GeoTerva

Geotechnische Vorlesung · Erddruck

Erddruck nach Mononobe–Okabe im Erdbebenfall

Vorlesung: die pseudostatischen horizontalen und vertikalen Kräfte auf den Keil hinter der Wand während eines Erdbebens, der aktive Beiwert nach Mononobe–Okabe, die Gleichgewichtsgrenze, die Wirkungslinie; Auflast und Grundwasser; zu jedem Thema ein Rechenbeispiel.

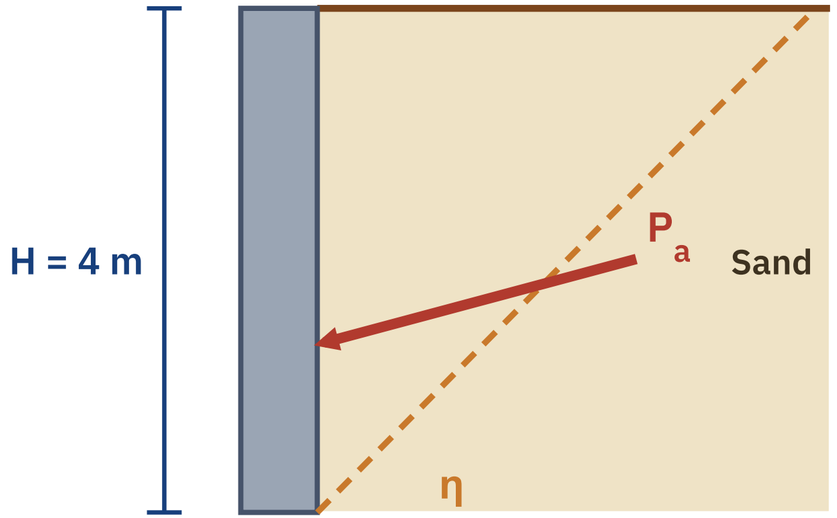
Pseudostatischer Keil

$\psi = \tan^{-1} k_h/(1 - k_v)$

Seed – Whitman

Auflast · Wasser

Gleichgewichtsgrenze



Einführung

Was lernen wir in dieser Vorlesung?

- das Erdbeben durch **pseudostatische** horizontale ($k_h W$) und vertikale ($k_v W$) Kräfte zu erfassen
- **Erdbebenwinkel** ψ und Mononobe–Okabe-Beiwert $\mathbf{K'_a}$; $P_{ae} = ½\gamma H^2(1 - k_v)K'_a$
- **Gleichgewichtsgrenze**: Wird $k_{h,cr} = (1 - k_v) \tan \varphi'$ überschritten, bleibt kein Keil im Gleichgewicht
- Ermittlung der **Lage** der Kraft nach Seed–Whitman: $P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae}$, ΔP_{ae} bei 0.6H
- Auflast und **Grundwasserspiegel** (mit dem Boden mitbewegt oder nicht) zu berücksichtigen
- zu sehen, wie sich die Kraft ändert, wenn sich k_h, k_v und die Geometrie ändern

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

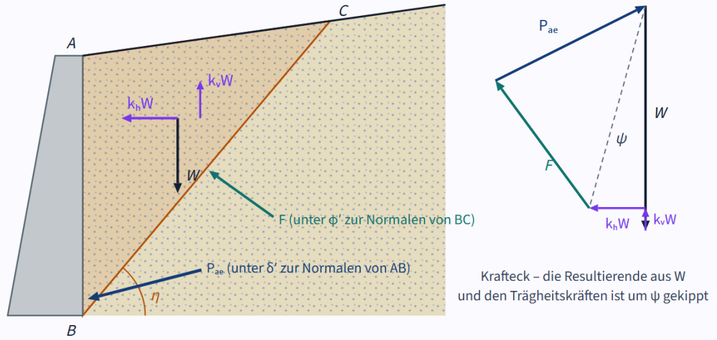
Die Kräfte beziehen sich auf die Längeneinheit der Wand (kN/m); k_h, k_v sind die Verhältnisse der Beschleunigung zu g; k_v ist nach oben positiv.

Okabe (1926) und Mononobe–Matsuo (1929)

THEORIE

Beim Erdbeben wird der Keil hinter der Wand beschleunigt. Das pseudostatische Verfahren erfasst die Erschütterung durch zwei **Kräfte am starren Körper**, die auf den Coulomb-Keil wirken:

- **$k_h W$**: horizontal, zur Wand hin (k_h = horizontale Beschleunigung / g)
- **$k_v W$**: vertikal (hier nach oben; verringert das Gewicht)
- W, F (φ′ geneigt) und P_{ae} (δ′ geneigt) wie bei Coulomb.



Krafteck – die Resultierende aus W und den Trägheitskräften ist um ψ gekippt

Die Summe aus W, $k_h W$ und $k_v W$ ist eine Kraft, die gegenüber der Vertikalen um den seismischen Winkel **ψ** gedreht ist; der seismische Keil ist also ein um ψ gedrehter Coulomb-Keil (Wandfläche θ + ψ, Hinterfüllung α + ψ):

$$\psi = \tan^{-1}\frac{k_h}{1-k_v} \qquad W' = \frac{W(1-k_v)}{\cos\psi}$$

Die aktive Kraft ist wiederum die **größte** der Probekeil.

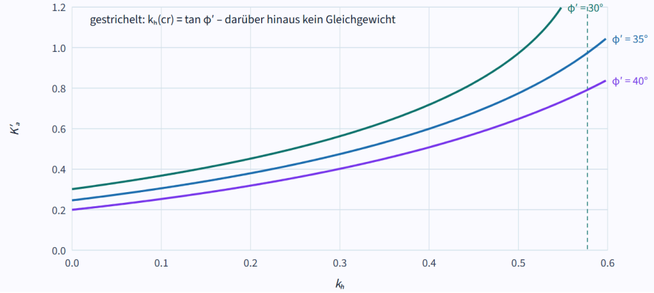
Dynamische aktive Kraft

THEORIE

$$P_{ae} = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 (1 - k_v) K'_a$$

$$K'_a = \frac{\cos^2(\varphi' - \theta - \psi)}{\cos\psi \cos^2\theta \cos(\delta' + \theta + \psi)\left[1 + \sqrt{\dfrac{\sin(\varphi' + \delta')\sin(\varphi' - \alpha - \psi)}{\cos(\delta' + \theta + \psi)\cos(\theta - \alpha)}}\right]^2}$$

k_h	φ′ = 28°	30°	35°	40°	45°
0.1	0.396	0.368	0.306	0.253	0.207
0.2	0.485	0.452	0.380	0.319	0.267
0.3	0.604	0.563	0.474	0.402	0.340
0.4	0.778	0.718	0.599	0.508	0.433
0.5	1.115	0.972	0.774	0.648	0.552



Für $k_h = k_v = 0$ gilt ψ = 0, und K'_a ist das Coulomb-K_a. Tabelle: θ = α = 0, δ′ = φ′/2.

K'_a wächst rasch mit k_h; bei Annäherung an die Grenze wächst es unbegrenzt.

Aufgabe

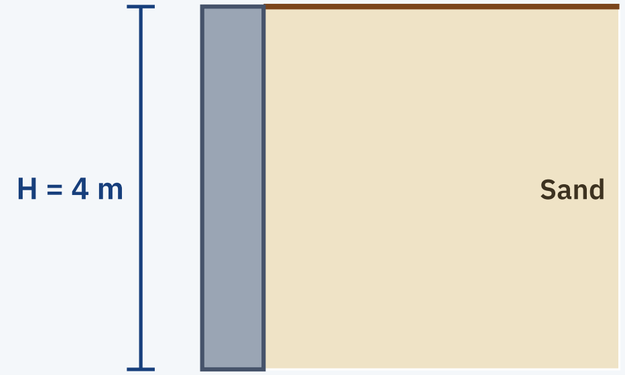
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 4$ **m, vertikal; horizontale Hinterfüllung; keine Auflast**
Baugrund	**trockener Sand:** $\gamma = 15.5\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ,\ \delta' = 15^\circ$
Erdbeben	$k_h = 0.2,\ k_v = 0$

GESUCHT

ψ, **K′a**, **Pae** und der kritische Keil; Vergleich mit dem statischen Coulomb. Das Modul öffnet mit dieser Wand.



γ = 15.5 kN/m³, φ′ = 30°, δ′ = 15°, k_h = 0.2

Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Erdbebenwinkel

$$\psi = \tan^{-1}\frac{0.2}{1-0} = \mathbf{11.31^\circ}$$

2 Mononobe–Okabe-Beiwert (θ = α = 0)

$$\cos^2(30^\circ - 11.31^\circ) = 0.8973 \qquad \cos\psi = 0.9806 \qquad \cos(15^\circ + 11.31^\circ) = 0.8964$$

$$\sqrt{\frac{\sin 45^\circ \sin(30^\circ - 11.31^\circ)}{\cos(15^\circ + 11.31^\circ)}} = \sqrt{0.2528} = 0.5028$$

$$K'_a = \frac{0.8973}{0.9806(0.8964)(1+0.5028)^2} = \mathbf{0.4520}$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

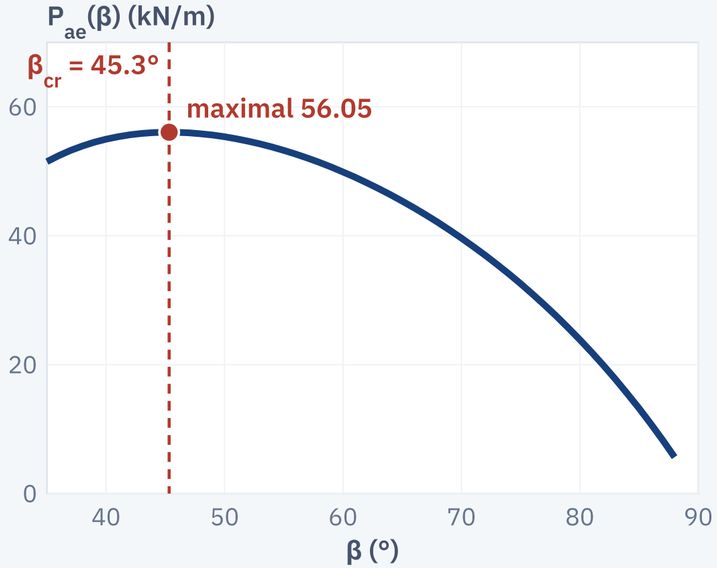
3 Dynamische Kraft

$$P_{ae} = \tfrac{1}{2}\gamma H^2(1-k_v)K'_a$$
$$= \tfrac{1}{2}(15.5)(4)^2(1-0)(0.4520) = \mathbf{56.05}\ \mathrm{kN/m}$$

4 Kritischer Keil (Spitze der Probekeile)

$$\beta_{cr} = \mathbf{45.3}^\circ\ (\text{zur Horizontalen})$$

P_{ae} = **56.05 kN/m**; die statische Coulomb-Kraft (K_a = 0.3014) betrug 37.38 kN/m: die Erdbebenkraft **erhöhte sie um 50 %**. Der kritische Keil bildet mit der Horizontalen 45.3°.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Kritische horizontale Beschleunigung

THEORIE

Der Ausdruck sin(φ′ − α − ψ) unter der Wurzel ist nicht reell, wenn φ′ − α − ψ < 0 gilt: **Kein Keil kann im Gleichgewicht sein**, unabhängig vom Verhalten der Wand. Die Hinterfüllung ist nur unter der folgenden Bedingung standsicher:

$$\alpha \leq \varphi' - \psi$$

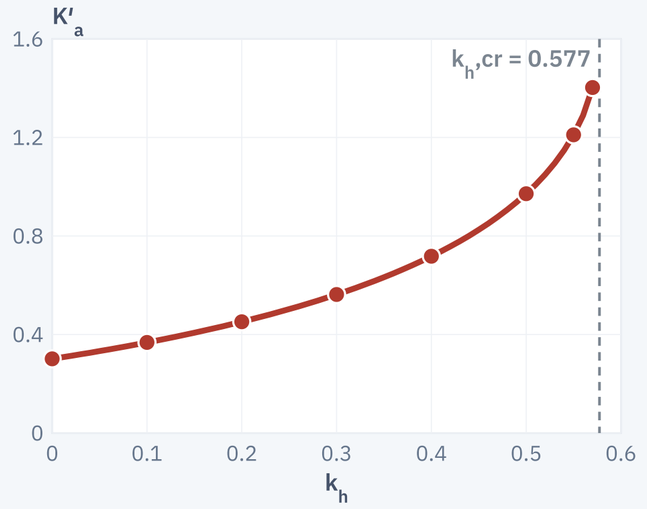
Für eine horizontale Hinterfüllung erfordert dies ψ ≤ φ′, d. h. die horizontale Beschleunigung darf folgenden Wert nicht überschreiten:

$$k_{h(cr)} = (1 - k_v)\tan\varphi' \qquad (\alpha \neq 0 : \ \tan(\varphi' - \alpha))$$

Bei Annäherung an die Grenze wächst K'_a sehr rasch ($k_{h,cr}$ = 0.577 für φ′ = 30°).

Liegt der Beiwert k_h über dem Grenzwert, wird die Berechnung mit einer Meldung abgebrochen.

K'_a – k_h (φ′ = 30°, δ′ = 15°)



Aufgabe

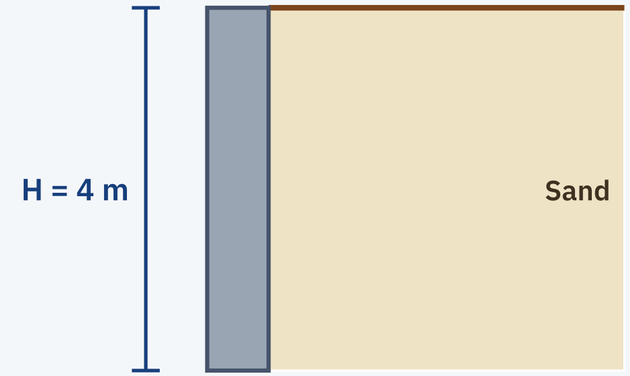
BEISPIEL

Gegeben

Wand und Boden	**Wand in Beispiel 1:** $H = 4\ \mathrm{m}$, $\gamma = 15.5\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$, $k_v = 0$
Variable	$k_h = 0;\ 0.1;\ 0.2;\ 0.3;\ 0.4;\ 0.5;\ 0.55;\ 0.57$

GESUCHT

Für jedes k_h: **ψ**, **K'_a** und **P_{ae}**; das kritische k_h; das Ergebnis für $k_h = 0.6$.

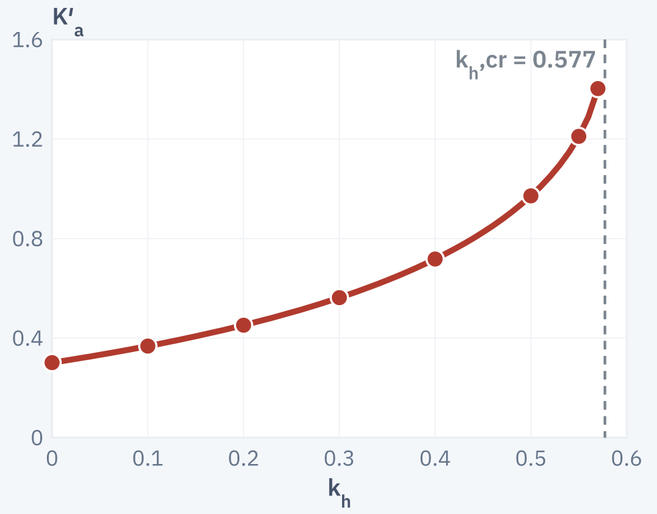


Lösung

LÖSUNG

1 $\psi = \tan^{-1} k_h$; $k_{h,cr} = \tan 30° = 0.577$

k_h	ψ (°)	K'_a	P_{ae} (kN/m)
0.00	0.0	0.301	37.4
0.10	5.7	0.368	45.6
0.20	11.3	0.452	56.1
0.30	16.7	0.563	69.8
0.40	21.8	0.718	89.0
0.50	26.6	0.972	120.5
0.55	28.8	1.211	150.1
0.57	29.7	1.403	174.0



Von $k_h = 0$ bis 0.2 steigt P_{ae} von 37.4 auf 56.1 kN/m (50 %), bei 0.5 beträgt sie 120.5 kN/m (das 3.2-Fache); je mehr sich k_h dem Wert 0.57 nähert, desto unbegrenzt wächst K'_a. **$k_h = 0.6 > 0.577$**: Die Quadratwurzel ist nicht reell, kein Keil befindet sich im Gleichgewicht: Das Modul bricht die Berechnung ab.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

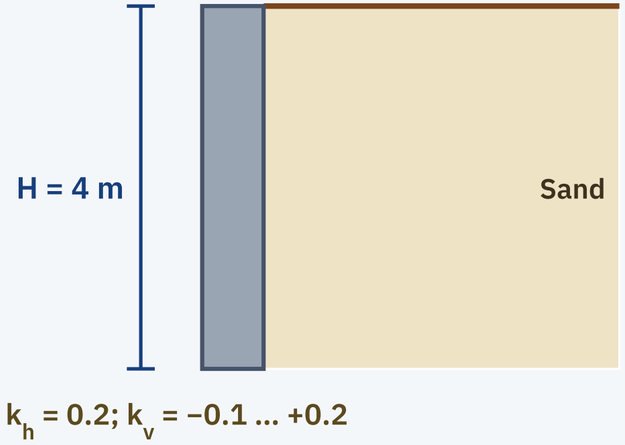
BEISPIEL

GESUCHT

Für jedes k_V: **ψ**, **K'_a**, **$(1 - k_V)$** und **P_{ae}**; welche Richtung ist ungünstiger?

Gegeben

Wand und Boden	**Wand und Baugrund in Beispiel 1;** $k_h = 0.2$
Variable	$k_v = -0.1$ **(nach unten),** 0**,** $+0.1$**,** $+0.2$ **(nach oben)**



Lösung

LÖSUNG

1 $\psi = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$; $P_{ae} = \tfrac{1}{2}\gamma H^2(1 - k_v)K'_a = 124\,(1 - k_v)\,K'_a$

k_v	ψ (°)	K'_a	$1 - k_v$	P_{ae} (kN/m)
-0.1	10.30	0.4351	1.1	59.35
0.0	11.31	0.4520	1.0	56.05
0.1	12.53	0.4739	0.9	52.89
0.2	14.04	0.5032	0.8	49.92

Abwärts gerichtetes k_v (–0.1) erhöht die Kraft auf 59.3 kN/m (+6 %), aufwärts gerichtetes k_v = 0.2 senkt sie auf 49.9 kN/m. Obwohl ψ mit aufwärts gerichtetem k_v zunimmt, überwiegt der Faktor $(1 - k_v)$. In der Praxis wird $k_v = \pm 0.5\,k_h$ mit der Richtung angesetzt, die die größere Kraft ergibt.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Seed und Whitman (1970)

THEORIE

Die Mononobe–Okabe-Analyse liefert den Betrag und die Richtung der Kraft, **aber nicht ihren Angriffspunkt**. Seed und Whitman teilen die Kraft in die statische Coulomb-Kraft und den seismischen Zuwachs auf:

$$P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae}$$

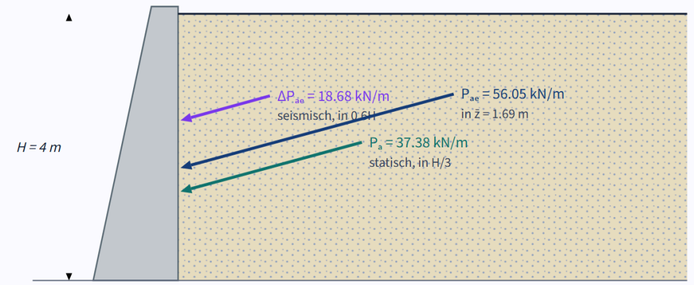
$$\bar{z} = \frac{P_a \dfrac{H}{3} + \Delta P_{ae}\,(0.6H)}{P_{ae}}$$

P_a (mit denselben δ′, θ, α wie ½K_aγH^2) wirkt **H/3** über der Sohle; ΔP_{ae} wirkt bei **0.6H** (das Dreiecksdiagramm ist ein inverses Dreieck, das sich zur Sohle hin verjüngt).

Die Resultierende ist wiederum um δ′ gegenüber der Normalen der Wandfläche geneigt.

Der Zuwachs wird manchmal in halber Höhe angesetzt; 0.6H ergibt ein größeres Kippmoment und wird maßgebend.

STATISCH + SEISMISCHE ZUNAHME



Aufgabe

BEISPIEL

Gegeben

Wand und Erdbeben	**Wand in Beispiel 1:** $H = 4$ **m,** $\gamma = 15.5\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 30°$, $\delta' = 15°$, $k_h = 0.2$

GESUCHT

P_a, ΔP_{ae} und **$\bar{z}$**; $\bar{z}$, wenn ΔP_{ae} in halber Höhe angesetzt wird.

Lösung

LÖSUNG

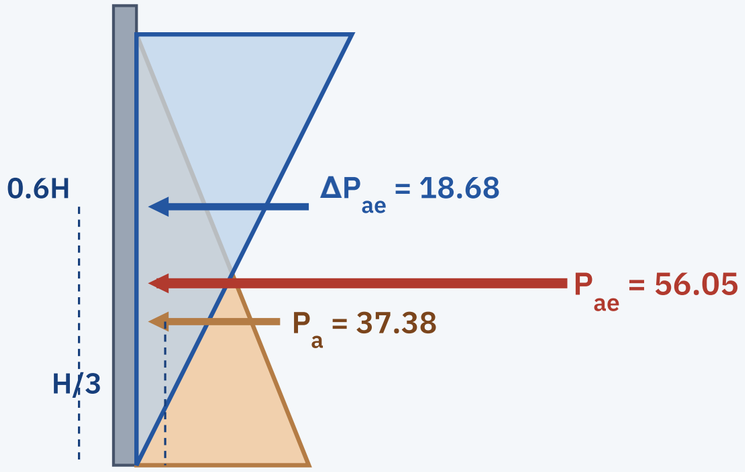
1 Statische Kraft (K_a = 0.3014) und seismischer Zuwachs

$$P_a = \tfrac{1}{2}(15.5)(4)^2(0.3014) = 37.38\ \text{kN/m}$$

$$\Delta P_{ae} = P_{ae} - P_a = 56.05 - 37.38 = \mathbf{18.68}\ \text{kN/m}$$

2 Höhe der Lasteinwirkung (von der Sohle)

$$\bar{z} = \frac{37.38(4/3) + 18.68(2.4)}{56.05} = \mathbf{1.69}\ \text{m}$$



$\bar{z}$ = **1.69 m** (im statischen Fall waren es 1.33 m). Wäre der Zuwachs in halber Höhe (2.0 m) angesetzt worden, ergäbe sich $\bar{z}$ = 1.56 m: die Annahme 0.6H verschiebt die Kraft nach oben und **vergrößert das Kippmoment**.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

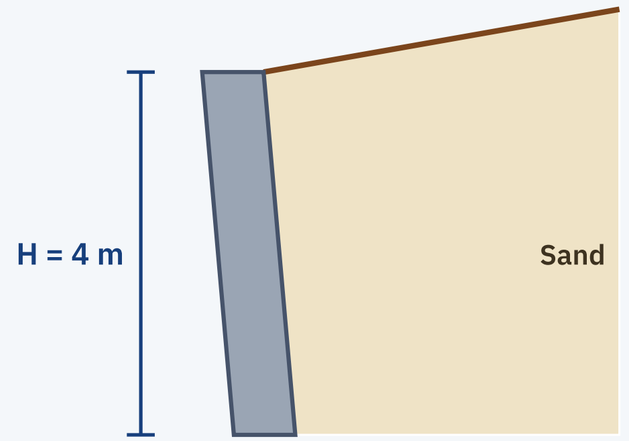
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 4$ **m; Wandfläche um** $\theta = 5^\circ$ **aus der Vertikalen geneigt**
Auffüllung	**Geländeneigung** $\alpha = 10^\circ$**;** $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ,\ \delta' = 15^\circ$
Erdbeben	$k_h = 0.15,\ k_v = 0$

GESUCHT

ψ, **K′$_a$**, **P$_{ae}$**, ΔP$_{ae}$, **z̄**; Nachweis der Gleichgewichtsgrenze.



γ = 15, φ′ = 30°, δ′ = 15°, k$_h$ = 0.15

Lösung

LÖSUNG

1 Seismischer Winkel und Gleichgewichtsgrenze

$$\psi = \tan^{-1} 0.15 = \mathbf{8.53}^\circ \qquad k_{h(cr)} = \tan 20^\circ = 0.364 > 0.15$$

2 Beiwert und Kraft (statisch $K_a = 0.3872$)

$$K'_a(\theta = 5^\circ, \alpha = 10^\circ, \psi = 8.53^\circ) = \mathbf{0.5435}$$

$$P_{ae} = \tfrac{1}{2}(15)(4)^2(0.5435) = \mathbf{65.22}\ \text{kN/m} \qquad P_a = 46.46\ \text{kN/m}$$

3 Höhe des Lastangriffs

$$\Delta P_{ae} = 18.76\ \text{kN/m} \qquad \bar{z} = \frac{46.46(1.33) + 18.76(2.4)}{65.22} = \mathbf{1.64}\ \text{m}$$

P_{ae} = **65.22 kN/m**, 1.64 m über der Sohle; maßgebender Gleitkeil 44.2°; die Erdbebenkraft erhöhte den Wert um 40 %.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Modulerweiterung

THEORIE

Die **Auflast** q wird zusammen mit dem Gewicht jeder Lamelle auch deren Trägheit hinzugefügt; der maßgebende Keil ändert sich nicht:

$$q_e = q\frac{\cos\theta}{\cos(\theta-\alpha)} \qquad P_{ae} = (1-k_v)K'_a\left(\tfrac{1}{2}\gamma H^2 + q_e H\right)$$

Im Grundwasser bewegt sich das Porenwasser mit dem Boden (**behindert**, feinkörnige Hinterfüllung) oder bewegt sich nicht (**frei**, k > 5·10⁻⁴ m/s). Die Trägheit wird von der gesättigten oder trockenen Masse, die Spannung vom Gewicht unter Auftrieb getragen; unter Wasser vergrößert sich der seismische Winkel:

$$\tan\psi_w = \frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat}-\gamma_w}\frac{k_h}{1-k_v}\ \text{(gestützt)} \qquad \tan\psi_w = \frac{\gamma_d}{\gamma_{sat}-\gamma_w}\frac{k_h}{1-k_v}\ \text{(frei)}$$

$$p_{wd} = \tfrac{7}{8}k_h\gamma_w\sqrt{d_w z'} \qquad P_{wd} = \tfrac{7}{12}k_h\gamma_w d_w^2\ (0{,}4\,d_w\ \text{in Höhe, Westergaard})$$

Für freies Wasser wird der hydrodynamische Zusatzdruck nach Westergaard angesetzt. Bei geschichteter Hinterfüllung wird jede Schicht mit ihrem eigenen K'_a zu $\sigma' = (1 - k_V)K'_{a,i}\sigma'_V\cos\theta$ angesetzt; der statische Anteil und ΔP_{ae} (0.6H) werden getrennt summiert.

WARUM IST WASSER WICHTIG?

Wasser vergrößert den seismischen Winkel ($\psi_W > \psi$) und bringt zusätzlich zum hydrostatischen Druck **hydrodynamischen Druck (im freien Zustand)** ein.

Aufgabe

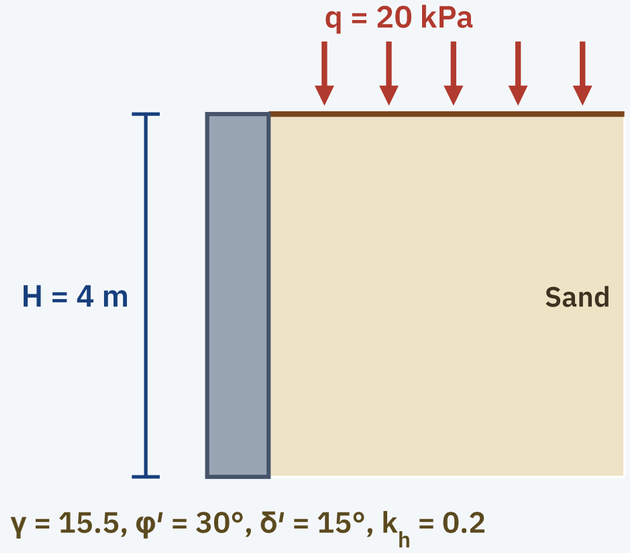
BEISPIEL

Gegeben

Wand und Boden	**Wand und Boden aus Beispiel 1 ($k_h = 0.2$)**
Auflast	**$q = 20$ kPa (auf horizontaler Oberfläche)**

GESUCHT

Gesamtes **P_{ae}**, statischer Anteil, seismischer Zuwachs und **$\bar{z}$**.



Lösung

LÖSUNG

1 Äquivalente Spannung und Kräfte ($K'_a = 0.4520$)

$$q_e = q\cos 0^\circ / \cos 0^\circ = 20\ \text{kPa}$$

$$P_{ae} = K'_a\left(\tfrac{1}{2}\gamma H^2 + q_e H\right) = 0.4520(124 + 80) = 0.4520(204) = \mathbf{92.21}\ \text{kN/m}$$

2 Statischer Anteil (Coulomb $K_a = 0.3014$) und Zuwachs

$$P_a = K_a(204) = 61.49\ \text{kN/m} \qquad \Delta P_{ae} = 30.73\ \text{kN/m}$$

$$\bar{z} = \frac{(37.38)(1.33) + (24.11)(2.0) + (30.73)(2.4)}{92.21} = \mathbf{1.86}\ \text{m}$$

P_{ae} = **92.21 kN/m** (56.05 ohne Auflast); $\bar{z}$ = **1.86 m**. Der statische Anteil der Auflast wirkt in H/2, ihr seismischer Zuwachs in 0.6H.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

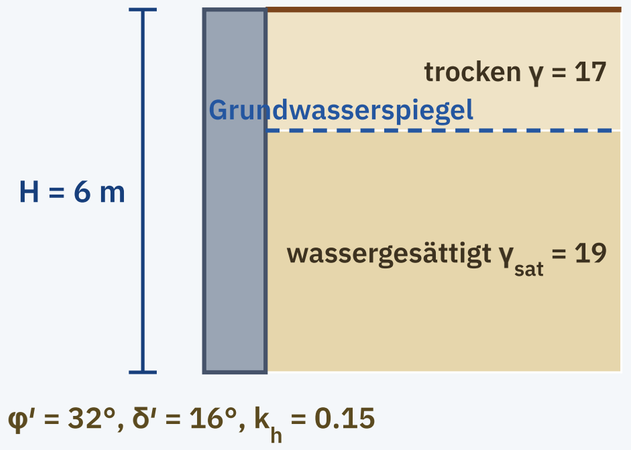
BEISPIEL

Gegeben

Wand	$H = 6$ **m, vertikal; horizontale Hinterfüllung; keine Auflast**
Baugrund	$\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3}$ **(trocken, 0–2 m),** $\gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3}$ **(2–6 m);** $\varphi' = 32°,\ \delta' = 16°$
Erdbeben	$k_h = 0.15$, $k_v = 0$**; Grundwasserspiegel 2 m (dw = 4 m)**

GESUCHT

Die Summe **P** und **z̄** für den Fall, dass das Wasser sich mit dem Boden bewegt (**gebunden**) und dass es sich nicht mitbewegt (**frei**); Vergleich mit dem statischen Wert.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Äquivalente k_h und ψ_w unter Wasser

$$\text{gestützt: } k_{h,w} = \frac{19}{19-9.81}(0.15) = 0.3101 \;\Rightarrow\; \psi_w = 17.23^\circ$$

$$\text{frei: } k_{h,w} = \frac{17}{19-9.81}(0.15) = 0.2775 \;\Rightarrow\; \psi_w = 15.51^\circ$$

2 Beiwerte (trockene Zone ψ = 8.53°)

$$K'_a(\text{trocken}) = 0.3792 \qquad K'_a(\text{eingespannt, unter Auftrieb}) = 0.5372 \qquad K'_a(\text{frei, unter Auftrieb}) = 0.4991$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

3 Kräfte (kN/m); $P_{wd} = (7/12)(0.15)(9.81)(4)^2 = 13.73$ kN/m, $0.4 \cdot d_w = 1.6$ m darüber

	Boden P_{ae}	Hydrostatisches Wasser	Hydrodynamisch (Westergaard)	Gesamt P	$\bar{z}$ (m)
Statisch ($k_h = 0$)	67.74	78.48	–	144.80	1.71
Gespanntes Wasser	125.46	78.48	–	202.06	2.24
Freies Wasser	117.47	78.48	13.73	207.67	2.15

Die gesamte Erdbebenkraft erhöhte sich gegenüber dem statischen Fall um **40 %** (eingespannt) und **43 %** (frei); $\bar{z}$ stieg von 1.71 auf 2.24 m. Im eingespannten Fall ist die Erdkraft größer (ψ_w groß), im freien Fall kommt der hydrodynamische Druck hinzu; die Summen liegen sehr nahe beieinander (202.1 und 207.7 kN/m).

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Umfang der Lösung

THEORIE

Pseudostatisch: Das Erdbeben wird durch konstante k_h, k_v abgebildet; die Abhängigkeit der Beschleunigung von der Zeit und von der Wandbewegung (Newmark-Gleiten, dynamische Analyse) wird nicht erfasst.

Ebener Keil, kohäsionslose trockene Hinterfüllung (Mononobe–Okabe); der geschichtete Fall ist eine Erweiterung des Moduls (eine geschlossene geschichtete Lösung gibt es nicht); bei einer einzelnen Schicht reduziert er sich auf die geschlossene Lösung, bei $k_h = k_v = 0$ auf den geschichteten Coulomb-Fall.

Wasser: gespannt (feinkörnig) oder frei ($k > 5 \cdot 10^{-4}$ m/s); bei freiem Wasser wird der hydrodynamische Druck nach Westergaard addiert.

Angriffspunkt Seed–Whitman: P_a bei H/3, ΔP_{ae} bei 0.6H; das Wasser wirkt mit seinem eigenen Hebelarm.

Für den **passiven** Erddruck siehe das Modul Passiver Erddruck im Erdbebenfall (Subba Rao–Choudhury).

Zusammenfassung

Die wichtigsten Punkte

Pseudostatisch: $k_h W$, $k_v W$; $\psi = \tan^{-1}[k_h/(1 - k_v)]$; der Erdbebenkeil ist der um ψ gedrehte Coulomb-Keil

$P_{ae} = \frac{1}{2}\gamma H^2(1 - k_v)K'_a$; K'_a wächst mit k_h rasch an; für $k_h = k_v = 0$ folgt Coulomb

Gleichgewichtsgrenze: $k_{h,cr} = (1 - k_v)\tan\varphi'$ (bei Neigung $\tan(\varphi' - \alpha)$); wird sie überschritten, existiert keine Lösung

k_v: erhöht die abwärts gerichtete Kraft; in der Praxis wird der ungünstigere Wert von $\pm 0.5 k_h$ gewählt

Lage: $P_{ae} = P_a + \Delta P_{ae}$; P_a bei H/3, ΔP_{ae} bei 0.6H; $\bar{z} = [P_a(H/3) + \Delta P_{ae}(0.6H)]/P_{ae}$

Auflast $q_e = q\cos\theta/\cos(\theta - \alpha)$ wird addiert; unter **Wasser** wächst ψ_w (gebunden: γ_{sat}/γ', frei: γ_d/γ'), und bei freiem Wasser wird der hydrodynamische Druck $(7/12)k_h\gamma_w d_w^2$ addiert

Literatur

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

Mononobe, N. and Matsuo, H. (1929). On the determination of earth pressure during earthquakes. Proceedings, World Engineering Congress, Tokyo, 9, 177–185.

Okabe, S. (1926). General theory of earth pressure. Journal of the Japan Society of Civil Engineering, 12(1).

Seed, H.B. and Whitman, R.V. (1970). Design of earth retaining structures for dynamic loads. Specialty Conference on Lateral Stresses in the Ground and Design of Earth Retaining Structures, ASCE, 103–147.

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

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

HINWEIS

Alle Rechenbeispiele wurden mit der Berechnungsengine des Moduls selbst erzeugt; das Modul liefert dieselben Werte. Das Modul öffnet mit der Wand aus Beispiel 1 (k_h = 0.2, δ' = 15°).

GeoTerva

Geotechnische Berechnungen online

Von der Theorie zur Praxis

Geben Sie Ihre eigene Stützwand, die Erdbebenbeiwerte k_h, k_V, die Auflast, die Schichten und das Grundwasser in GeoTerva ein; das Modul liefert P_{ae}, die Höhe des Angriffspunkts und den maßgebenden Gleitkeil zusammen.

Modul öffnen → | **Theorieseite →**

Auf dem Smartphone öffnen
Die Beispielmodule erfordern keine Registrierung.

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