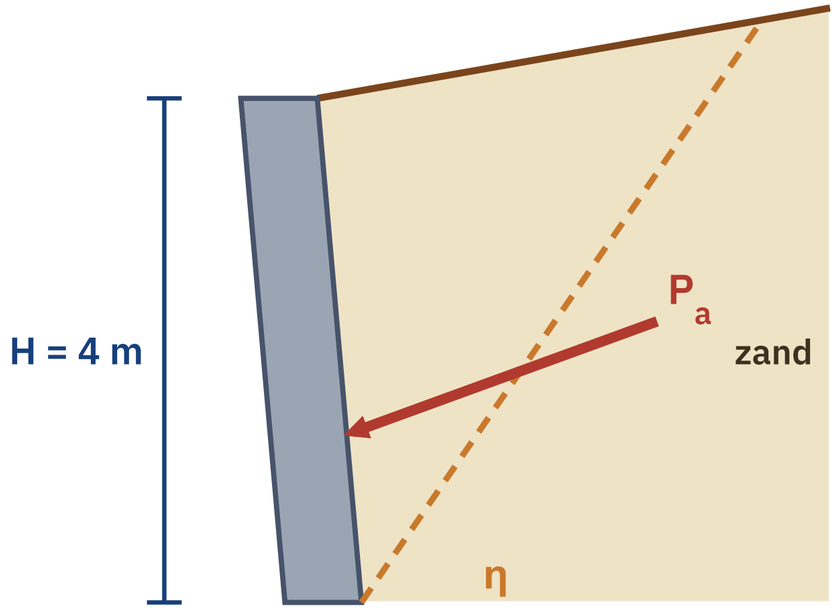
Geotechnisch college · Horizontale gronddruk

# Horizontale gronddruk volgens Coulomb

College: actieve en passieve gronddruk volgens Coulomb voor een vlakke glijwig achter de wand, wandwrijving, een schuin wandvlak en een hellende aanvulling; bovenbelasting, grondwater en gelaagde aanvulling; bij elk onderwerp een rekenvoorbeeld.

Proefwig | Wandwrijving δ′ | Actief en passief | Bovenbelasting · water · laag | Cohesieve laag



# Wat leren we in dit college?

Het idee van de **proefwig** van Coulomb: het evenwicht van de drie krachten (W, F, $P_a$) en de maatgevende wig

Hoe wandwrijving (δ′), de helling van het wandvlak (θ) en de maaiveldhelling (α) de coëfficiënten **$K_a$ en $K_p$** veranderen

Dat de **actieve** kracht de **grootste** van de wiggen is en de **passieve** kracht de **kleinste** van de wiggen

De aangrijpingsplaats van de kracht (H/3), de richting (δ′ ten opzichte van de normaal op het wandoppervlak) en de horizontale – verticale componenten ervan te bepalen

**Bovenbelasting** ($q_e = q \cos\theta / \cos(\theta - \alpha)$), **grondwater** en gelaagde aanvulling

Wanneer de oplossing volgens Coulomb in het passieve geval **onveilig** is

COLLEGESTRUCTUUR

Elk onderwerp wordt in **drie stappen** behandeld:

1 · **Theorie**: wat is de regel, waarom is dat zo?

2 · **Opgave**: gegeven en gevraagd

3 · **Oplossing**: stap voor stap, met getallen

De krachten zijn per eenheid van wandlengte (kN/m); hoeken in graden; θ is de hoek van het wandvlak met de verticaal, α de hoek van de aanvulling met de horizontaal.

# Vlakke wig van Coulomb

THEORIE

Coulomb (1776) beschouwt de grond achter de muur als een **starre wig** die langs een vlak door de hiel glijdt en houdt, anders dan Rankine, rekening met de **wrijving** tussen muur en grond. In een cohesieloze aanvulling werken drie krachten op de proefwig:

**W**: gewicht van de wig

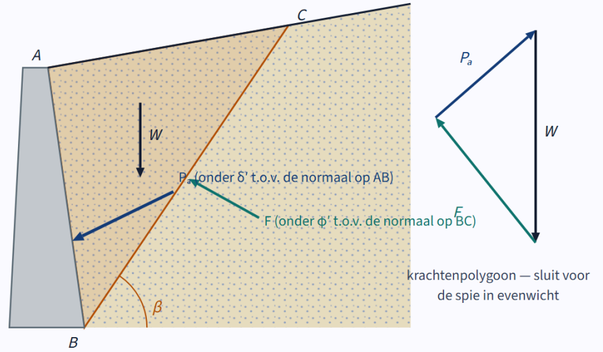
**F**: de resultante op glijvlak BC, onder een hoek φ′ met de normaal op het vlak

**$P_a$**: kracht van de wand, onder een hoek δ′ met de normaal op het wandvlak

Als het vlak een hoek β met de horizontaal maakt, geldt in de krachtenveelhoek de sinusregel:

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

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



# Opgave

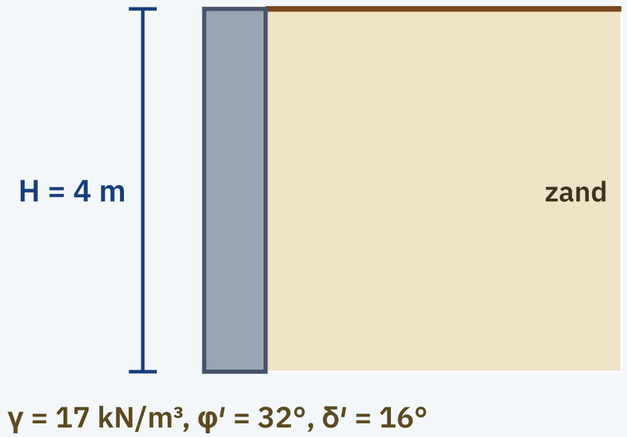
VOORBEELD

## Gegeven

| | |
|---|---|
| Wand | $H = 4$ **m, verticaal** ($\theta = 0$)**;** **aanvullingsoppervlak horizontaal** ($\alpha = 0$) |
| Grond | **droog zand:** $\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 32°$**;** **wandwrijving** $\delta' = 16° = \varphi'/2$ |

## GEVRAAGD

Voor proefvlakken β = 45°, 60° en 75°: **$P_a(\beta)$**; de **grootste** kracht en de bijbehorende hoek β.



# Oplossing

OPLOSSING

**1** Verticale wand, horizontale aanvulling: θ = α = 0 ⇒ $P_a(\beta) = \tfrac{1}{2}\gamma H^2 \cdot \cos\beta \sin(\beta - \varphi') / [\sin\beta \cos(\beta - \varphi' - \delta')]$

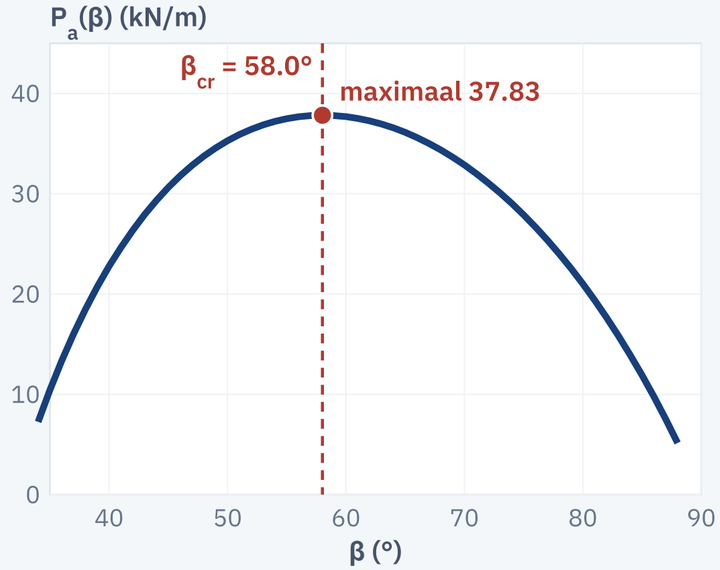
$$\beta = 45^\circ:\ P_a = \mathbf{30.64}\ \mathrm{kN/m} \qquad \beta = 60^\circ:\ P_a = \mathbf{37.69}\ \mathrm{kN/m}$$

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

**2** Grootste proefwig ($dP_a/d\beta = 0$)

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

**De grootste van de proefwiggen, 37.83 kN/m** (β = 58.0°), is de actieve kracht van Coulomb; steilere of vlakkere wiggen vereisen een kleinere kracht. De wand hoeft alleen de maatgevende wig te kunnen keren.




Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

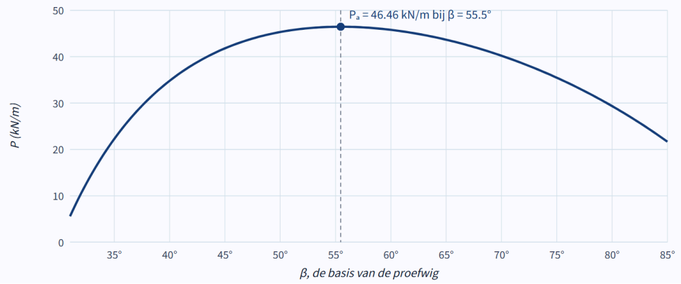
# Actieve coëfficiënt van Coulomb $K_a$

THEORIE

Alleen β was onbekend. De maatgevende wig die de wand moet keren, is het maximum van $P_a(\beta)$ ($dP_a/d\beta = 0$); de oplossing daarvan:

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

| 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 |




De kracht grijpt aan op **H/3** boven de basis, onder een hoek **δ′** ten opzichte van de normaal op het wandvlak; zij maakt een hoek θ + δ′ met de horizontaal.

Rankine voor α = θ = δ′ = 0. Wandwrijving **verkleint** de actieve kracht.

# Opgave

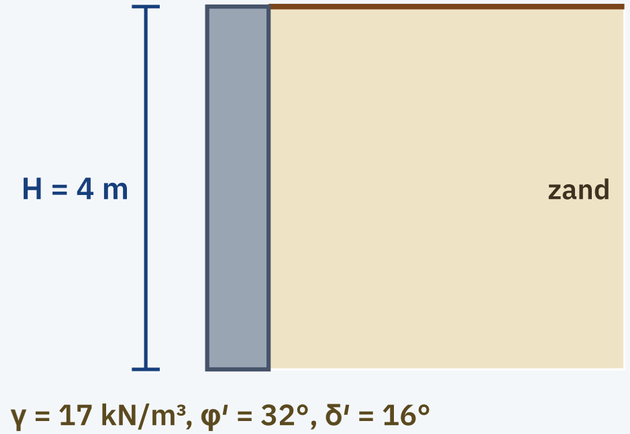
VOORBEELD

## Gegeven

| | |
|---|---|
| Wand en grond | **De wand uit voorbeeld 1:** $H = 4$ m, $\theta = \alpha = 0$; $\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3}$, $\varphi' = 32°$, $\delta' = 16°$ |

## GEVRAAGD

**$K_a$**, **$P_a$**, aangrijpingshoogte, horizontale en verticale component; vergelijking met Rankine.



# Oplossing

OPLOSSING

**1** Coëfficiënt (θ = α = 0)

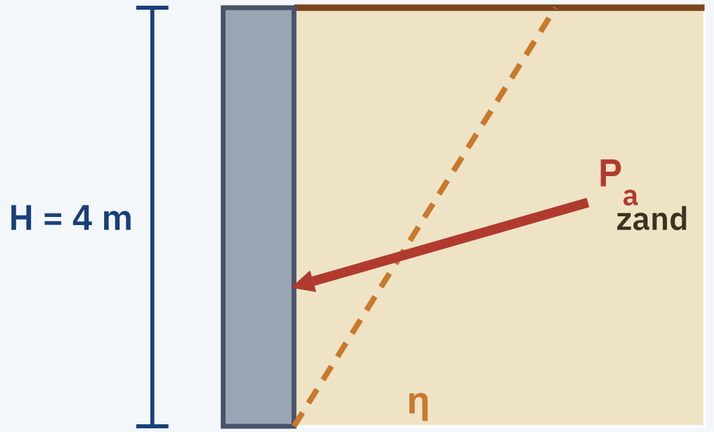
$$\sqrt{\frac{\sin 48^\circ \sin 32^\circ}{\cos 16^\circ}} = 0.6401$$

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

**2** Kracht, aangrijpingspunt en componenten (δ′ = 16° met de horizontaal)

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

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




$P_a$ = **37.83 kN/m**; gelijk aan de grootste van de proefwiggen (Voorbeeld 1). Rankine (δ′ = 0, $K_a$ = 0.3073) zou 41.79 kN/m geven: wandwrijving verminderde de kracht met 9%.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

# Opgave

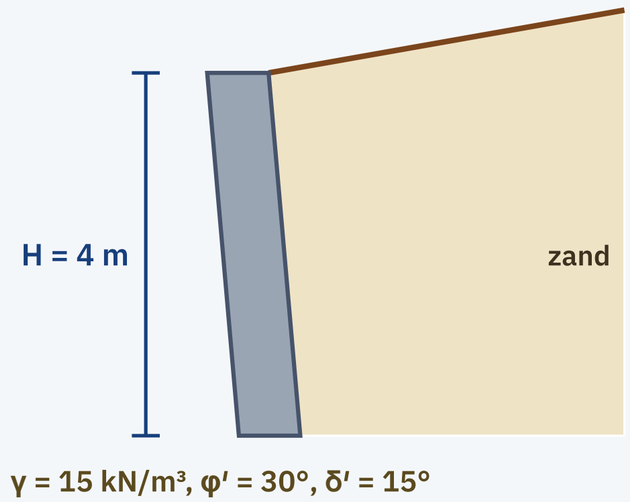
VOORBEELD

## Gegeven

| | |
|---|---|
| Wand | $H = 4$ **m; wand** $\theta = 5^\circ$ **uit het lood** |
| Ophoging | **maaiveldhelling** $\alpha = 10^\circ$**;** $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ$ |
| Wandwrijving | $\delta' = 15^\circ$ **(**$\delta'/\varphi' = \frac{1}{2}$**)** |

## GEVRAAGD

**$K_a$**, **$P_a$**, richting en aangrijpingsplaats; maatgevende wig β. De module opent met deze wand.



# Oplossing (1/2)

OPLOSSING

**1** Teller en wortelterm

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

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

**2** Coëfficiënt

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

# Oplossing (2/2)

OPLOSSING

**3** Kracht en aangrijpingspunt

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

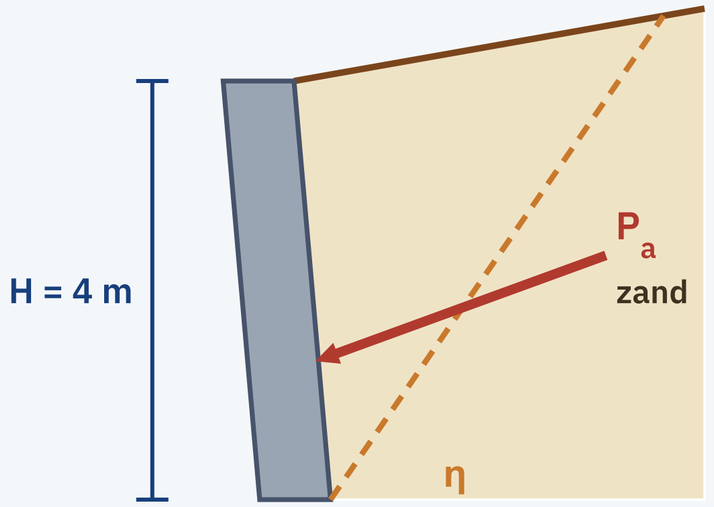
$$\bar{z} = \frac{H}{3} = \mathbf{1.33}\ \mathrm{m}$$

**4** Richting: δ′ = 15° ten opzichte van de normaal, θ + δ′ = 20° ten opzichte van de horizontaal

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

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

$P_a$ = **46.46 kN/m**, 1.33 m boven de basis. De maatgevende wig maakt **β ≈ 55.5°** met de horizontaal (top van de proefwiggen).




Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

# Opgave

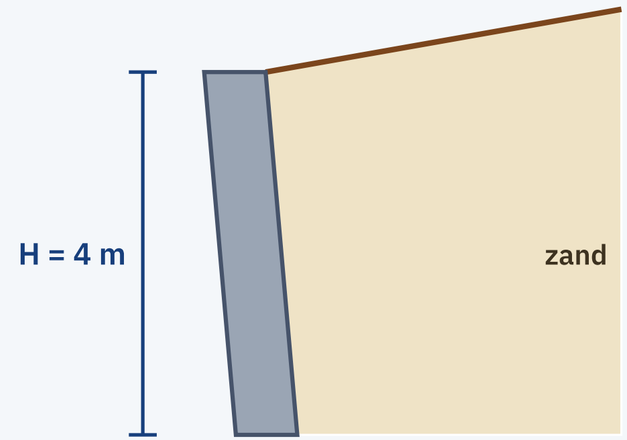
VOORBEELD

**GEVRAAGD**

Voor elke δ′ **$K_a$**; bij welke δ′ is $K_a$ **het kleinst**? Het aanbevolen bereik voor δ′/φ′.

**Gegeven**

| | |
|---|---|
| Wand en aanvulling | **De wand uit Voorbeeld 3: $\theta = 5^\circ,\ \alpha = 10^\circ,\ \varphi' = 30^\circ$; ter vergelijking een verticale wand, horizontale aanvulling ($\theta = \alpha = 0$)** |
| Variabele | $\delta' = 0^\circ,\ 5^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ,\ 25^\circ,\ 30^\circ$ |




α = 10°, θ = 5°, φ′ = 30°

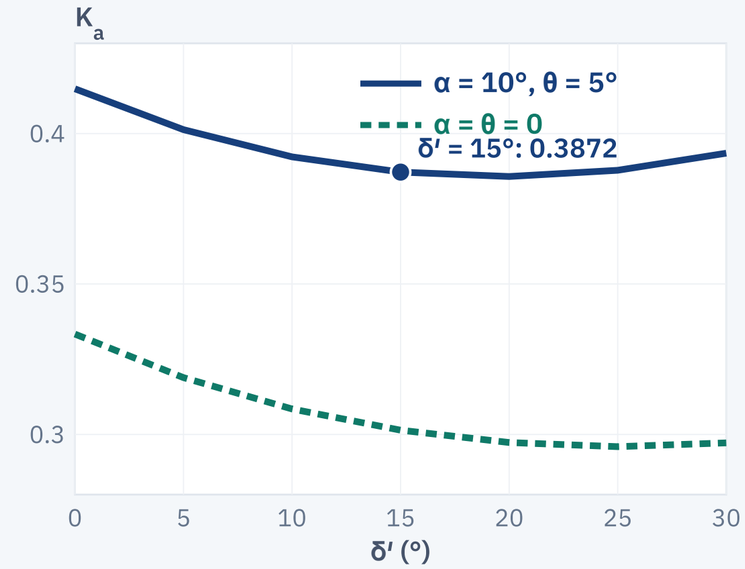
# Oplossing

OPLOSSING

**1** Zeven waarden van δ′ met dezelfde formule

| 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 |

Naarmate δ′ toeneemt, **neemt $K_a$ eerst af** (van 0.415 bij δ′ = 0 tot 0.387 bij 15°), bereikt zij een minimum bij δ′ ≈ 20–25° en **neemt daarna weer toe**. In de praktijk wordt δ′ = (1/2 – 2/3)φ′ aangehouden; δ′ = φ′ aannemen is niet aan de veilige kant, omdat dit afhangt van het naar beneden glijden van de muur ten opzichte van de grond.




Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

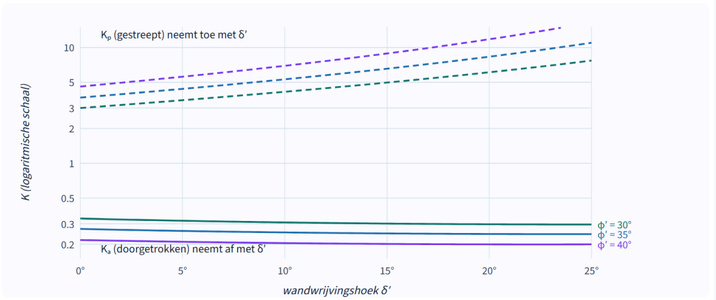
# Passieve coëfficiënt van Coulomb $K_p$

THEORIE

Wanneer de muur in de grond wordt gedrukt, keren de resultante en de normaalkracht op de muur naar de **andere zijde**; de passieve kracht is de **kleinste** van de proefwiggen:

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

| 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 |




Wandwrijving **verhoogt de passieve kracht snel** (φ′ = 30°: $K_p$ stijgt van 3.00 naar 6.11 voor δ′ = 0 → 20°).

Voor grote δ′ geeft de vlakke wig **meer dan** de passieve weerstand (onveilig): module met logaritmische spiraal.

# Opgave

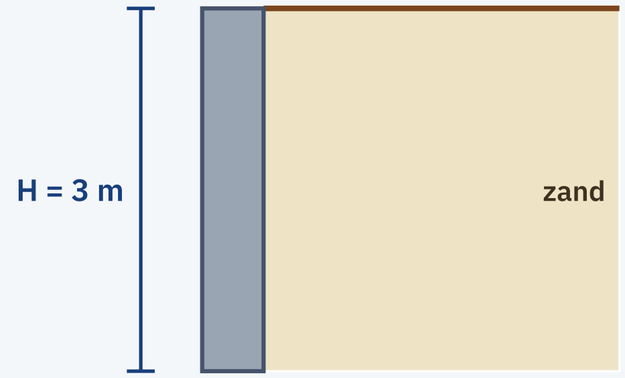
VOORBEELD

## Gegeven

| | |
|---|---|
| Wand | $H = 3$ **m, verticaal; horizontale aanvulling** |
| Grond | **droog zand:** $\gamma = 15.7\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30^\circ$ |
| Wandwrijving | $\delta' = 0^\circ,\ 10^\circ,\ 15^\circ,\ 20^\circ$ |

## GEVRAAGD

Voor elke δ′: **$K_p$**, **$P_p$** en hun componenten; voor δ′ = 15° een vergelijking met oplossingen voor een gebogen oppervlak (302–326 kN/m).




γ = 15.7 kN/m³, φ′ = 30° (passief)

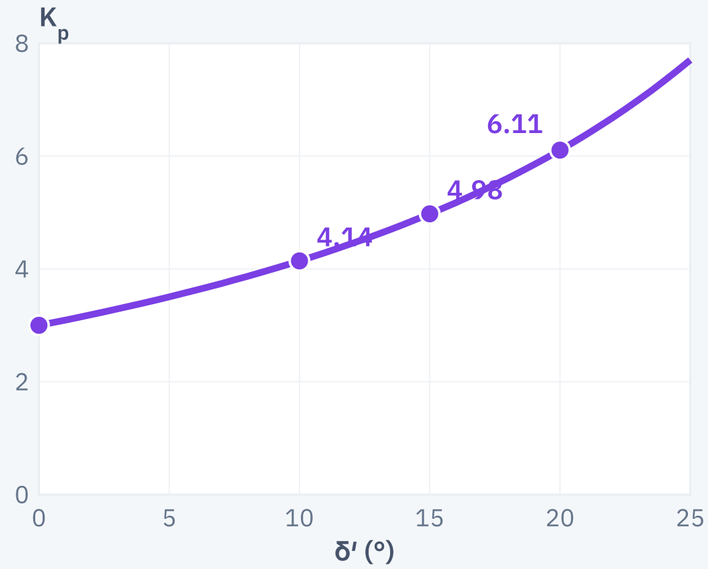
# Oplossing

OPLOSSING

**1** Formule voor $K_p$, $P_p = ½K_p\gamma H^2 = ½K_p(15.7)(9) = 70.65\ K_p$

| δ′ | $K_p$ | $P_p$ (kN/m) | $P_h$ | $P_v$ | β (kritische wig) |
|---|---|---|---|---|---|
| 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° |

van δ′ = 0 tot 20° gaat $P_p$ van 212.0 naar 431.3 kN/m: een toename tot **2.0 keer**. Bij δ′ = 15° geeft Coulomb 351.6 kN/m; oplossingen met een gebogen oppervlak liggen in het bereik 302–326 kN/m, dat wil zeggen dat de passieve druk met vlakke wig ongeveer **8 %** te hoog wordt gevonden (onveilig).




Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

# Moduulextensie van de oplossing van Coulomb

THEORIE

**Bovenbelasting q** (verticaal, per eenheid van oppervlak van het hellende maaiveld) wordt aan het gewicht van elke proefwig toegevoegd in dezelfde verhouding als de grond; de maatgevende wig en $K_a$ veranderen niet. De equivalente spanning per verticale eenheid van diepte:

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

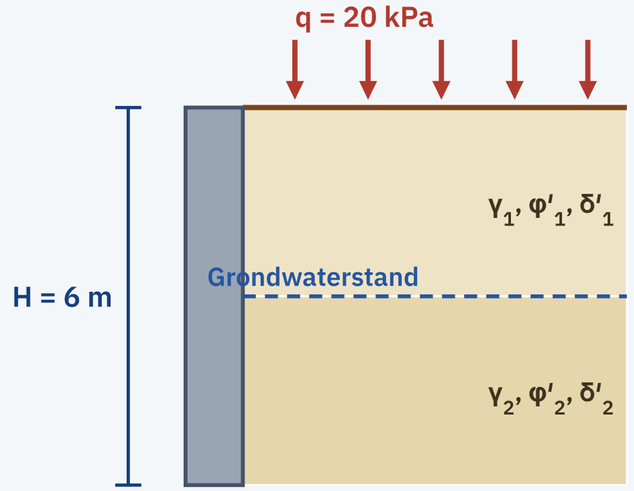
Het eerste deel ligt H/3 boven de zool, het tweede deel H/2. **In gelaagde aanvulling** (grenzen horizontaal, dikten verticaal gemeten vanaf de top A van het wandvlak) krijgt elke laag zijn eigen coëfficiënt $K_i$ met zijn eigen γ, φ′ en δ′:

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

σ′ grijpt aan op de eenheidslengte van het wandvlak, onder de hoek δ′ van de laag ten opzichte van de normaal; K springt op een grens waar die verandert.

**Grondwater** (horizontaal, $z_w$) daaronder: $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$; $u = \gamma_w(z - z_w)$ wordt **loodrecht** op de wand opgeteld. De krachten worden ontbonden in componenten loodrecht (N) en evenwijdig (T) aan het wandvlak en gesommeerd: $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$.

## GELAAGDE OPHOGING EN WATER



# Opgave

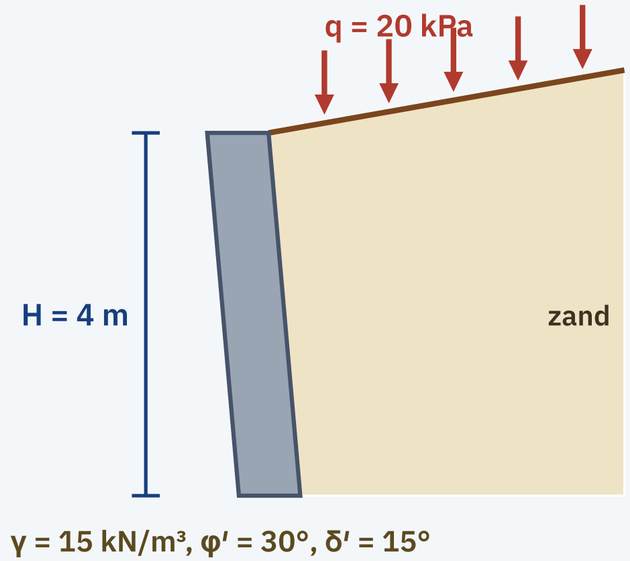
VOORBEELD

## Gegeven

| | |
|---|---|
| Wand en grond | **De wand uit voorbeeld 3:** $H = 4$ **m,** $\theta = 5°,\ \alpha = 10°$**;** $\gamma = 15\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$ |
| Bovenbelasting | **gelijkmatig verdeelde** $q = 20$ **kPa op een hellend oppervlak (loodrecht op het oppervlak)** |

## GEVRAAGD

$q_e$, totale $P_a$ en de hoogte waarop deze aangrijpt; het aandeel van de bovenbelasting.



# Oplossing

OPLOSSING

**1** Equivalente verticale spanning

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

**2** Grond- en bovenbelastingskrachten ($K_a = 0.3872$)

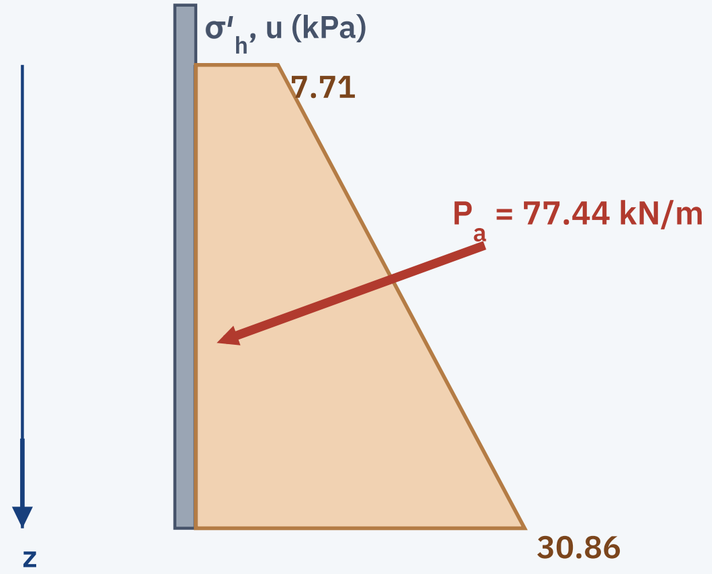
$$P_\gamma = \tfrac{1}{2}K_a\gamma H^2 = 46.46\ \text{kN/m}\ \ (H/3 = 1.33\ \text{m})$$

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

**3** Totaal en aangrijpingspunt

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

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




De bovenbelasting verhoogde de kracht met 67% ($P_a$ = 77.44 kN/m); het aangrijpingspunt steeg van 1.33 m naar **1.60 m**.

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

# Opgave

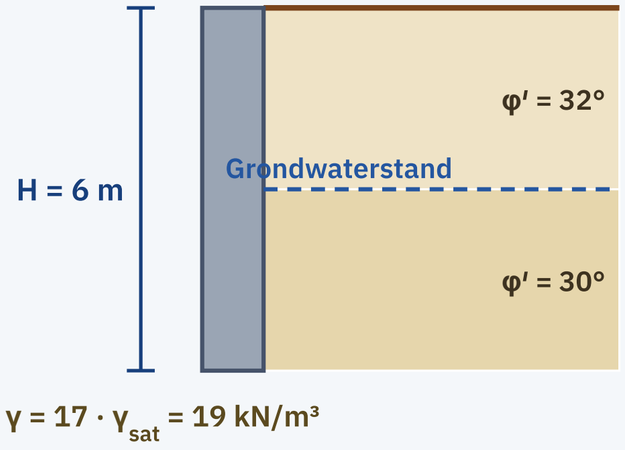
VOORBEELD

## Gegeven

| | |
|---|---|
| Wand | $H = 6$ **m, verticaal; horizontale aanvulling; geen bovenbelasting** |
| Laag 1 (0–3 m) | $\gamma = 17\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 32°,\ \delta' = 16°$ |
| Laag 2 (3–6 m) | $\gamma_{sat} = 19\ \mathrm{kN/m^3},\ \varphi' = 30°,\ \delta' = 15°$ |
| Grondwaterstand | **op 3 m diepte** |

## GEVRAAGD

Drukken in elke laag; grond- en waterkrachten; **P**, β en aangrijpingshoogte.



# Oplossing (1/2)

OPLOSSING

**1** Coëfficiënten

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

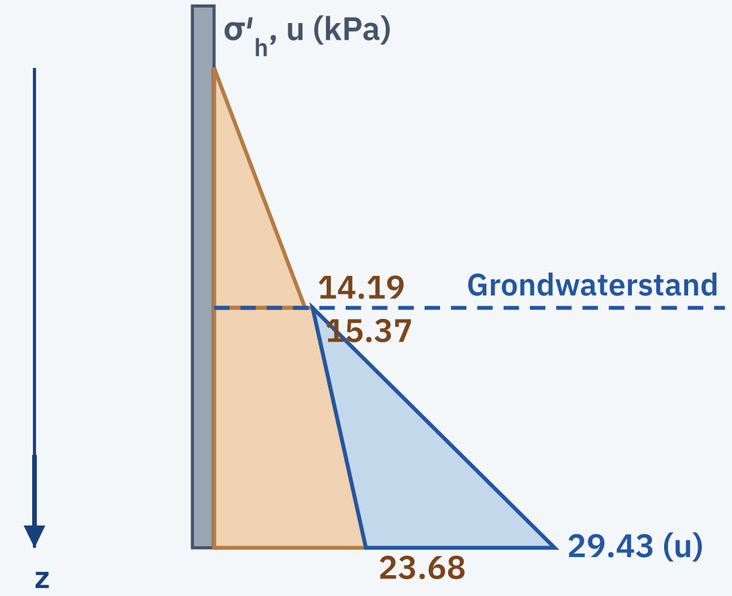
**2** Spanningen: $\sigma'_v(3) = 17(3) = 51$; $\sigma'_v(6) = 51 + 3(19 - 9.81) = 78.57$ kPa

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

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

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

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



# Oplossing (2/2)

OPLOSSING

**3** Grondkrachten (werkend op het wandvlak, elke laag met eigen δ′): driehoek · rechthoek · driehoek

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

$$P_w = \tfrac{1}{2}(29.43)(3) = 44.14\ \text{kN/m (loodrecht op de wand)}$$

**4** Componenten, resultante en aangrijpingspunt

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

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

De resultante is **123.00 kN/m** (grond 79.86 + water 44.14), 1.69 m boven de basis. De waterkracht bedraagt 55% van die van de grond; op de grens springt p van 14.19 naar 15.37 kPa (K verandert).

Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

# Opgave

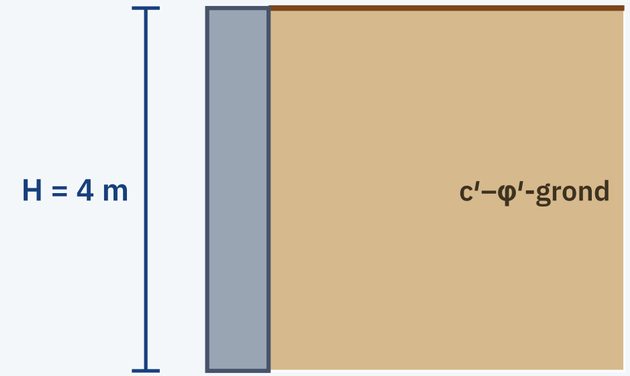
VOORBEELD

**GEVRAAGD**

**$K_a$**, trekscheurtdiepte $z_0$, **$P_a$** met en zonder scheur; vergelijking met Rankine.

**Gegeven**

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




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

# Oplossing (1/2)

OPLOSSING

**1** Coulomb-coëfficiënt en cohesieterm (kleef wordt verwaarloosd)

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

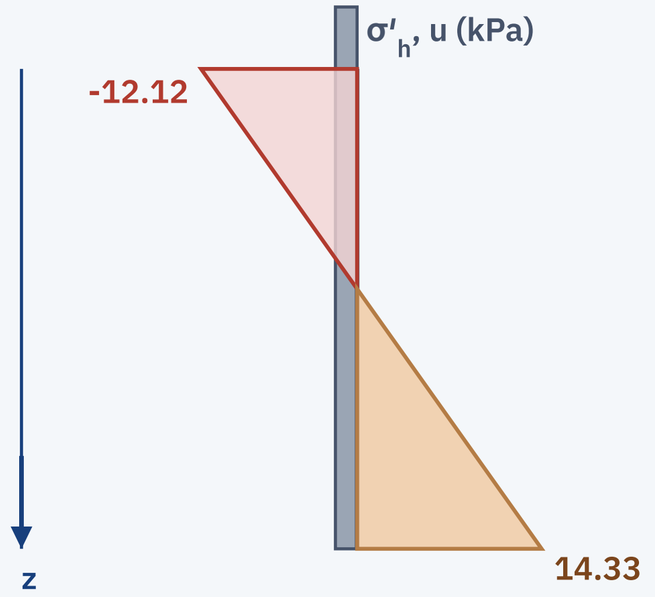
$$2c'\sqrt{K_a} = 2(10)(0.6061) = 12.12\ \text{kPa}$$

**2** Bovenaan, aan de basis en op de trekdiepte

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

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

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



# Oplossing (2/2)

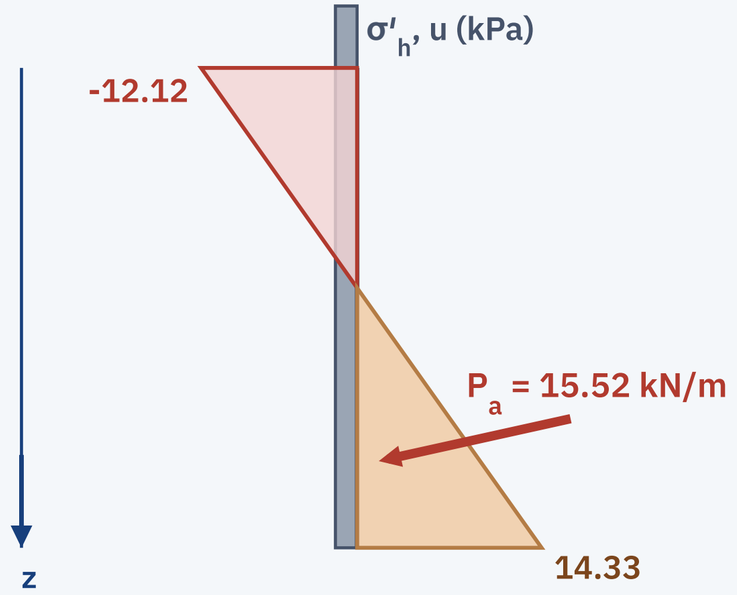
OPLOSSING

**3** Gescheurde kracht (alleen positieve driehoek)

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

$$\text{zonder scheur: } P_a = 4.41\ \mathrm{kN/m}$$

Gescheurd $P_a$ = **15.52 kN/m**; ongescheurd (inclusief de negatieve zone) 4.41 kN/m: wordt de trekzone meegerekend, dan valt de kracht zeer klein uit omdat deze klein is. Rankine (δ′ = 0) zou 18.59 kN/m geven.




Controleer de oplossing in GeoTerva ↗

# Toepassingsgebied van de oplossing van Coulomb

THEORIE

**Het glijvlak is vlak.** Bij actief is dit een goede benadering van het werkelijke oppervlak; bij passief wijkt het bij grote δ′ af van het gebogen oppervlak en wordt de weerstand **groter dan hij is** gevonden (let op bij δ′ > φ′/3; module met logaritmische spiraal).

**Wandwrijving** δ′ is een invoergegeven: deze hangt af van het wandmateriaal en van de beweging van de grond ten opzichte van de wand; ruwe aannamen zijn δ′ = (1/2 – 2/3)φ′ (beton–zand).

**Samenhangende laag**: de cohesieterm wordt in de vorm van Rankine genomen met de Coulomb-K-waarde van de laag; de hechting tussen wand en grond wordt verwaarloosd; de trekzone wordt door middel van een scheur buiten beschouwing gelaten.

De **gelaagde oplossing** is de technische uitbreiding van de module (in de literatuur bestaat geen gesloten gelaagde Coulomb-oplossing); bij één laag reduceert zij tot de gesloten oplossing, en bij δ′ = 0 en een horizontale aanvulling tot Rankine.

De **aardbeving** zit in de module Mononobe–Okabe; Coulomb is de statische oplossing.

Samenvatting

# Belangrijkste punten

**Wig**: W, F (onder $\varphi'$ met de normaal), P (onder $\delta'$ met de normaal); $P_a(\beta)$ met de sinusregel; **actief = grootste** wig, **passief = kleinste** wig

$\mathbf{K_a} = \cos^2(\varphi' - \theta) / \{\cos^2\theta \cos(\delta' + \theta)[1 + \sqrt{(\ldots)}]^2\}$; de kracht grijpt aan op H/3 vanaf de basis, onder $\theta + \delta'$ met de horizontaal; voor $\delta' = 0$ en een rechte geometrie geldt Rankine

**Wandwrijving** verlaagt de actieve kracht (tot $\delta' \approx 2\varphi'/3$) en verhoogt de passieve kracht snel; bij grote $\delta'$ is de vlakke wig in de passieve toestand onveilig

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

**Gelaagd + water**: $\sigma' = K_i\sigma'_v\cos\theta$, een sprong aan de laaggrens; u loodrecht op de wand; $P = \sqrt{(N^2 + T^2)}$, $\beta = \tan^{-1}(T/N)$

**Samenhangende laag**: $\sigma' = K\sigma'_v - 2c'\sqrt{K}$, de negatieve zone bij een trekscheur wordt buiten beschouwing gelaten

# Literatuur

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 — a surcharge on a sloping backfill.

**OPMERKING**

Alle rekenvoorbeelden zijn gegenereerd met de eigen berekeningsmotor van de module; de module geeft dezelfde waarden. De module opent met de keermuur van Voorbeeld 3 ($\theta = 5°$, $\alpha = 10°$, $\delta' = 15°$).

GeoTerva

Online geotechnische berekeningen

# Van theorie naar praktijk

Voer de helling van uw eigen keermuur, de helling van de aanvulling, de wrijving, de lagen, de bovenbelasting en de grondwaterstand in GeoTerva in; de module geeft de kracht, de richting en de aangrijpingshoogte ervan samen.

Module openen →

Theoriepagina →

**Openen op de smartphone**

Proefmodules vereisen geen registratie.

Wilt u ze in uw colleges gebruiken: info@geoterva.com