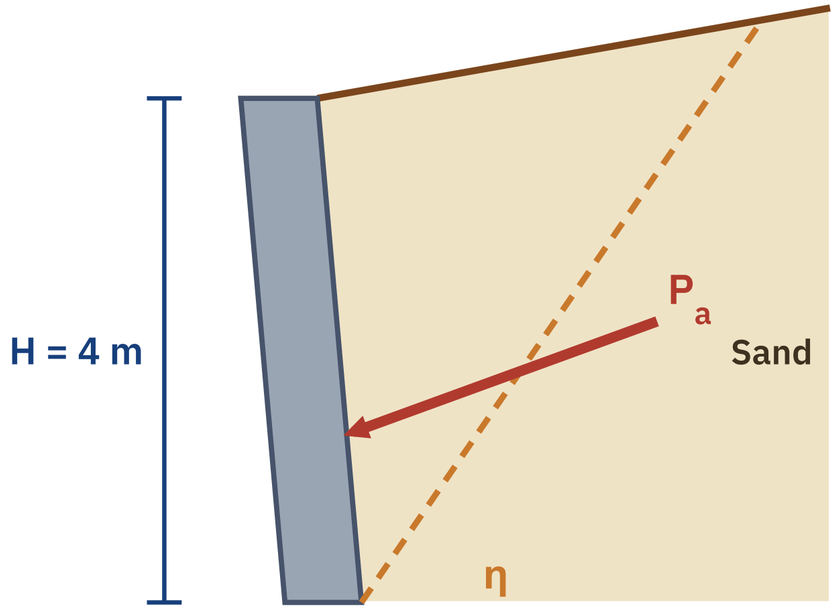
Geotechnische Vorlesung · Erddruck

Erddruck nach Coulomb

Vorlesung: aktiver und passiver Erddruck nach Coulomb für einen ebenen Gleitkeil hinter der Wand, Wandreibung, geneigte Wandfläche und geneigte Hinterfüllung; Auflast, Grundwasser und geschichtete Hinterfüllung; zu jedem Thema ein Rechenbeispiel.

Probekeil · Wandreibung δ′ · Aktiv und passiv · Auflast · Wasser · Schicht · Bindige Schicht



Was lernen wir in dieser Vorlesung?

- Coulombs Idee des **Probekeils**: Gleichgewicht der drei Kräfte (W, F, P_a) und der maßgebende Keil
- Wie die Wandreibung (δ′), die Neigung der Wandfläche (θ) und die Geländeneigung der Hinterfüllung (α) die Beiwerte **K_a und K_p** verändern
- **Aktive** Kraft ist die **größte** der Keile, **passive** Kraft die **kleinste** der Keile
- Den Angriffspunkt der Kraft (H/3), ihre Richtung (δ′ gegenüber der Flächennormalen) und ihre horizontalen – vertikalen Komponenten zu bestimmen
- **Auflast** ($q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$), **Grundwasserspiegel** und geschichtete Hinterfüllung
- Wann die Coulomb-Lösung im passiven Fall **unsicher** ist

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 laufende Meter Wand (kN/m); Winkel in Grad; θ ist der Winkel der Wandfläche zur Vertikalen, α der Winkel der Hinterfüllung zur Horizontalen.

Coulombs ebener Gleitkeil

THEORIE

Coulomb (1776) betrachtet den Boden hinter der Wand als einen **starren Keil**, der auf einer durch den hinteren Sporn verlaufenden Ebene gleitet, und berücksichtigt im Gegensatz zu Rankine die **Reibung** zwischen Wand und Boden. In der nichtbindigen Hinterfüllung wirken auf den Probekeil drei Kräfte:

W: Gewicht des Keils

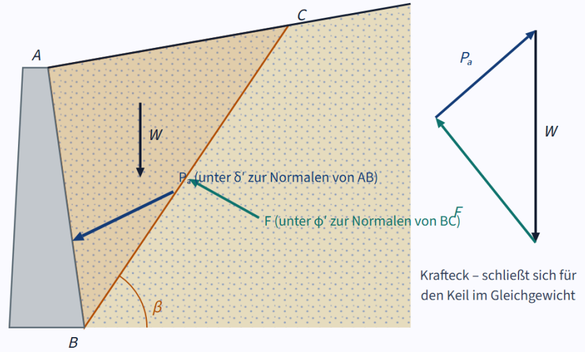
F: die Resultierende auf der Gleitfläche BC, um φ′ gegen die Flächennormale geneigt

P_a: Wandkraft, um δ′ gegen die Normale der Wandfläche geneigt

Bildet die Ebene den Winkel β mit der Horizontalen, so gilt im Krafteck der Sinussatz:

$$\frac{W}{\sin(90^\circ + \theta + \delta' - \beta + \varphi')} = \frac{P_a}{\sin(\beta - \varphi')}$$

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \, \frac{\cos(\theta-\beta)\cos(\theta-\alpha)\sin(\beta-\varphi')}{\cos^2\theta \, \sin(\beta-\alpha) \, \sin(90^\circ+\theta+\delta'-\beta+\varphi')}$$



Aufgabe

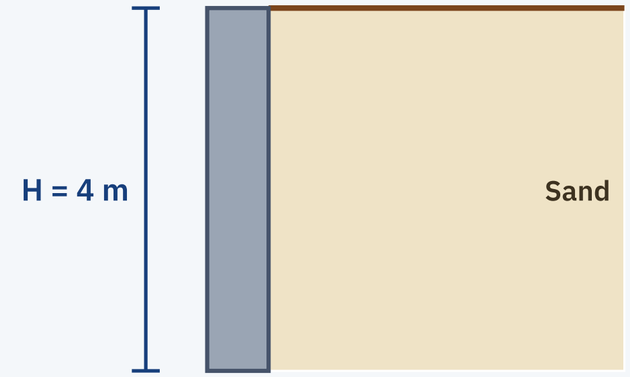
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 4$ **m, vertikal ($\theta = 0$);** **Hinterfüllungsoberfläche horizontal ($\alpha = 0$)**
Baugrund	**trockener Sand:** $\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 32°$**;** **Wandreibung** $\delta' = 16° = \varphi'/2$

GESUCHT

Für Probekreise β = 45°, 60° und 75°: **$P_a(\beta)$**; die **größte** Kraft und ihr Winkel β.



Lösung

LÖSUNG

1 Senkrechte Wand, waagerechte Hinterfüllung: θ = α = 0 ⇒ $P_a(\beta) = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \cdot \cos\beta \sin(\beta - \varphi') / [\sin\beta \cos(\beta - \varphi' - \delta')]$

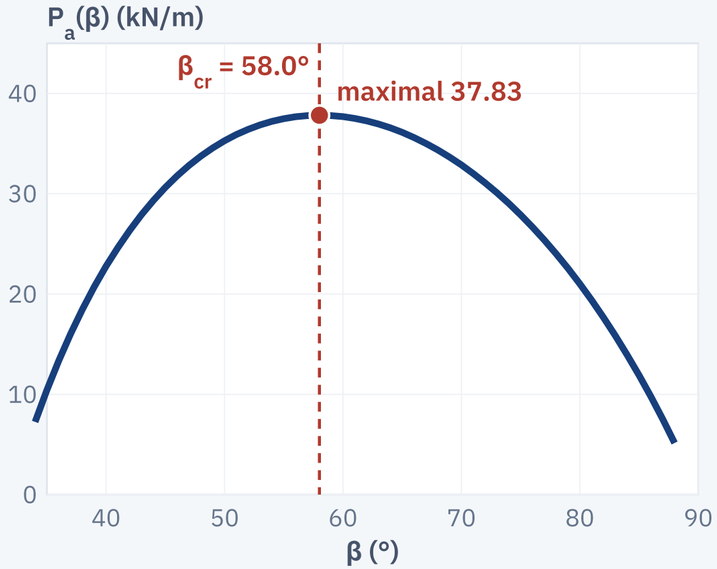
$$\beta = 45^\circ: \; P_a = \mathbf{30.64}\ \mathrm{kN/m} \qquad \beta = 60^\circ: \; P_a = \mathbf{37.69}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\beta = 75^\circ: \; P_a = \mathbf{27.89}\ \mathrm{kN/m}$$

2 Größter Probekeil ($dP_a/d\beta = 0$)

$$\beta_{cr} = \mathbf{58.0^\circ} \qquad P_{a,max} = \mathbf{37.83}\ \mathrm{kN/m}$$

Der größte der Probekelle, 37.83 kN/m (β = 58.0°), ist die aktive Kraft nach Coulomb; steilere oder flachere Keile erfordern eine kleinere Kraft. Die Wand muss nur den maßgebenden Keil zurückhalten können.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

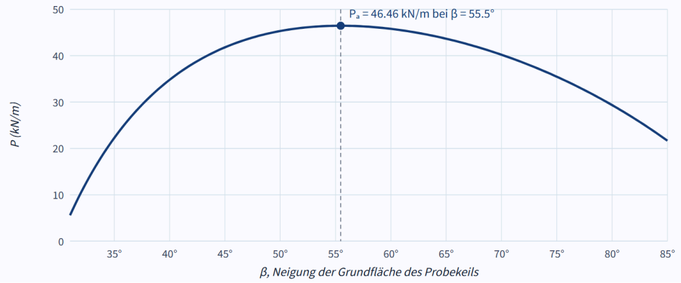
aktiver Erddruckbeiwert nach Coulomb K_a

THEORIE

Nur β war unbekannt. Der maßgebende Keil, den die Wand zurückhalten muss, ist das Maximum von $P_a(\beta)$ ($dP_a/d\beta = 0$); seine Lösung:

$$K_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' + \theta)\left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\delta' + \varphi')\sin(\varphi' - \alpha)}{\cos(\delta' + \theta)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°	δ′ = 25°
28°	0.3610	0.3448	0.3330	0.3251	0.3203	0.3186
32°	0.3073	0.2945	0.2852	0.2791	0.2755	0.2745
36°	0.2596	0.2497	0.2426	0.2379	0.2354	0.2350
40°	0.2174	0.2098	0.2045	0.2011	0.1994	0.1995



Die Kraft wirkt in **H/3** über der Sohle, um **δ′** gegen die Normale der Wandfläche geneigt; sie schließt mit der Horizontalen den Winkel θ + δ′ ein.

Rankine für α = θ = δ′ = 0. Die Wandreibung **verringert** die aktive Kraft.

Aufgabe

BEISPIEL

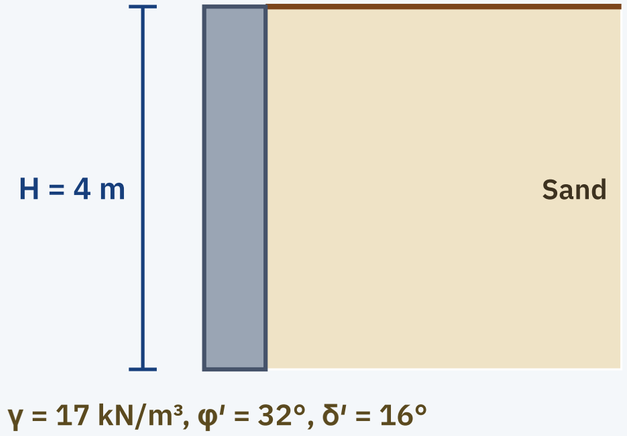
Gegeben

Wand und Boden

Die Wand aus Beispiel 1: $H = 4\ \mathrm{m}$, $\theta = \alpha = 0$; $\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 32°$, $\delta' = 16°$

GESUCHT

K_a, **P_a**, Wirkungshöhe, horizontale und vertikale Komponenten; Vergleich mit Rankine.



Lösung

LÖSUNG

1 Beiwert (θ = α = 0)

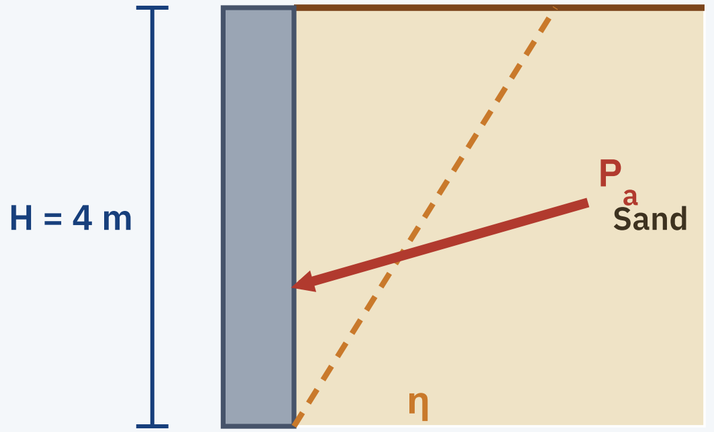
$$\sqrt{\frac{\sin 48^\circ \sin 32^\circ}{\cos 16^\circ}} = 0.6401$$

$$K_a = \frac{\cos^2 32^\circ}{\cos 16^\circ \,(1 + 0.6401)^2} = \frac{0.7192}{2.5856} = \mathbf{0.2782}$$

2 Kraft, Lage und Komponenten (δ′ = 16° gegen die Horizontale)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(0.2782)(17)(4)^2 = \mathbf{37.83}\ \mathrm{kN/m} \qquad \bar{z} = \tfrac{4}{3} = 1.33\ \mathrm{m}$$

$$P_h = P_a \cos 16^\circ = 36.36 \qquad P_v = P_a \sin 16^\circ = 10.43\ \mathrm{kN/m}$$



P_a = **37.83 kN/m**; derselbe Wert wie beim größten der Probekelle (Beispiel 1). Rankine (δ′ = 0, K_a = 0.3073) würde 41.79 kN/m ergeben: Die Wandreibung verringerte die Kraft um 9 %.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

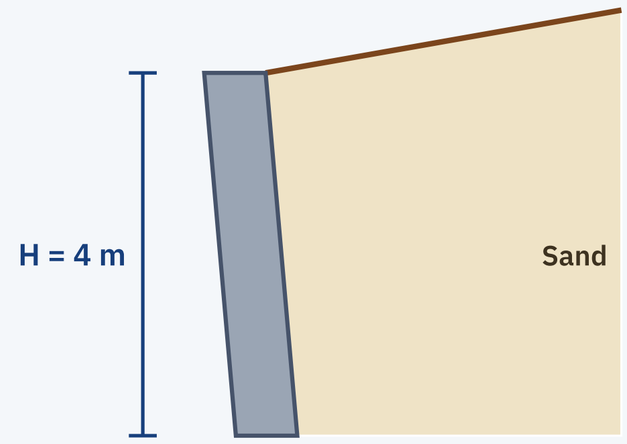
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 4$ **m; Wandfläche um** $\theta = 5°$ **aus der Vertikalen geneigt**
Auffüllung	**Geländeneigung** $\alpha = 10°$**;** $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°$
Wandreibung	$\delta' = 15°$ **(**$\delta'/\varphi' = \frac{1}{2}$**)**

GESUCHT

K_a, **P_a**, Richtung und Angriffspunkt; maßgebender Gleitkeil β. Das Modul wird mit dieser Wand geöffnet.



γ = 15 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15°

Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Zähler und Wurzelterm

$$\cos^2(30^\circ - 5^\circ) = 0.8214 \qquad \cos^2 5^\circ \cos(15^\circ + 5^\circ) = 0.9326$$

$$\sqrt{\frac{\sin 45^\circ \sin 20^\circ}{\cos 20^\circ \cos(-5^\circ)}} = \sqrt{0.2583} = 0.5083$$

2 Beiwert

$$K_a = \frac{0.8214}{0.9326\,(1 + 0.5083)^2} = \mathbf{0.3872}$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

3 Kraft und Lage

$$P_a = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_a = \tfrac{1}{2}(15)(4)^2(0.3872) = \mathbf{46.46}\ \mathrm{kN/m}$$

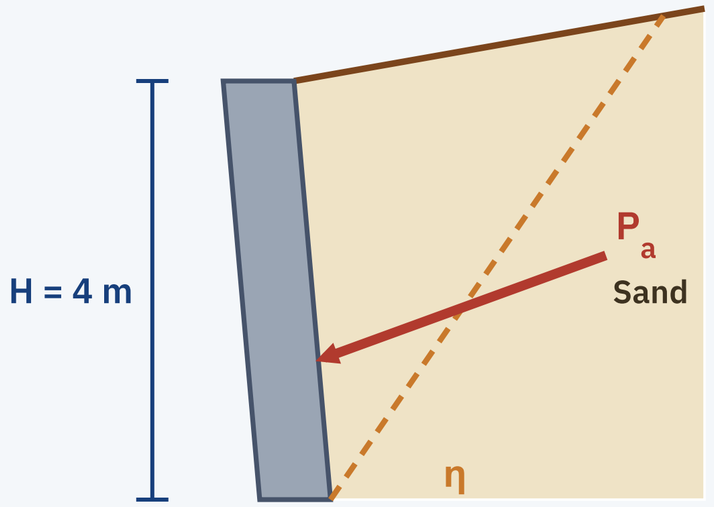
$$\bar{z} = \tfrac{H}{3} = \mathbf{1.33}\ \mathrm{m}$$

4 Richtung: δ′ = 15° von der Normalen, θ + δ′ = 20° zur Horizontalen

$$P_h = P_a \cos 20^\circ = 43.66\ \mathrm{kN/m}$$

$$P_v = P_a \sin 20^\circ = 15.89\ \mathrm{kN/m}$$

P_a = **46.46 kN/m**, 1.33 m über der Sohle. Der maßgebende Keil bildet mit der Horizontalen **β ≈ 55.5°** (Spitze der Probekeile).



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

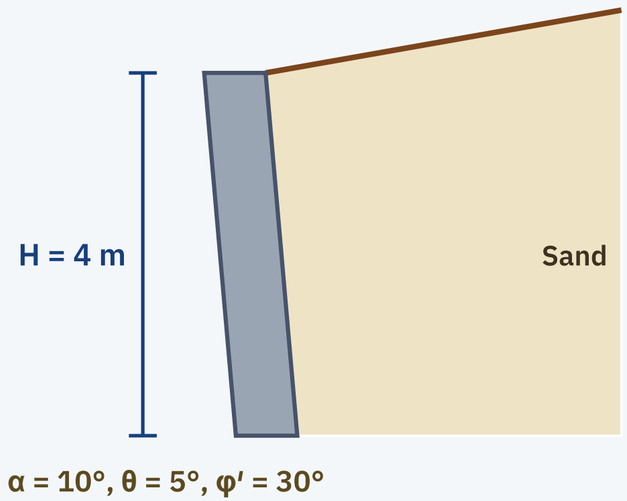
BEISPIEL

Gegeben

Wand und Hinterfüllung	**Die Wand aus Beispiel 3: $\theta = 5°,\ \alpha = 10°,\ \varphi' = 30°$; zum Vergleich eine senkrechte Wand mit horizontaler Hinterfüllung ($\theta = \alpha = 0$)**
Variable	$\delta' = 0°,\ 5°,\ 10°,\ 15°,\ 20°,\ 25°,\ 30°$

GESUCHT

Für jedes δ′: **K_a**; bei welchem δ′ ist K_a **am kleinsten**? Der empfohlene Bereich von δ′/φ′.



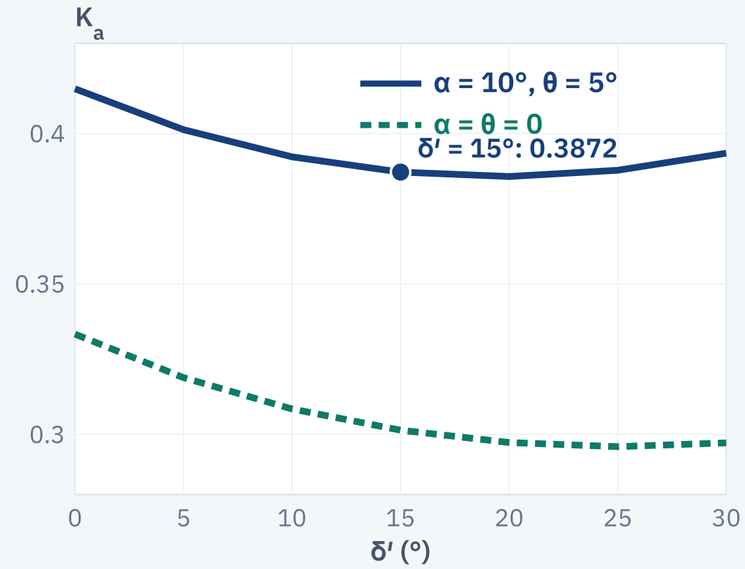
Lösung

LÖSUNG

1 Sieben δ′-Werte mit derselben Formel

δ′	0°	5°	10°	15°	20°	25°	30°
K_a (θ = 5°, α = 10°)	0.4149	0.4013	0.3923	0.3872	0.3857	0.3878	0.3935
K_a (θ = α = 0)	0.3333	0.3189	0.3085	0.3014	0.2973	0.2959	0.2972

Mit zunehmendem δ′ **nimmt** K_a zunächst **ab** (von 0.415 bei δ′ = 0 auf 0.387 bei 15°), erreicht bei δ′ ≈ 20–25° einen Minimalwert und **nimmt** danach wieder **zu**. In der Praxis wird δ′ = (1/2 – 2/3)φ′ angesetzt; die Annahme δ′ = φ′ ist nicht auf der sicheren Seite, da sie ein Abgleiten der Wand gegenüber dem Boden voraussetzt.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

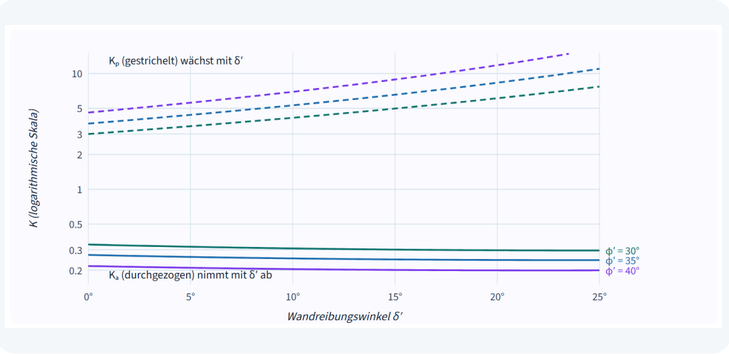
passiver Erddruckbeiwert nach Coulomb K_p

THEORIE

Wird die Wand in den Boden gedrückt, drehen sich die Resultierende und die Normale der Wandkraft auf die **andere Seite**; die passive Kraft ist die **kleinste** der Probekeile:

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi' + \theta)}{\cos^2\theta\cos(\delta' - \theta)\left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi' + \delta')\sin(\varphi' + \alpha)}{\cos(\delta' - \theta)\cos(\alpha - \theta)}}\right]^2} \qquad P_p = \tfrac{1}{2}K_p\gamma H^2$$

φ′	δ′ = 0°	δ′ = 5°	δ′ = 10°	δ′ = 15°	δ′ = 20°
15°	1.698	1.901	2.131	2.403	2.735
20°	2.040	2.313	2.635	3.029	3.525
25°	2.464	2.833	3.285	3.855	4.597
30°	3.000	3.505	4.143	4.977	6.105
35°	3.690	4.391	5.309	6.555	8.324
40°	4.599	5.593	6.946	8.872	11.771



Die Wandreibung **erhöht die passive Kraft rasch** (φ′ = 30°: für δ′ = 0 → 20° steigt K_p von 3.00 auf 6.11).

Für große δ′ liefert der ebene Keil **mehr als** den passiven Widerstand (unsicher): Modul mit logarithmischer Spirale.

Aufgabe

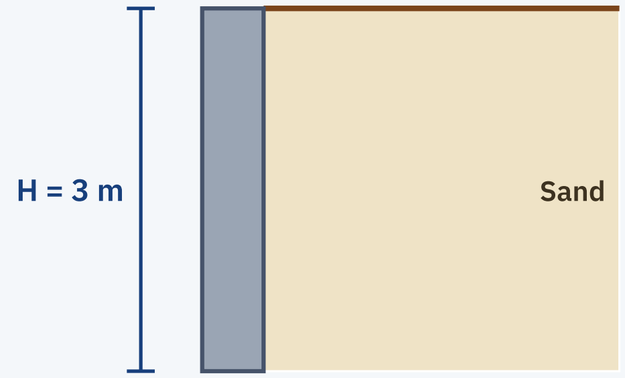
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 3$ m, vertikal; horizontale Hinterfüllung
Baugrund	trockener Sand: $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$
Wandreibung	$\delta' = 0°,\ 10°,\ 15°,\ 20°$

GESUCHT

Für jedes δ′: **K_p**, **P_p** und deren Komponenten; für δ′ = 15° Vergleich mit den Lösungen für gekrümmte Gleitflächen (302–326 kN/m).



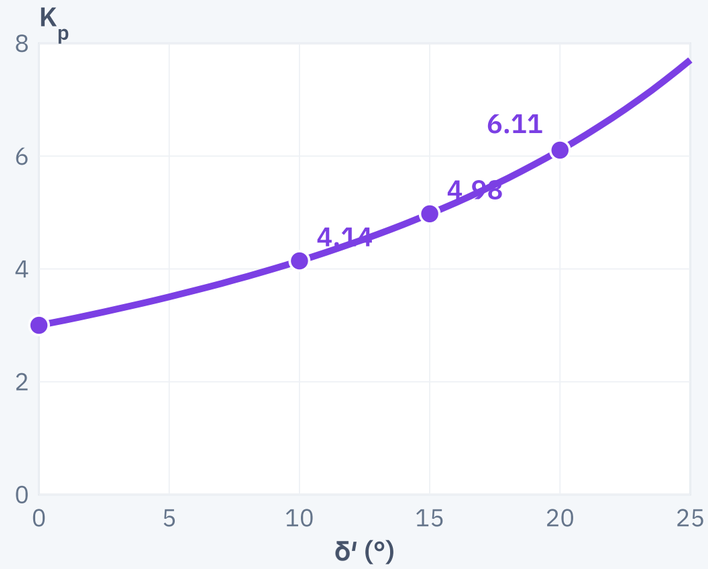
Lösung

LÖSUNG

1 K_p-Formel, $P_p = ½K_p\gamma H^2 = ½K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$

δ′	K_p	P_p (kN/m)	P_h	P_v	β (kritischer Keil)
0°	3.000	212.0	212.0	0.0	30.0°
10°	4.143	292.7	288.3	50.8	23.4°
15°	4.977	351.6	339.6	91.0	20.7°
20°	6.105	431.3	405.3	147.5	18.1°

von δ′ = 0 bis 20° steigt P_p von 212.0 auf 431.3 kN/m: auf das **2.0-Fache**. Bei δ′ = 15° liefert Coulomb 351.6 kN/m; die Lösungen mit gekrümmter Gleitfläche liegen im Bereich 302–326 kN/m, d. h. der passive Erddruck mit ebener Gleitkeilannahme liefert etwa **8 % zu viel** (unsicher).



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Modulerweiterung der Coulomb-Lösung

THEORIE

Die Auflast q (vertikal, je Flächeneinheit der geneigten Oberfläche) wird dem Gewicht jedes Probekells im gleichen Verhältnis wie der Baugrund zugeschlagen; der maßgebende Keil und K_a ändern sich nicht. Die äquivalente Spannung je vertikaler Einheitstiefe:

$$q_e = q\,\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} \qquad P_a = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 + K_a q_e H$$

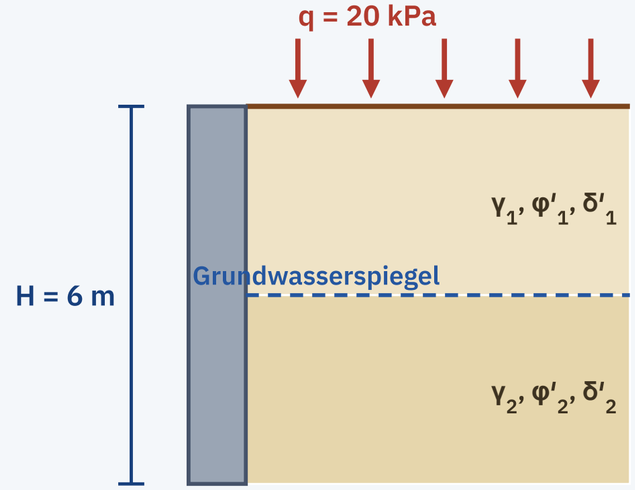
Der erste Teil liegt H/3 über der Sohle, der zweite Teil H/2. **Bei geschichteter Hinterfüllung** (Schichtgrenzen horizontal, Dicken vertikal von der Oberkante A der Wandfläche gemessen) erhält jede Schicht mit ihren eigenen γ, φ′ und δ′ ihren eigenen Beiwert K_i:

$$\sigma'_v = q_e + \sum \gamma_i h_i \qquad \sigma' = K_i\,\sigma'_v\cos\theta$$

σ′ wirkt auf die Einheitslänge der Wandfläche, gegen die Normale um den Winkel δ′ der Schicht geneigt; an einer Grenze mit veränderlichem K springt der Druck.

Grundwasserspiegel (horizontal, z_w) darunter: $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$; $u = \gamma_w(z - z_w)$ wird **senkrecht** zur Wand addiert. Die Kräfte werden in Komponenten senkrecht (N) und parallel (T) zur Wandfläche zerlegt und summiert: $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$.

GESCHICHTETE AUFFÜLLUNG UND WASSER



Aufgabe

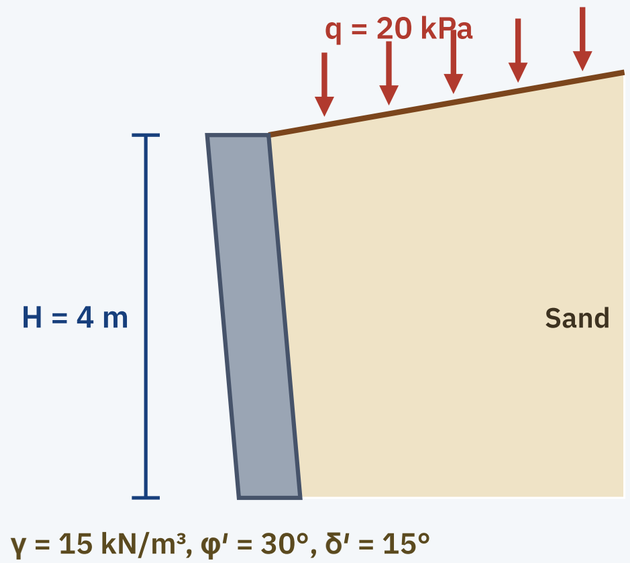
BEISPIEL

Gegeben

Wand und Boden	**Die Wand aus Beispiel 3:** $H = 4$ **m,** $\theta = 5°,\ \alpha = 10°$**;** $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Auflast	**gleichmäßig verteilte** $q = 20$ **kPa auf geneigter Oberfläche (senkrecht zur Oberfläche)**

GESUCHT

$\mathbf{q_e}$, die Gesamtkraft $\mathbf{P_a}$ und die Höhe ihrer Wirkung; der Anteil der Auflast.



Lösung

LÖSUNG

1 Äquivalente vertikale Spannung

$$q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} = 20\frac{\cos 5^\circ}{\cos(-5^\circ)} = \mathbf{20.00}\ \text{kPa}$$

2 Boden- und Auflastkräfte ($K_a = 0.3872$)

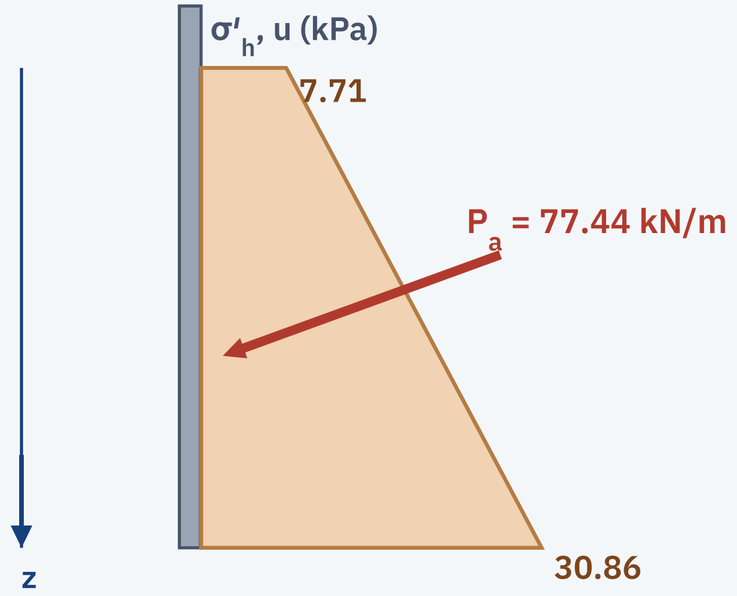
$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 = 46.46\ \text{kN/m}\ \ (H/3 = 1.33\ \text{m})$$

$$P_q = K_a q_e H = 0.3872(20)(4) = 30.97\ \text{kN/m}\ \ (H/2 = 2.00\ \text{m})$$

3 Summe und Lage

$$P_a = 46.46 + 30.97 = \mathbf{77.44}\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{46.46(1.33) + 30.97(2.00)}{77.44} = \mathbf{1.60}\ \text{m}$$



Die Auflast erhöhte die Kraft um 67 % (P_a = 77.44 kN/m); der Angriffspunkt verschob sich von 1.33 m auf **1.60 m**.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

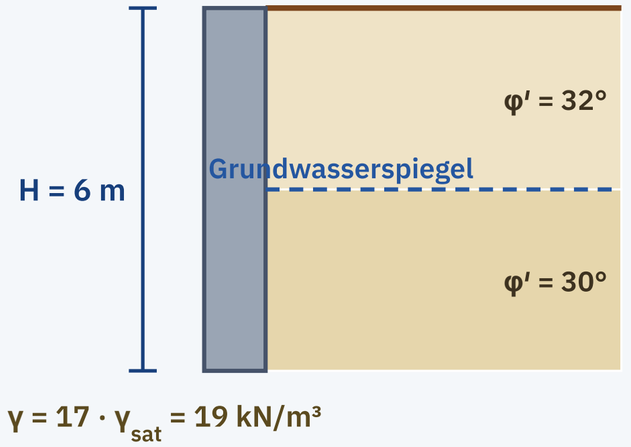
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 6$ **m, vertikal; horizontale Hinterfüllung; keine Auflast**
Schicht 1 (0–3 m)	$\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 32°,\ \delta' = 16°$
Schicht 2 (3–6 m)	$\gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Grundwasserspiegel	**in 3 m Tiefe**

GESUCHT

Drücke in jeder Schicht; Kräfte aus Boden und Wasser; **P**, β und Angriffshöhe.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Beiwerte

$$K_1(32^\circ, 16^\circ) = \mathbf{0.2782} \qquad K_2(30^\circ, 15^\circ) = \mathbf{0.3014}$$

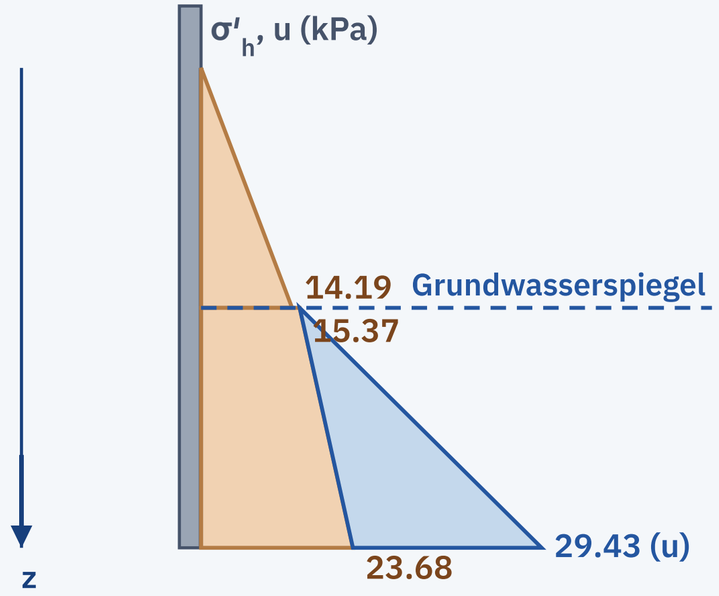
2 Spannungen: $\sigma'_v(3) = 17(3) = 51$; $\sigma'_v(6) = 51 + 3(19 - 9.81) = 78.57$ kPa

$$p_1 = 0.2782(51) = \mathbf{14.19}\ \text{kPa (oben)}$$

$$p_2 = 0.3014(51) = \mathbf{15.37}\ \text{kPa (unten)}$$

$$p(6) = 0.3014(78.57) = \mathbf{23.68}\ \text{kPa}$$

$$u(6) = 9.81(3) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



Lösung (2/2)

LÖSUNG

3 Bodenkräfte (auf die Wandfläche wirkend, jede Schicht mit ihrem eigenen δ′): Dreieck · Rechteck · Dreieck

$$P_s = \tfrac{1}{2}(3)(14.19) + 3(15.37) + \tfrac{1}{2}(3)(8.31) = 21.28 + 46.12 + 12.47 = 79.86\ \text{kN/m}$$

$$P_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.14\ \text{kN/m}\ (\text{senkrecht zur Wand})$$

4 Komponenten, Resultierende und Angriffspunkt

$$N = N_s + N_w = 77.04 + 44.14 = 121.18 \qquad T = 21.03\ \text{kN/m}$$

$$P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{123.00}\ \text{kN/m} \qquad \beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 9.84^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.69}\ \text{m}$$

Die Resultierende beträgt **123.00 kN/m** (Boden 79.86 + Wasser 44.14) und liegt 1.69 m über der Sohle. Die Wasserkraft entspricht 55 % derjenigen des Bodens; an der Schichtgrenze springt p von 14.19 auf 15.37 kPa (K ändert sich).

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

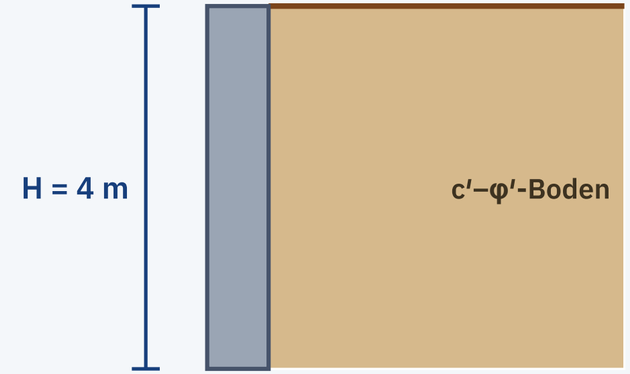
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 4$ **m, vertikal; horizontale Hinterfüllung**
Baugrund	**c′–φ′:** $\gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 25°,\ c' = 10$ **kPa;** $\delta' = 12.5° = \varphi'/2$

GESUCHT

K_a, die Zugtiefe z_0, **P_a** mit und ohne Riss; Vergleich mit Rankine.



γ = 18, φ′ = 25°, c′ = 10 kPa, δ′ = 12.5°

Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Coulomb-Beiwert und Kohäsionsterm (Adhäsion wird vernachlässigt)

$$K_a(25^\circ, 12.5^\circ) = \mathbf{0.3674} \qquad \sigma' = K_a \sigma'_v - 2c'\sqrt{K_a}$$

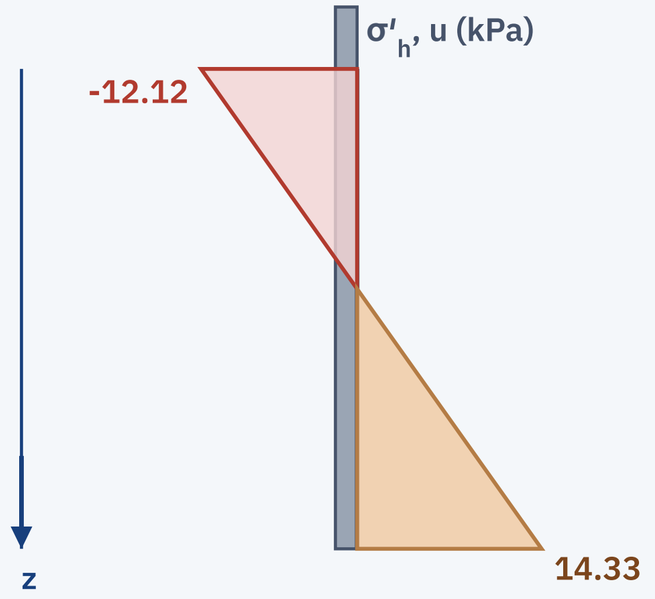
$$2c'\sqrt{K_a} = 2(10)(0.6061) = 12.12\ \text{kPa}$$

2 Am Kopf, an der Sohle und in der Zagtiefe

$$\sigma'(0) = -\mathbf{12.12}\ \text{kPa (Zug)}$$

$$\sigma'(4) = 0.3674(18)(4) - 12.12 = \mathbf{14.33}\ \text{kPa}$$

$$z_0 = \frac{2c'}{\gamma\sqrt{K_a}} = \frac{20}{18(0.6061)} = \mathbf{1.83}\ \text{m}$$



Lösung (2/2)

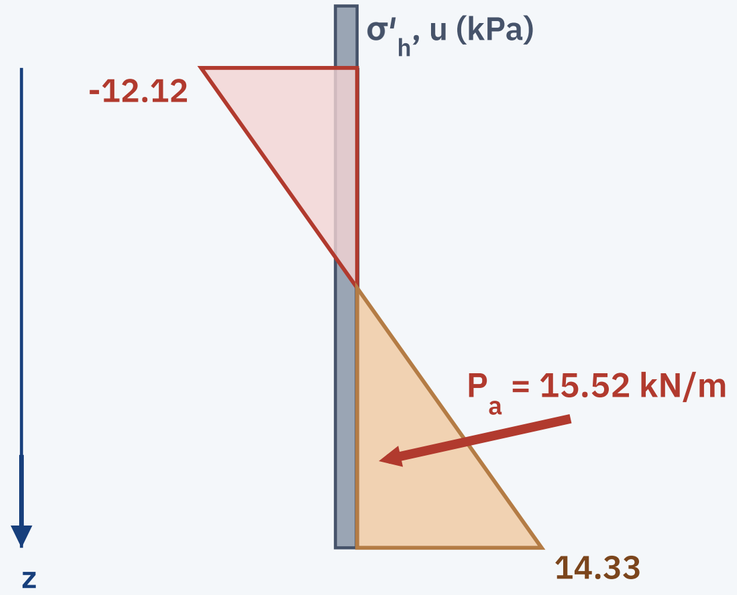
LÖSUNG

3 Risskraft (nur positives Dreieck)

$$P_a = \tfrac{1}{2}(14.33)(4 - 1.83) = \mathbf{15.52}\ \mathrm{kN/m} \qquad \bar{z} = 0.72\ \mathrm{m}$$

$$\text{ohne Riss: } P_a = 4.41\ \mathrm{kN/m}$$

Mit Zugriss P_a = **15.52 kN/m**; ohne Zugriss (einschließlich der negativen Zone) 4.41 kN/m: Wird die Zugzone mitgezählt, ergibt sich die Kraft sehr klein, weil sie klein ist. Rankine (δ′ = 0) würde 18.59 kN/m liefern.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Anwendungsbereich der Coulomb-Lösung

THEORIE

Die Gleitfläche ist eben. Beim aktiven Erddruck ist dies eine gute Näherung der tatsächlichen Fläche; beim passiven Erddruck weicht sie bei großem δ′ von der gekrümmten Fläche ab, und der Widerstand wird **größer als tatsächlich vorhanden** ermittelt (Vorsicht bei $\delta' > \varphi'/3$; Modul mit logarithmischer Spirale).

Wandreibung δ′ ist eine Eingabe: Sie hängt vom Wandmaterial und von der Bewegung des Bodens relativ zur Wand ab; grobe Annahmen sind $\delta' = (1/2 – 2/3)\varphi'$ (Beton–Sand).

Bindige Schicht: Der Kohäsionsterm wird in Rankine-Form mit dem Coulomb-K-Wert der Schicht angesetzt; die Wand–Boden-Adhäsion wird vernachlässigt; die Zugzone wird durch einen Riss ausgespart.

Geschichtete Lösung ist die ingenieurmäßige Erweiterung des Moduls (eine geschlossene geschichtete Coulomb-Lösung existiert in der Literatur nicht); bei einer einzelnen Schicht reduziert sie sich auf die geschlossene Lösung, bei $\delta' = 0$ und horizontaler Hinterfüllung auf Rankine.

Das **Erdbeben** ist im Mononobe–Okabe-Modul enthalten; Coulomb ist die statische Lösung.

Zusammenfassung

Die wichtigsten Punkte

Keil: W, F (unter φ' zur Normalen), P (unter δ' zur Normalen); $P_a(\beta)$ nach dem Sinussatz; **aktiv = größter** Keil, **passiv = kleinster** Keil

K_a $= \cos^2(\varphi' - \theta) / \{\cos^2\theta \cos(\delta' + \theta)[1 + \sqrt{(\ldots)}]^2\}$; die Kraft greift in H/3 über der Sohle an, unter $\theta + \delta'$ zur Horizontalen; für $\delta' = 0$ und gerade Geometrie gilt Rankine

Wandreibung verringert den aktiven Erddruck (bis $\delta' \approx 2\varphi'/3$) und erhöht den passiven Erdwiderstand rasch; bei großem δ' ist im passiven Fall der ebene Gleitkeil nicht auf der sicheren Seite

Auflast $q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$: $P = \tfrac{1}{2}K\gamma H^2\,(H/3) + K\,q_e\,H\,(H/2)$

Geschichtet + Wasser: $\sigma' = K_i \sigma'_v \cos\theta$, Sprung an der Schichtgrenze; u senkrecht zur Wand; $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$

Bindige Schicht: $\sigma' = K\sigma'_v - 2c'\sqrt{K}$, der negative Bereich am Zugriss wird vernachlässigt

Literatur

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

Coulomb, C.A. (1776). Essai sur une application des règles de Maximis et Minimis à quelques problèmes de statique relatifs à l'architecture. Mémoires de Mathématique et de Physique, Académie Royale des Sciences, Paris, 7, 343–382.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning – eine Auflast auf einer geneigten Hinterfüllung.

HINWEIS

Alle Zahlenbeispiele wurden mit der Berechnungsengine des Moduls selbst erzeugt; das Modul liefert dieselben Werte. Das Modul öffnet sich mit der Wand aus Beispiel 3 (θ = 5°, α = 10°, δ′ = 15°).

GeoTerva

Geotechnische Berechnungen online

Von der Theorie zur Praxis

Geben Sie die Neigung Ihrer eigenen Wand, die Geländeneigung der Hinterfüllung, deren Reibung, ihre Schichten, ihre Auflast und das Grundwasser in GeoTerva ein; das Modul liefert die Kraft, ihre Richtung und ihre Angriffshöhe gemeinsam.

Modul öffnen →

Theorieseite →

Auf dem Smartphone öffnen

Die Beispielmodule erfordern keine Registrierung.

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