Geotechnische Vorlesung · Erddruck

Passiver Erddruck: logarithmische Spirale

Vorlesung: Berechnung des passiven Erddrucks auf eine raue Wand mit gekrümmter Gleitfläche (logarithmische Spirale), Probekeil nach Terzaghi–Peck, Lösung nach Lancellotta, Vergleich mit Coulomb; geneigte Rückwand, geneigte Geländeoberfläche, Schichten und Wasser; zu jedem Thema ein Rechenbeispiel.

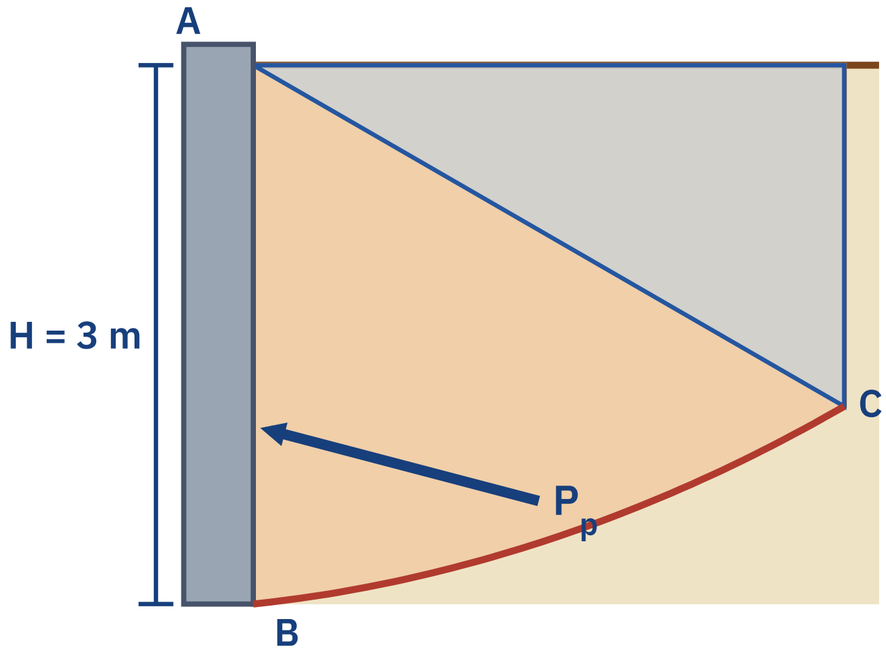
Wandreibung

$r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$

Keil nach Terzaghi – Peck

Lancellotta · Coulomb

Geneigte Hinterfüllung · Schicht · Wasser



Einführung

Was lernen wir in dieser Vorlesung?

- Warum bei rauer Wand eine **gekrümmte Gleitfläche** statt eines **ebenen Keils** (Coulomb) erforderlich ist
- Die **logarithmische Spirale**: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; jeder Radius trifft die Kurve unter φ', und die Resultierende geht durch das Zentrum der Spirale
- Berechnung von P über das Momentengleichgewicht am **Terzaghi–Peck**-Probekeil; Ermittlung der Kraft aus dem **kleinsten** Probekeil
- Vergleich von K_p mit der geschlossenen Lösung nach **Lancellotta** sowie mit Coulomb, Shields–Tolunay, Zhu–Qian
- Den verallgemeinerten Gleitkeil für geneigte Hinterfüllung, geneigte Oberfläche, Auflast, **Schichten und Wasser**
- Wie **unsicher** Coulomb bei großem δ' wird

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 des Wandkopfes (kN/m); $P_p = \frac{1}{2} K_p \gamma H^2$; die Wandreibung δ' wirkt in der Richtung, in der die Wand den Boden nach unten zieht.

Warum tritt im passiven Fall keine ebene Gleitfläche auf?

THEORIE

Coulombs ebene Gleitfläche ist eine gute Näherung für den **aktiven** Erddruck; für den **passiven** Widerstand einer rauen Wand liefert sie jedoch mehr als den tatsächlichen Widerstand, und mit zunehmender Wandreibung immer mehr: **auf der unsicheren Seite**.

Wird die Wand in den Boden gedrückt, so hebt sich der Boden gegenüber der Wand; die Wand verschiebt den Boden **nach unten** (positive Wandreibung) und die passive Kraft ist von der Normalen der Wandfläche um δ′ **nach unten** geneigt. In diesem Fall lautet die Bruchfläche:

- nahe dem vorderen Sporn (BC) **gekrümmt** (logarithmische Spirale)
- nahe der Oberfläche (CD) **gerade** ist: sie bildet mit der Horizontalen 45° − φ′/2; die Zone ACD befindet sich im passiven Rankine-Zustand

WIE VIEL MEHR LIEFERT COULOMB?

φ′ / δ′	Spirale	Coulomb
30° / 15°	4.61	4.98
30° / 30°	6.68	10.10
40° / 20°	9.67	11.77
40° / 40°	18.86	92.59

K_p-Beiwerte; für φ′ = δ′ = 40° liefert Coulomb den 5-fachen Wert.

Die Eigenschaft, die die Spirale nützlich macht

THEORIE

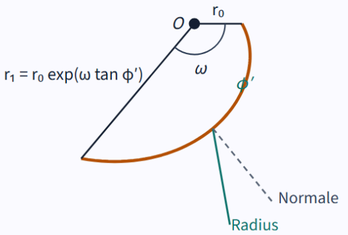
Der gekrümmte Teil BC der Gleitfläche wird als logarithmische Spirale mit Zentrum O angenommen:

$$r = r_0 \, e^{\omega \tan \varphi'}$$

r_0 ist der Radius bei ω = 0. Die Eigenschaft der Spirale: **Jeder Radius trifft die Kurve unter φ′**. Im nichtbindigen Boden bildet auch die Resultierende aus Normalkraft und Scherkraft auf der Gleitfläche mit der Normale den Winkel φ′; d. h. auf der Spirale liegt die Resultierende längs eines Radius und **geht durch O**: Das folgt aus der Momentengleichung um O.

$$A_{OAB} = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4 \tan \varphi'}$$

Sie ist die Fläche der Lamelle zwischen r_0 und r_1; das Modul ermittelt die Keilfläche und den Schwerpunkt numerisch.



die Resultierende F der Normal- und Scherkräfte auf der Spirale (unter ϕ' zur Normalen) liegt auf einem Radius – sie verläuft durch O

Aufgabe

BEISPIEL

Gegeben

Spirale	**Mittelpunkt O; Anfangsradius $r_0 = 1.00$ m; $\varphi' = 30°$**
Winkel	$\omega = 60°$ **und** $\omega = 90°$

GESUCHT

$\mathbf{r_1}$, der Winkel des Radius zur Kurve und die Sektor**fläche**.

Lösung

LÖSUNG

1 ω = 60° = 1.0472 rad

$$r_1 = r_0 e^{\omega \tan\varphi'} = 1.00\, e^{1.0472 \times 0.5774} = 1.00\, e^{0.6046}$$

$$r_1 = \mathbf{1.831}\ \mathrm{m}$$

2 Sektorfläche

$$A = \frac{r_1^2 - r_0^2}{4 \tan\varphi'} = \frac{3.351 - 1.00}{4(0.5774)} = \mathbf{1.018}\ \mathrm{m^2}$$

3 für ω = 90°

$$r_1 = 1.00\, e^{1.5708 \times 0.5774} = \mathbf{2.477}\ \mathrm{m} \qquad A = \mathbf{2.223}\ \mathrm{m^2}$$

Der Radius wächst pro Radiant um den Faktor $e^{\tan\varphi'} = 1.781$; bei ω = 60° ist $r_1 = 1.831$ m, die Fläche beträgt 1.018 m². Der Radius bildet mit der Kurve **an jedem Punkt φ′ = 30°**; deshalb geht die Resultierende durch O.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Verfahren nach Terzaghi und Peck (1967)

THEORIE

Für die senkrechte Wand AB der Höhe H:

Von A aus wird die Gerade AC unter **45° – φ′/2** zur Geländeoberfläche gezogen; auf ihr wird ein Punkt C gewählt.

Auf der Geraden AC wird der Mittelpunkt **O** der Spirale mit dem Radius r_0 = OB gefunden, die durch B verläuft und C erreicht (r_1 = OC = $r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$).

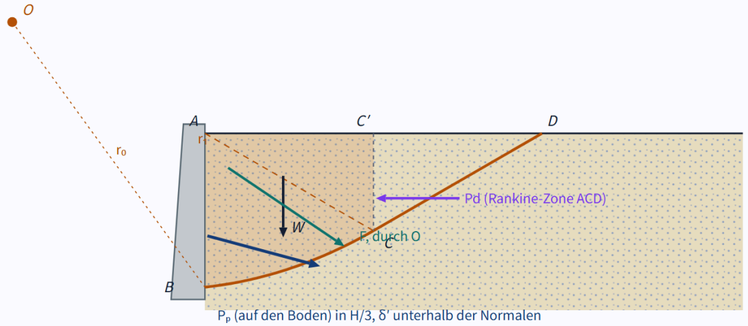
Die Fläche CC′ trägt die passive Rankine-Kraft des Bereichs ACD (horizontal, d/3 über C):

$$P_d = \tfrac{1}{2}\gamma d^2 \tan^2\left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2}\right)$$

Moment um O für das Gewicht W des Keils ABCC′, für P_d und die Wandkraft P (bei H/3, δ′ unterhalb der Normalen) (die Resultierende F verläuft durch O):

$$P = \frac{W\, l_W + P_d\, l_1}{l_P} \qquad P_p = \min_C P \qquad K_p = \frac{2P_p}{\gamma H^2}$$

Der Versuch wird für viele C wiederholt; die kleinste Kraft ist die passive Kraft. Bei δ′ = 0 geht er in die Spiralfläche über und $K_p = \tan^2(45° + \varphi'/2)$.



Aufgabe

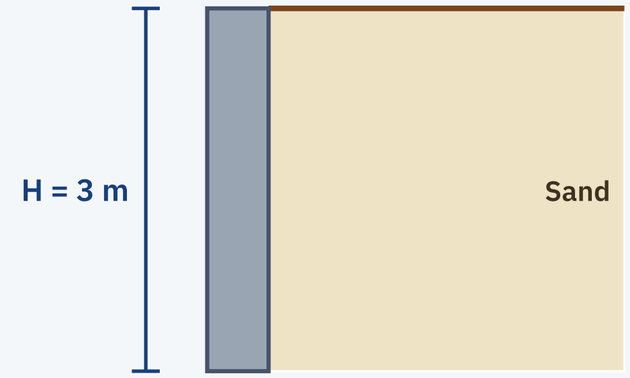
BEISPIEL

Gegeben

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

GESUCHT

Geometrie des kleinsten Probekeils und P_p, K_p; Vergleich mit mehreren Probekeilen. Das Modul wird mit dieser Wand geöffnet.



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (passiv)

Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Geometrie (AC unter 45° − 15° = 30° zur Horizontalen)

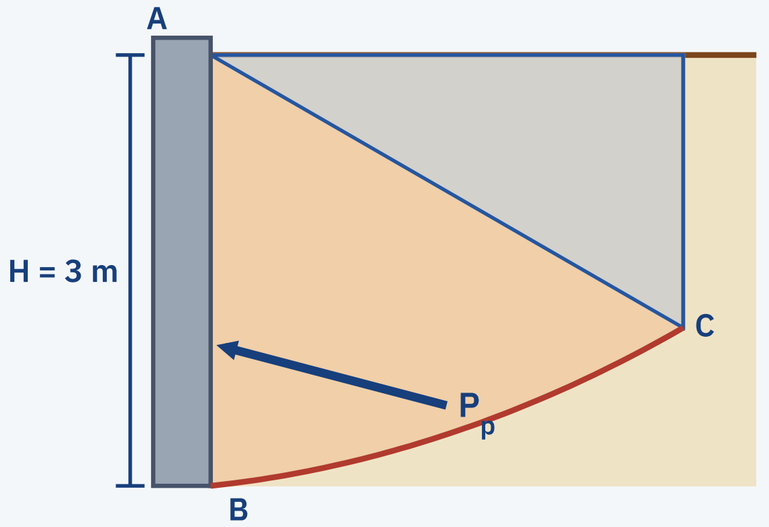
$$t = 3.80\ \text{m}: \quad C = (3.29;\ 1.10)\ \text{m}, \quad d = H - y_C = 1.90\ \text{m}$$

$$O = (-3.76;\ 5.17)\ \text{m}, \quad r_0 = OB = 6.39\ \text{m}, \quad r_1 = OC = 8.14\ \text{m}$$

2 Spiralwinkel und Keilgewicht

$$\omega = \ln(r_1/r_0)/\tan 30^\circ = 23.97^\circ$$

$$W = \gamma A_{ABCC'} = 15.7\,(8.480) = \mathbf{133.14}\ \text{kN/m}$$



Lösung (2/2)

LÖSUNG

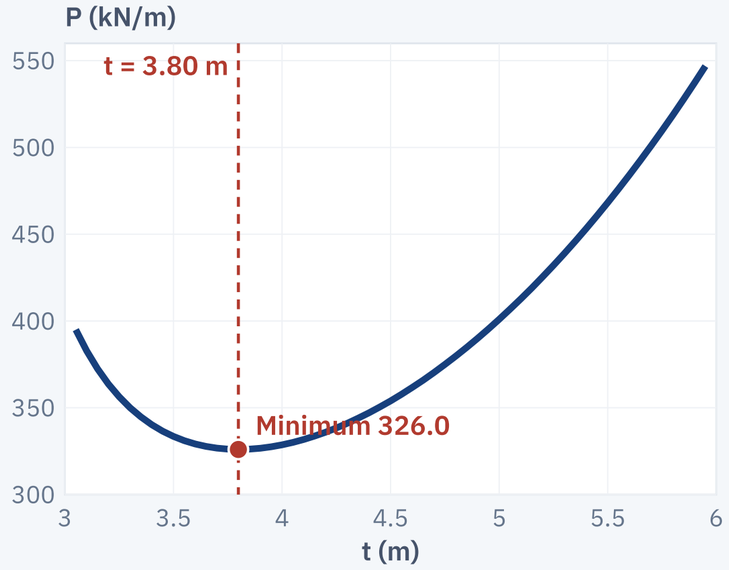
3 Rankine-Zone: $P_d = \tfrac{1}{2}\gamma d^2 \tan^2 60°$

$$P_d = \tfrac{1}{2}(15.7)(1.899)^2(3) = \mathbf{84.96}\ \mathrm{kN/m}$$

4 Moment um O (Hebelarme $l_W = 5.289$, $|l_1| = 3.438$, $l_P = 3.056$ m)

$$P = \frac{W\, l_W + P_d\, |l_1|}{l_P} = \frac{133.14(5.289) + 84.96(3.438)}{3.056} = \mathbf{326.03}\ \mathrm{kN/m}$$

Die kleinste Probelast ist **P_p = 326.0 kN/m** (t = 3.80 m); $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$ = **4.615**. Bei kleinerem oder größerem t nimmt die Kraft zu (t = 3.2 m: 363.8; t = 4.5 m: 354.0 kN/m), d. h. der passive Erddruck ist der **kleinste** Probe-Gleitkeil.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

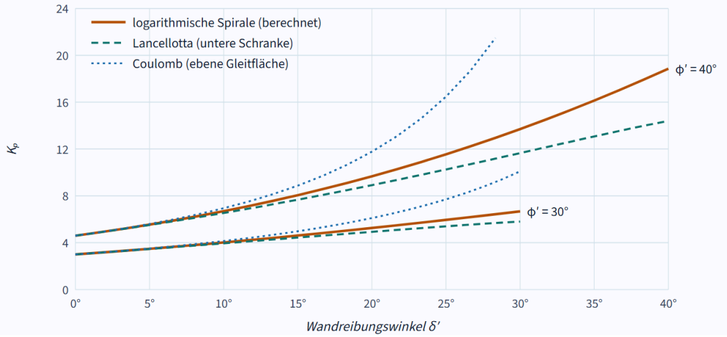
Spirale und weitere Lösungen

THEORIE

Senkrechte Wand, horizontale Hinterfüllung: weitere Lösungen (alle $P_p = ½K_pγH²$): Shields–Tolunay (Lamellenverfahren, Tabelle), Sokolowskiĭ (Charakteristiken, Tabelle), Zhu–Qian (Dreieckslamelle, Tabelle) und die geschlossene Lösung nach **Lancellotta (2002)** (untere Schranke):

$$K_p = \frac{\cos\delta'}{1-\sin\varphi'}\left(\cos\delta' + \sqrt{\sin^2\varphi' - \sin^2\delta'}\right) e^{2\theta\tan\varphi'}\frac{1}{\cos\delta'} \qquad 2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin\delta'}{\sin\varphi'} + \delta'$$

φ′	δ′	Log. Spirale	Lancellotta	Coulomb
20°	10°	2.56	2.52	2.64
20°	20°	3.07	2.87	3.53
30°	15°	4.61	4.44	4.98
30°	30°	6.68	5.80	10.10
40°	20°	9.67	8.92	11.77
40°	40°	18.86	14.39	92.59



Lancellotta ist die untere Schranke, die logarithmische Spirale die obere Schranke; das Verfahren der Charakteristiken liegt zwischen beiden, sehr nahe an der Spirale.

Coulomb liefert bei großem δ′ zu viel (φ′ = δ′ = 40°: 92.6).

Aufgabe

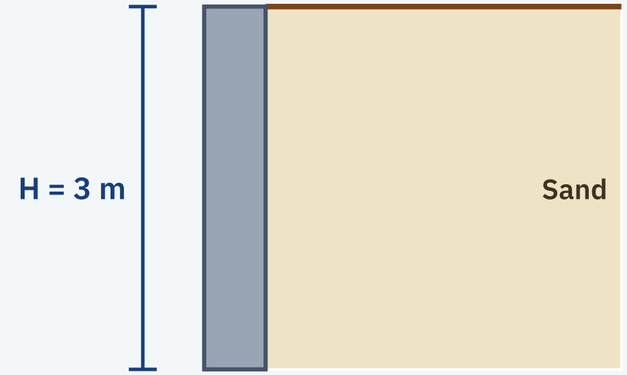
BEISPIEL

GESUCHT

Lancellotta-Verfahren für K_p Schritt für Schritt; die P_p-Werte der fünf Lösungen und ihre Rangfolge.

Gegeben

Wand und Boden	**Wand in Beispiel 2:** $H = 3$ m, $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$



γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15° (passiv)

Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Lancellotta (untere Schranke): 2θ und K_p

$$2\theta = \sin^{-1}\frac{\sin 15^\circ}{\sin 30^\circ} + 15^\circ = 31.17^\circ + 15^\circ = 0.8059\ \text{rad}$$

$$K_p = \frac{\cos 15^\circ}{1-\sin 30^\circ}\left(\cos 15^\circ + 0.4278\right) e^{0.8059\,\tan 30^\circ}\frac{1}{\cos 15^\circ} = \mathbf{4.439}$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

2 Fünf Lösungen ($P_p = ½K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$)

Lösung	K_p	P_p (kN/m)
Coulomb (1776), ebene Gleitfläche	4.977	351.6
Terzaghi & Peck (logarithmische Spirale)	4.615	326.0
Shields & Tolunay (1973)	4.280	302.4
Zhu & Qian (2000)	4.575	323.2
Lancellotta (2002)	4.439	313.6

Die ebene Lösung nach Coulomb liefert den größten Wert (351.6 kN/m); die Lösungen mit gekrümmter Gleitfläche liegen im Bereich von **302–326 kN/m**. Lancellotta (untere Schranke) ergibt 313.6 kN/m, die logarithmische Spirale (obere Schranke) 326.0 kN/m.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

BEISPIEL

Gegeben

Baugrund	**Sand, $\varphi' = 30°$; senkrechte Wand, waagerechte Hinterfüllung**
Variable	$\delta' = 0°,\ 10°,\ 15°,\ 20°,\ 30°$

GESUCHT

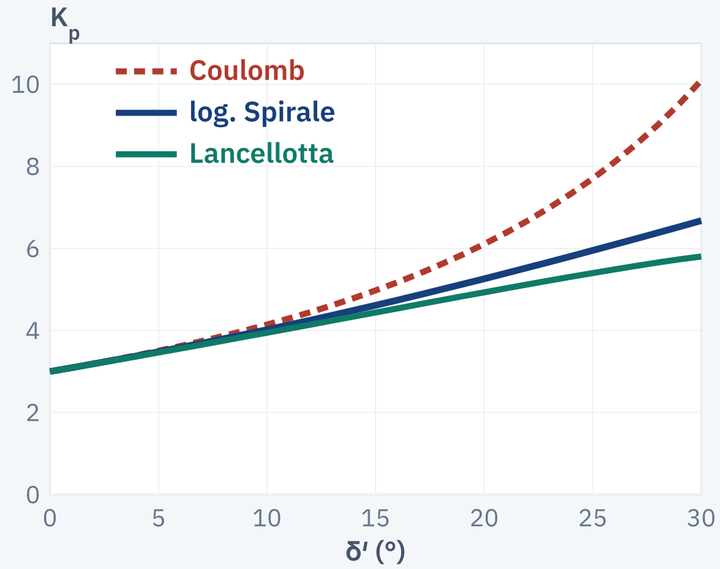
Für jedes δ′ $\mathbf{K_p}$ (log. Spirale, Lancellotta, Coulomb) und der Überschuss gegenüber Coulomb.

Lösung

LÖSUNG

1 Vier Verfahren für dasselbe φ′ = 30°

δ′	Log. Spirale	Lancellotta	Coulomb	Coulomb / spiral
0°	3.000	3.000	3.000	1.00
10°	4.020	3.946	4.143	1.03
15°	4.615	4.439	4.977	1.08
20°	5.260	4.930	6.105	1.16
30°	6.677	5.804	10.095	1.51



Bei δ′ = 0 sind alle drei gleich Rankine (3.00); mit zunehmendem δ′ überschreitet die Coulomb-Spirale diesen Wert rasch: um 8% bei δ′ = 15°, um 51% bei δ′ = 30° (unsicher). In der Praxis wird für den passiven Erddruck entweder die logarithmische Spirale oder δ′ ≤ φ′/2 verwendet.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Geneigte Hinterfüllung, geneigte Geländeoberfläche, Auflast, Schicht und Wasser

THEORIE

Das Modul erweitert den Keil nach Terzaghi–Peck auf eine unter θ geneigte Krone und eine unter α geneigte Wandfläche: Der Bereich zwischen AC und der Geländeoberfläche befindet sich im Rankine'schen passiven Zustand der geneigten Fläche; die Spirale auf AC wird von O aus gezeichnet; die Spirale kann in eine Ebene entarten (die Coulomb'sche Ebene ist ebenfalls ein Mechanismus, und es wird der kleinere der beiden gewählt).

$$P_p = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq} \qquad q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)}$$

Die Anteile aus Bodeneigengewicht (H/3) und Auflast (H/2) werden aus den jeweils kleinsten Probekielen ermittelt. Bei einer **geschichteten** Hinterfüllung erhält jede Schicht ihren eigenen Wert $K_{p\gamma}$ bzw. K_{pq}; das Gewicht des darüberliegenden Bodens wirkt wie eine Auflast; **unter Wasser** werden γ′ und u senkrecht zur Rückwand angesetzt:

$$\sigma'_p = \left[K_{pq}\sigma'_{v,top} + K_{p\gamma}\left(\sigma'_v - \sigma'_{v,top}\right)\right]\cos\theta$$

Fall (δ′ = φ′ = 30°)	K_p-Diagramme (Caquot–Kerisel)	Modul K_p	Differenz
θ = 20°	3.84	3.82	−0.6 %
θ = 30°	2.76	2.80	+1.6 %
α/φ′ = 0.4 (α = 12°)	10.60	10.22	−3.6 %
α/φ′ = 0.8 (α = 24°)	15.10	14.51	−3.9 %

$K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (bei Caquot–Kerisel wird anstelle von H die Rückenlänge $H_1 = H/\cos\theta$ angesetzt). Diese geschichtete Erweiterung ist die ingenieurmäßige Erweiterung des Moduls.

CAQUOT – KERISEL R′

Die Caquot–Kerisel-Tafeln gelten für δ′ = φ′; für andere δ′ ist $K_p = R' K_{p(\delta'=\varphi')}$. Für φ′ = 30°, δ′/φ′ = 0.5 ist R′ = 0.746.

Aufgabe

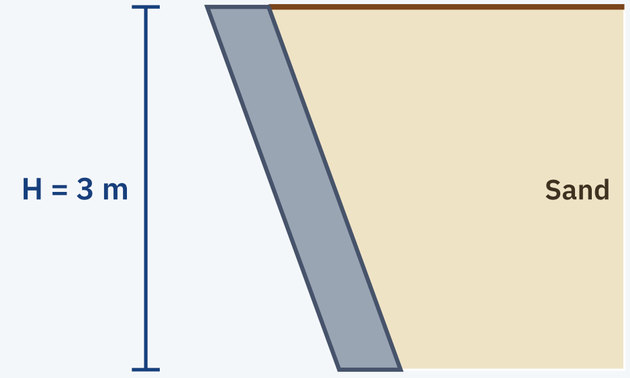
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 3$ m; Rücken um $\theta = 20°$ gegen die Vertikale geneigt; horizontale Hinterfüllung
Baugrund	trockener Sand: $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$; $\delta' = 30° = \varphi'$

GESUCHT

$K_{p\gamma}$, P_p; Vergleich mit K_p aus dem Diagramm; Vergleich mit einer Wand mit senkrechter Rückwand.



θ = 20°, φ′ = 30°, δ′ = 30° (passiv)

Lösung

LÖSUNG

1 Spiralbeiwert (Modul; δ′ = φ′ = 30°, θ = 20°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.321} \qquad K_{pq} = 4.127$$

2 Vergleich mit Kraft und Nomogramm

$$P_p = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = \tfrac{1}{2}(4.321)(15.7)(9) = \mathbf{305.3}\ \mathrm{kN/m}$$

$$K_p = K_{p\gamma} \cos^2 20^\circ = 4.321(0.8830) = \mathbf{3.82}\ (\text{Tafel } 3.84)$$

P_p = **305.3 kN/m**; bei einer Wand mit vertikaler Rückwand im selben Boden (θ = 0, δ′ = 30°) ergäbe sich 471.8 kN/m: eine um 20° geneigte Rückwand **verringert** den passiven Widerstand um 35%. Abweichung zur Tafel: 0.6%.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

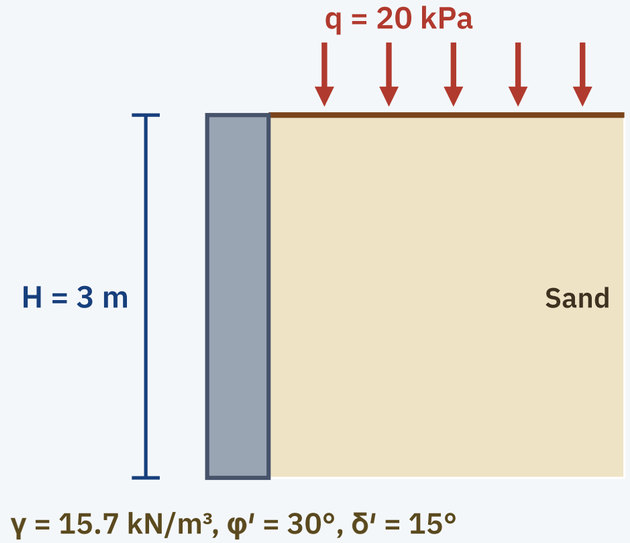
BEISPIEL

GESUCHT

Boden- und Auflastanteile, Summe $\mathbf{P_p}$ und $\bar{\mathbf{z}}$.

Gegeben

Wand und Boden	**Wand in Beispiel 2:** $H = 3$ **m,** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Auflast	$q = 20$ **kPa (auf horizontaler Oberfläche)**



Lösung

LÖSUNG

1 Beiwerte (Modul, δ′ = 15°)

$$K_{p\gamma} = \mathbf{4.615} \qquad K_{pq} = \mathbf{4.532} \qquad q_e = 20\ \mathrm{kPa}$$

2 Kräfte: Boden (Hebelarm H/3 = 1.00 m) + Auflast (Hebelarm H/2 = 1.50 m)

$$P_\gamma = \tfrac{1}{2} K_{p\gamma} \gamma H^2 = 326.03\ \mathrm{kN/m}$$

$$P_q = K_{pq} q_e H = 4.532(20)(3) = 271.90\ \mathrm{kN/m}$$

3 Summe und Lage

$$P_p = 326.03 + 271.90 = \mathbf{597.94}\ \mathrm{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{326.03(1.00) + 271.90(1.50)}{597.94} = \mathbf{1.23}\ \mathrm{m}$$

P_p = **597.9 kN/m**, $\bar{z}$ = **1.23 m** (1.00 m ohne Auflast); der Auflastanteil beträgt 83 % des Bodens.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

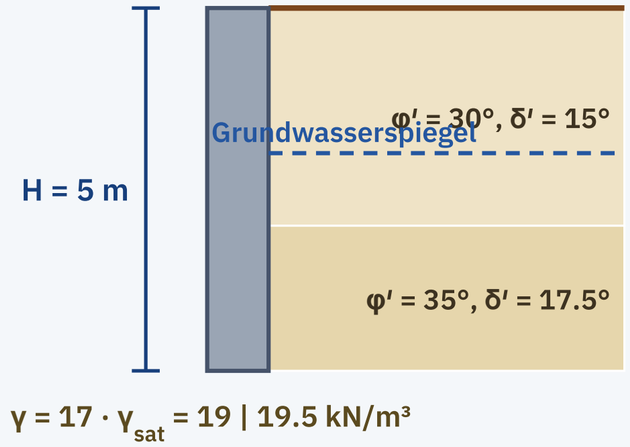
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 5$ **m, vertikal; horizontale Hinterfüllung; keine Auflast**
Schicht 1 (0–3 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$
Schicht 2 (3–5 m)	$\gamma = 17,\ \gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 35°,\ \delta' = 17.5°$
Grundwasser	**in 2 m Tiefe**

GESUCHT

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



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Beiwerte (Modul)

$$\text{Schicht 1: } K_{p\gamma} = 4.615$$

$$\text{Schicht 2: } K_{p\gamma} = 6.522,\ K_{pq} = 6.351$$

2 Spannungen: σ′$_V$(2) = 34; σ′$_V$(3) = 43.19; σ′$_V$(5) = 62.57 kPa

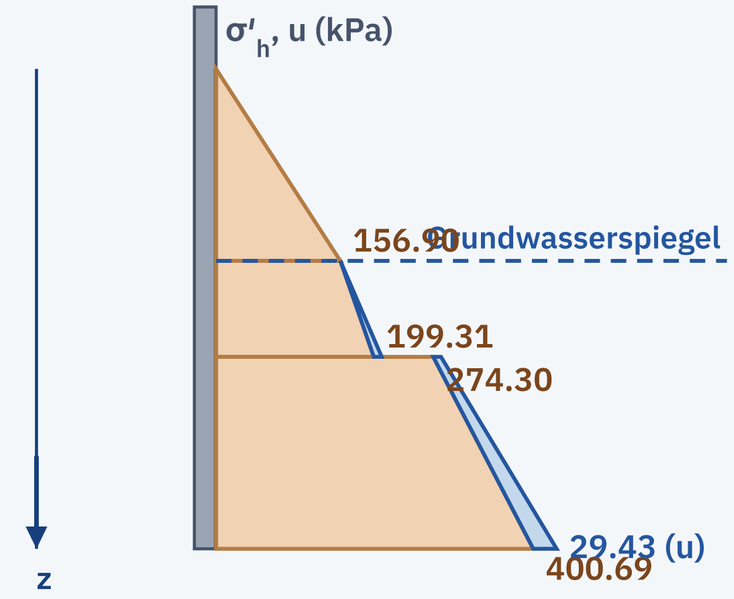
$$p(2) = 4.615(34) = 156.90$$

$$p(3^-) = 4.615(43.19) = 199.31$$

$$p(3^+) = K_{pq}\sigma'_v(3) = 6.351(43.19) = \mathbf{274.30}$$

$$p(5) = 274.30 + 6.522(19.38) = \mathbf{400.69}\ \text{kPa}$$

$$u(5) = \mathbf{29.43}\ \text{kPa}$$



Lösung (2/2)

LÖSUNG

3 Kräfte und Komponenten entlang der Rückwand (mit Schicht-δ′)

$$P_s = 335.0 + 675.0 = 1{,}010.0\ \text{kN/m}$$

$$N_s = 967.3 \qquad T = 289.7\ \text{kN/m}$$

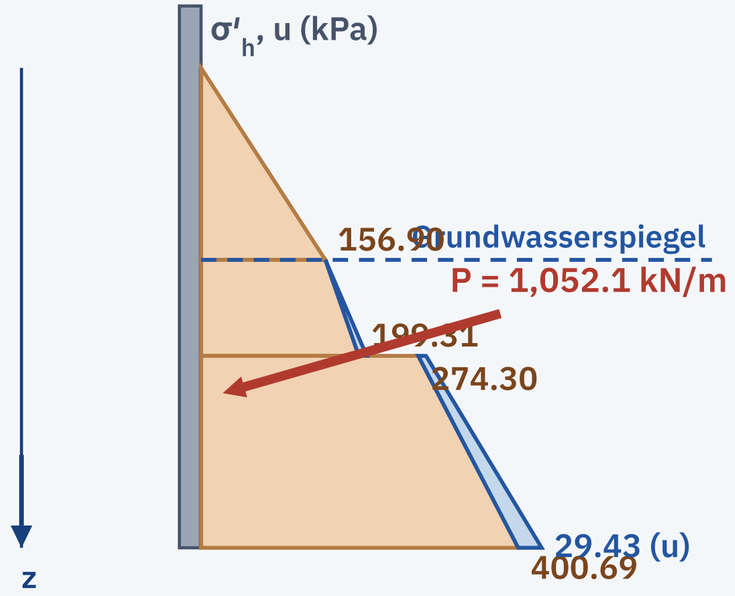
$$N_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.15\ \text{kN/m}\ \text{(senkrecht zum Grat)}$$

4 Resultierende und Lage

$$N = N_s + N_w = 1{,}011.5 \qquad P = \sqrt{N^2 + T^2} = \mathbf{1{,}052.1}\ \text{kN/m}$$

$$\beta = \tan^{-1}\frac{T}{N} = 15.98^\circ \qquad \bar{z} = \mathbf{1.61}\ \text{m}$$

P = **1,052.1 kN/m**, β = 16.0°, 1.61 m über der Sohle. Der Wasseranteil beträgt nur 44.1 kN/m (4 %): im passiven Fall ist der Erddruck im Vergleich zum Wasser sehr groß; an der Grenze springt p von 199.3 auf 274.3 kPa.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Umfang der Lösung

THEORIE

Nichtbindiger Boden ($c' = 0$); für bindigen passiven Erddruck siehe die Module Rankine und Coulomb.

Die logarithmische Spirale ist die obere Schranke, Lancellotta die untere Schranke; der tatsächliche Widerstand liegt zwischen beiden. Das ebene Coulomb-V erfahren ist bei großem δ' auf der unsicheren Seite.

Der **verallgemeinerte Keil** (geneigte Rückwand, geneigte Geländeoberfläche, Schicht, Wasser, Auflast) ist die ingenieurmäßige Erweiterung des Moduls; eine geschlossene geschichtete Lösung gibt es nicht; die Anteile aus Bodengewicht und Auflast werden aus den jeweils eigenen minimalen Keilen ermittelt.

Gültigkeit: $\alpha < \varphi'$; die Rückseite und die Geländeoberfläche müssen sich unter einem ausreichenden Winkel schneiden; tritt die Spirale aus dem Boden aus oder dreht sie sich in die falsche Richtung, liegt kein Mechanismus vor (die Gerade ist der Grenzfall).

Für das **Erdbeben** wird das Modul „passiver Erddruck im Erdbebenfall“ verwendet.

Zusammenfassung

Die wichtigsten Punkte

Im passiven Fall ist der ebene Keil unsicher: Bei Wandreibung ist die Bruchfläche am Fuß gekrümmt (spiralig) und nahe der Oberfläche eben (Rankine-Zone)

Spirale: $r = r_0 e^{\omega \tan \varphi'}$; jeder Radius trifft die Kurve unter φ', die Resultierende geht durch O; Fläche $(r_1^2 - r_0^2)/(4 \tan \varphi')$

Terzaghi–Peck: $P = (W\, l_W + P_d\, l_1)/l_P$; das P im **kleinsten** Probekeil ist die passive Kraft; $K_p = 2P_p/(\gamma H^2)$

Lancellotta (untere Schranke, geschlossene Lösung), Spirale (obere Schranke); Coulomb liefert bei $\varphi' = \delta' = 40°$ den 5-fachen Wert

Verallgemeinerter Keil: $P = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 K_{p\gamma} + q_e H K_{pq}$; $K_p = K_{p\gamma}\cos^2\theta$ (Definition der Tafel); schichtweise $\sigma' = [K_{pq}\sigma'_{v,\text{oben}} + K_{p\gamma}(\sigma'_v - \sigma'_{v,\text{oben}})]\cos\theta$

Beispielwand ($H = 3$ m, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$): Coulomb 351.6 · Spirale 326.0 · Lancellotta 313.6 kN/m

Literatur

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

Terzaghi, K. and Peck, R.B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, 2nd ed. Wiley, New York.

Shields, D.H. and Tolunay, A.Z. (1973). Passive pressure coefficients by method of slices. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 99(SM12), 1043–1053.

Lancellotta, R. (2002). Analytical solution of passive earth pressure. Géotechnique, 52(8), 617–619.

Sokolowskiĭ, V.V. (1965). Statics of Granular Media. Pergamon, London.

Zhu, D.Y. and Qian, Q. (2000). Determination of passive earth pressure coefficients by the method of triangular slices. Canadian Geotechnical Journal, 37(2), 485–491.

Caquot, A. and Kerisel, J. (1948). Tables for the Calculation of Passive Pressure, Active Pressure and Bearing Capacity of Foundations. Gauthier-Villars, Paris.

Das, B.M. (2016). Principles of Foundation Engineering, 8th ed. Cengage Learning.

HINWEIS

Alle Rechenbeispiele wurden mit der Berechnungsengine des Moduls selbst erzeugt; das Modul liefert dieselben Werte. Das Modul wird mit der Wand aus Beispiel 2-3 geöffnet (H = 3 m, δ′ = 15°).

GeoTerva

Geotechnische Berechnungen online

Von der Theorie zur Praxis

Geben Sie in GeoTerva die Neigung der Wandrückseite, die Geländeneigung der Hinterfüllung, die Schichten, die Auflast und den Grundwasserspiegel Ihrer eigenen Stützwand ein; das Modul gibt die kritische Spirale, P_p und die Höhe der Resultierenden gemeinsam an.

Modul öffnen →

Theorieseite →

Auf dem Smartphone öffnen

Die Beispielmodule erfordern keine Registrierung.

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