\ K_{pγ(e)}$

k_v	k_v/k_h	$K_{pγ(e)}$	$K_{pq(e)}$	P_{pe} (kN/m)
0.00	0.0	13.20	11.00	2,412
0.15	0.5	10.44	9.29	1,909
0.30	1.0	7.69	7.58	1,405

Bei $k_v = 0.5k_h$ beträgt die Kraft 2,412 → 1,909 kN/m (21 %), bei $k_v = k_h$ 1,405 kN/m (42 %). Da die nach oben gerichtete vertikale Beschleunigung das Gewicht verringert, ist sie **für den passiven Erddruck ungünstig**; $k_v = 0.5k_h$ ist eine verbreitete Wahl.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Schichterweiterung des Moduls

THEORIE

Die Tafeln gelten für einen homogenen Boden, eine senkrechte Wand und eine horizontale Geländeoberfläche; die Geometrie bleibt dabei unverändert. Das Modul unterteilt den Boden in **horizontal begrenzte Schichten**; jede Schicht erhält ihren eigenen Beiwert, wobei das Gewicht der darüberliegenden Schichten (und q) als Auflast über $K_{pq(e)}$, das Eigengewicht über $K_{p\gamma(e)}$ und die Kohäsion über $K_{pc'(e)}$ wirken:

$$\sigma_n = K_{pq(e)}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma(e)}\left(\sigma'_v - \sigma'_{v,top}\right) + 2c' K_{pc'(e)} \qquad \text{entlang der Wandfläche: } \sigma_n \tan\delta'$$

Unterhalb des Wasserspiegels gilt $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$; u steht senkrecht auf die Wand. Beim Erdbeben bewegt sich das Porenwasser mit dem Boden (**gebunden**) oder nicht (**frei**); die Diagramme werden bei einem größeren k_h abgelesen:

$$k_{h,w} = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - \gamma_w} k_h \ \text{(gestützt)} \qquad k_{h,w} = \frac{\gamma_d}{\gamma_{sat} - \gamma_w} k_h \ \text{(frei)}$$

Im freien Wasser wird der hydrodynamische Druck nach Westergaard $(7/8)k_h\gamma_w\sqrt{(d_w z')}$ **vom Widerstand abgezogen** (ungünstige Phase für den passiven Erddruck). Unter Wasser wird k_v mit dem Verhältnis $k_v/k_{h,w}$ abgelesen.

Dieses geschichtete Format ist die ingenieurmäßige Erweiterung des Moduls; das Modul endet dort, wo die Kurve des Diagramms endet.

AUFBAU

Schicht: K_{pq} (Auflast darüber) + $K_{p\gamma}$ (Eigengewicht) + $K_{pc'}$ (Kohäsion); Wasser: γ' und u; Erdbeben: $k_{h,w}$.

Aufgabe

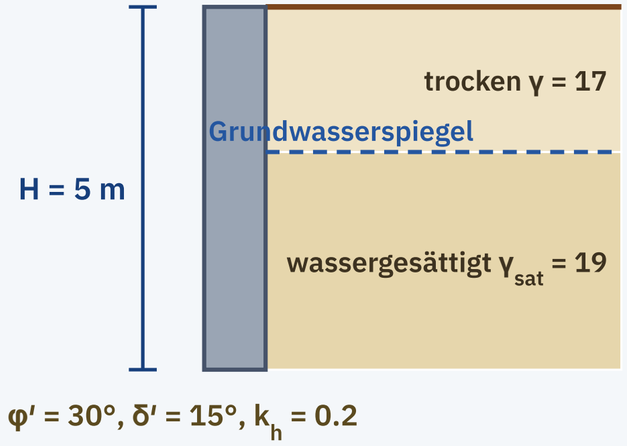
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 5$ **m, vertikal; horizontale Geländeoberfläche; keine Auflast**
Baugrund	$\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3}$ **(trocken),** $\gamma_{sat} = 19$**,** $\gamma_d = 17\ \mathrm{kN/m^3}$**;** $\varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Erdbeben und Wasser	$k_h = 0.2$**,** $k_v = 0$**; Grundwasserspiegel 2 m (d_w = 3 m)**

GESUCHT

P_{pe} und $\bar{z}$ für die beiden Fälle begrenzten und freien Wassers; Vergleich mit den trockenen und statischen Werten.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 k_h unter Wasser abgelesen

$$\text{gestützt: } k_{h,w} = \frac{19}{19 - 9.81}(0.2) = \mathbf{0.413} \qquad \text{frei: } k_{h,w} = \frac{17}{19 - 9.81}(0.2) = \mathbf{0.370}$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

2 Beiwerte und Kräfte ($\sigma_n = K_{p\gamma(e)}\sigma'_v$, keine Last am Oberrand der Schicht; unter Wasser $u = 9.81(z - 2)$; $P_{wd} = (7/12)(0.2)(9.81)(3)^2 = 10.30$ kN/m wird vom Widerstand abgezogen)

	k_h abgelesen	$K_{p\gamma(e)}$	Boden N_s	Wasser	Hydrodynamisch	P (kN/m)	$\bar{z}$ (m)
über Wasser (0–2 m)	0.200	3.987					
Eingeschlossen unter Wasser	0.413	3.008	566.8	44.1	–	629.5	1.84
Ungestützt unter Wasser	0.370	3.230	598.6	44.1	10.3	652.5	1.83

Bei gespanntem Wasser P = **629.5 kN/m**, bei freiem Wasser **652.5 kN/m**; im Boden ohne Grundwasser 877.1, bei statischem ($k_h = 0$) und mit Wasser 885.9 kN/m. Da das unter Wasser abgelesene $k_{h,w}$ groß ist, fällt $K_{p\gamma(e)}$ von 3.99 auf 3.01 und der Widerstand **nimmt ab**.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

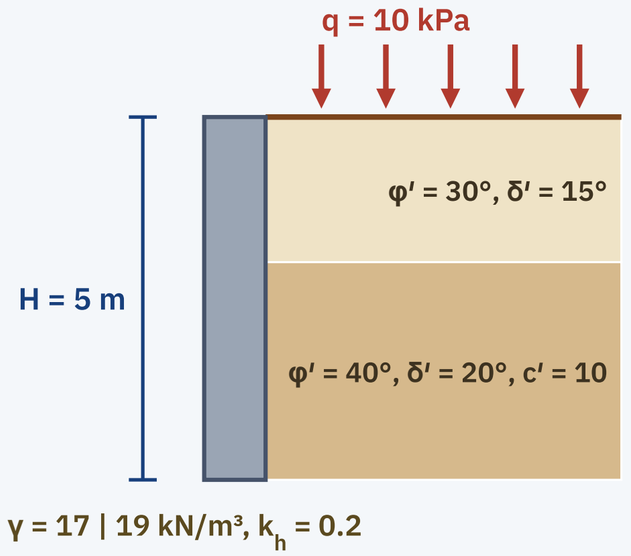
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 5$ **m, vertikal; horizontale Geländeoberfläche;** $q = 10$ **kPa; kein Wasser**
Schicht 1 (0–2 m)	$\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°,\ c' = 0$
Schicht 2 (2–5 m)	$\gamma = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 40°,\ \delta' = 20°,\ c' = 10$ **kPa**
Erdbeben	$k_h = 0.2,\ k_v = 0$

GESUCHT

Der Drucksprung an der Schichtgrenze, die Schichtkräfte, **P**, β und **z̄**.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Beiwerte ($k_h = 0.2$)

$$\text{Schicht 1: } K_{p\gamma} = 3.987,\ K_{pq} = 4.096$$

$$\text{Schicht 2: } K_{p\gamma} = 8.844,\ K_{pq} = 8.449,\ K_{pc'} = 4.33$$

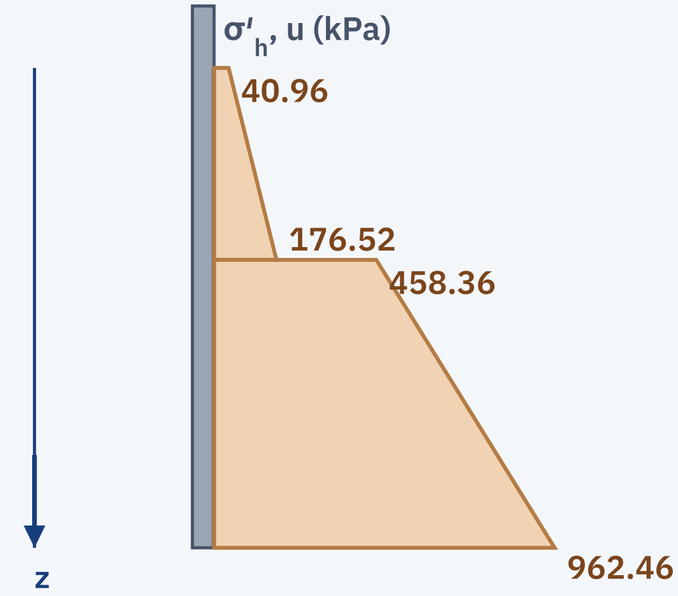
2 Normalspannung σ_n (σ'_v = 10; 44; 101 kPa: oben, Grenze, Sohle)

$$\sigma_n(0) = K_{pq} q = 4.096(10) = 40.96$$

$$\sigma_n(2^-) = 40.96 + 3.987(34) = 176.52$$

$$\sigma_n(2^+) = 8.449(44) + 2(10)(4.33) = \mathbf{458.36}$$

$$\sigma_n(5) = 458.36 + 8.844(57) = \mathbf{962.46}\ \text{kPa}$$



Lösung (2/2)

LÖSUNG

3 Komponenten normal und entlang der Stirnfläche (mit δ′ der Schicht; Hebelarme von der Sohle)

$$N_1 = 217.5 \ (\text{Ausleger } 3.79 \text{ m})$$

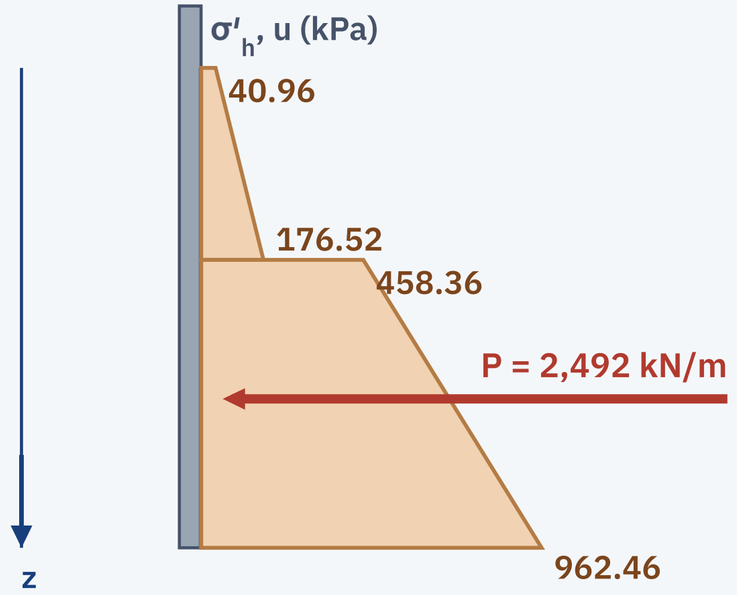
$$N_2 = 2{,}131.2 \ (\text{Ausleger } 1.32 \text{ m})$$

$$N = 2{,}348.7 \qquad T = 834.0 \text{ kN/m}$$

4 Resultierende und Lage

$$P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{2{,}492.4} \text{ kN/m} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 19.55°$$

$$\bar{z} = \frac{217.5(3.79) + 2{,}131.2(1.32)}{2{,}348.7} = \mathbf{1.55} \text{ m}$$



P = **2,492 kN/m**, β = 19.5° (δ′ zwischen 15° und 20°), 1.55 m über der Sohle. An der Schichtgrenze **springt** σ_n von 176.5 auf 458.4 kPa (φ′, δ′ und c′ ändern sich).

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Wo steht das Modul?

THEORIE

Jede Tafelkurve endet bei dem k_h-Wert, bei dem der passive Widerstand vollständig mobilisiert ist; das Modul endet dort (keine Extrapolation). Die Grenze hängt von φ', δ'/φ' und k_v ab:

φ'	$k_v = 0$, $\delta'/\varphi' = 0.5$	$k_v = 0$, $\delta'/\varphi' = 1$	$k_v = k_h$, $\delta'/\varphi' = 0.5$	$k_v = k_h$, $\delta'/\varphi' = 1$
10°	0.108	0.098	0.085	0.079
20°	0.292	0.279	0.185	0.198
30°	0.494	0.463	0.288	0.282
40°	0.500	0.463	0.393	0.397

Die $k_v = k_h$-Kurven enden deutlich früher ($\varphi' = 30°$, $\delta' = \varphi'/2$: 0.29).

Unter Wasser gemessen überschreitet $k_{h,w} = k_h \gamma_{sat}/\gamma' \approx 2k_h$ diese Grenze leicht.

Aufgabe

BEISPIEL

Gegeben

Baugrund	$\varphi' = 30°, \delta' = 15°; \gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3}$; **Grundwasser an der Wandkrone (z_w = 0)**
Erdbeben	$k_h = 0.3, k_v = 0$; **Porenwasser gesperrt**

GESUCHT

$k_{h,w}$ unter Wasser abzulesen; Grenze des Diagramms; was leistet das Modul?

Lösung

LÖSUNG

1 Abgelesenes k_h und Diagrammgrenze

$$k_{h,w} = \frac{19}{19 - 9.81}(0.3) = \mathbf{0.620}$$

$$k_{h,lim}(30^\circ,\ \delta'/\varphi' = 0.5,\ k_v = 0) = 0.494$$

$k_{h,w}$ = 0.620 > 0.494: Bei diesem Wert existiert das Nomogramm nicht (Bereich, in dem der passive Widerstand erschöpft ist), **das Modul bricht die Berechnung ab**. Lösung: den Grundwasserspiegel absenken oder k_h verringern; für k_h = 0.2 liegt $k_{h,w}$ = 0.41 innerhalb der Grenze (Beispiel 5).

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Umfang der Lösung

THEORIE

Pseudostatisch: konstante k_h, k_v; keine Zeitabhängigkeit und keine bleibende Verschiebung.

Geometrie: vertikale Wand, horizontale Geländeoberfläche; Nomogramme für $\varphi' = 10–40°$, $\delta'/\varphi' = 0.5–1$; k_v nur nach oben gerichtet (für den passiven Erddruck ungünstig), $0 \leq k_v \leq k_h$.

Kohäsion: Tabelle $K_{pc'(e)}$; die Adhäsion ist entweder null oder $c'_a/c' = \tan \delta'/\tan \varphi'$.

Schicht, Wasser und Auflast ist die ingenieurmäßige Erweiterung des Moduls (in der Literatur existiert keine geschlossene Lösung); das Wasser kann gesperrt oder frei sein, im freien Fall wird der Widerstand nach Westergaard abgezogen.

Statisch passiv: logarithmische Spirale und Coulomb; **aktiver Erdbebenfall**: Mononobe–Okabe-Module.

Zusammenfassung

Die wichtigsten Punkte

$P_{pe} = [½\gamma H^2 K_{p\gamma(e)} + qHK_{pq(e)} + 2c'HK_{pc'(e)}] / \cos \delta'$; der γ-Anteil bei H/3, der q- und c′-Anteil bei H/2; δ′ unterhalb der Flächennormalen

Die **Beiwerte** werden aus Tafeln abgelesen (φ′ 10–40°, δ′/φ′ 0.5–1, $k_v = 0$ und k_h): k_h ist linear in δ′/φ′ und logarithmisch linear in φ′; mit steigendem k_h nehmen die Beiwerte ab

k_v (nach oben) wirkt für den passiven Erddruck ungünstig: bei $k_v = k_h$, $\varphi' = \delta' = 40°$ und $k_h = 0.3$ nimmt $K_{p\gamma(e)}$ von 13.2 auf 7.7 ab

In den Schichten $\sigma_n = K_{pq}\sigma'_{v,oben} + K_{p\gamma}(\sigma'_v - \sigma'_{v,oben}) + 2c'K_{pc'}$; Sprung an der Schichtgrenze; entlang der Wandfläche $\sigma_n \tan \delta'$

Wasser: γ′ und u; die Tafel wird mit $k_{h,w} = k_h\gamma_{sat}/\gamma'$ (gebunden) oder γ_d/γ' (frei) abgelesen; im freien Fall wird der hydrodynamische Druck vom Widerstand abgezogen

Grenze: Endet die Diagrammkurve (großes $k_{h,w}$, $k_v = k_h$), bricht das Modul ab

Literatur

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

Subba Rao, K.S. and Choudhury, D. (2005). Seismic passive earth pressures in soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 131(1), 131–135.

Westergaard, H.M. (1933). Water pressures on dams during earthquakes. Transactions ASCE, 98, 418–433.

HINWEIS

Alle Zahlenbeispiele sind dem Berechnungscode des Moduls selbst entnommen; das Modul liefert dieselben Werte. Das Modul öffnet mit der Wand aus Beispiel 1 (H = 4 m, $\varphi' = \delta' = 40°$, $k_h = 0.3$).

GeoTerva

Geotechnische Berechnungen online

Von der Theorie zur Praxis

Geben Sie die Schichten, die Kohäsion, die Auflast, den Grundwasserspiegel und die Erdbebenbeiwerte Ihrer eigenen Wand in GeoTerva ein; das Modul liefert P_{pe}, seine Richtung und seine Wirkungshöhe gemeinsam.

Modul öffnen → **Theorieseite →**

Auf dem Smartphone öffnen
Die Beispielmodule erfordern keine Registrierung.