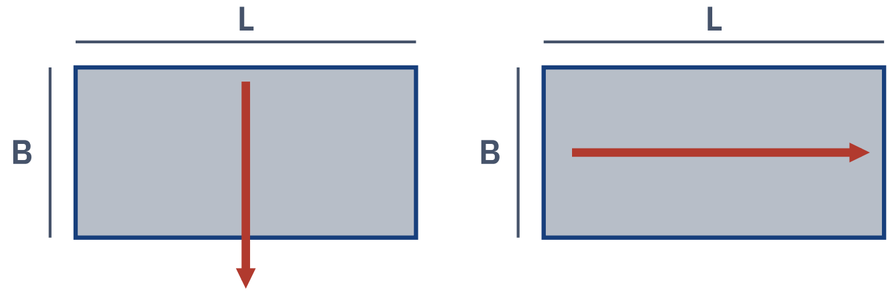
Geotechnische Vorlesungspräsentation · Fundamente

Tragfähigkeitsgleichung nach Vesic

Vorlesung: Die von Vesic übernommenen Beiwerte und sein eigener Beitrag: der Neigungsexponent, der die Fundamentform und die Lastrichtung berücksichtigt, die Sohlneigung und die Geländeneigung; zu jedem Thema ein Rechenbeispiel.

- Geländeneigungsbeiwert m
- Geneigte Last
- Sohlneigung
- Geländeneigung
- Überschneidung mit Meyerhof
- Rechenbeispiele



Last parallel zu B
$m = m_B = 1{,}667$

Last parallel zu L
$m = m_L = 1{,}333$

Einführung

Was lernen wir in dieser Vorlesung?

- **Die Beiwerte der Gleichung nach Vesic** danach zu unterscheiden, welche übernommen und welche **eigene** sind
- Die Berechnung des **Exponenten m** in den Neigungsbeiwerten in Abhängigkeit vom B/L-Verhältnis des Fundaments und der Lastrichtung
- **Neigungsbeiwerte** mit den tatsächlichen Lasten h und v zu ermitteln und die Gleitgrenzen nachzuweisen
- Die Beiwerte für **Sohlneigung** und **Geländeneigung** (Formen nach Vesic) anzuwenden; Vergleich mit denen nach Hansen
- Wie die undränierte Form ($\varphi = 0$) und die Grundwasserverhältnisse zu behandeln sind
- Zu sehen, dass die Gleichung ohne Lastneigung, Sohlneigung und Geländeneigung in die **allgemeine Gleichung nach Meyerhof** übergeht

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

Beispielfundament, das beim Öffnen des Moduls geladene Modell: 1.2 m × 1.2 m quadratisches Fundament in Sand, D_f = 1 m, Grundwasserspiegel 0.5 m, c = 0, φ' = 32°.

Angesetzte und eigene Beiwerte

THEORIE

Die Gleichung nach Vesic ist **vom gleichen Aufbau** wie die Gleichung nach Hansen: Form-, Tiefen-, Lastneigungs-, Sohlneigungs- und Geländeneigungsbeiwerte in jedem Term:

$$\begin{aligned} q_u = {} & c\, N_c\, F_{cs} F_{cd}\, i_c b_c g_c \\ & + q\, N_q\, F_{qs} F_{qd}\, i_q b_q g_q \\ & + \tfrac{1}{2} \gamma B\, N_\gamma\, F_{\gamma s} F_{\gamma d}\, i_\gamma b_\gamma g_\gamma \end{aligned}$$

Vesic **hat nicht alles neu hergeleitet**: Er übernahm **De Beers Formbeiwerte** und **Hansens Tiefenbeiwerte** unverändert; N_γ ist ebenfalls seine geschlossene Form: $N_\gamma = 2(N_q + 1) \tan \varphi$.

Eigener Beitrag: die Neigungsbeiwerte (der Exponent hängt von der Fundamentform und der Lastrichtung ab), die Sohlneigungs- und die Geländeneigungsbeiwerte.

Ohne Neigung, Sohlneigung und Geländeneigung (die Standardwerte des Moduls) wird i = b = g = 1, und die Gleichung ist **genau dieselbe wie die allgemeine Gleichung nach Meyerhof**.

HERKUNFT DER BEIWERTE

Beiwert	Quelle
N_c, N_q	Prandtl, Reissner
N_γ	Vesic
F_s (Abbildung)	De Beer
F_d (Tiefe)	Hansen
i (Neigung)	**Vesic**
b (Sohlneigung)	**Vesic**
g (Geländeneigung)	**Vesic**

Aufgabe

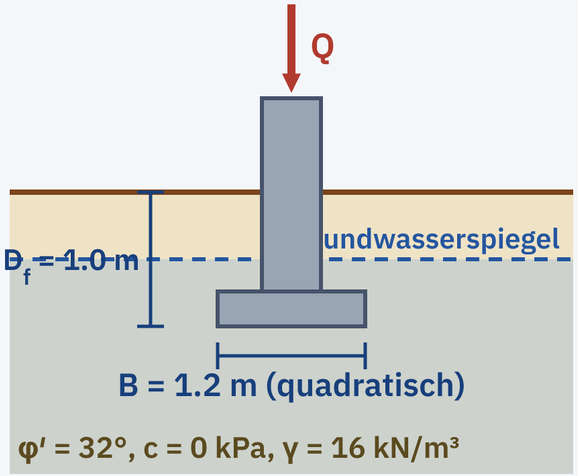
BEISPIEL

Gegeben

Fundament	**quadratisch, B = L = 1.2 m, Einbindetiefe D_f = 1.0 m**
Baugrund	**Sand:** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Wichte	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(oben),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(unter dem Grundwasserspiegel)**
Last	**vertikal, mittig**

GESUCHT

Bestimmen Sie die Werte von N_c, N_q, N_γ sowie F_{cs}, F_{qs}, $F_{\gamma s}$ und F_{qd}, F_{cd}.



Lösung

LÖSUNG

1 Tragfähigkeitsbeiwerte (φ′ = 32°, tan 32° = 0.6249)

$$N_q = e^{\pi \tan 32^\circ} \tan^2(61^\circ) = 23.18 \qquad N_c = \frac{23.18 - 1}{0.6249} = 35.49$$

$$N_\gamma = 2(23.18 + 1)(0.6249) = \mathbf{30.21}$$

2 Formbeiwerte (De Beer; B/L = 1)

$$F_{cs} = 1 + \frac{23.18}{35.49} = \mathbf{1.653} \qquad F_{qs} = 1 + \tan 32^\circ = \mathbf{1.625} \qquad F_{\gamma s} = 1 - 0.4 = \mathbf{0.600}$$

3 Tiefenbeiwerte (Hansen; D_f/B = 1.0/1.2 = 0.833 ≤ 1)

$$F_{qd} = 1 + 2(0.6249)(0.2210)(0.833) = \mathbf{1.230} \qquad F_{cd} = F_{qd} - \frac{1 - F_{qd}}{N_c \tan \varphi} = \mathbf{1.241}$$

Identisch mit den Beiwerten in der Darstellung von Meyerhof: Vesic hat sie nicht geändert.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Ein Exponent, der die Fundamentform und die Lastrichtung berücksichtigt

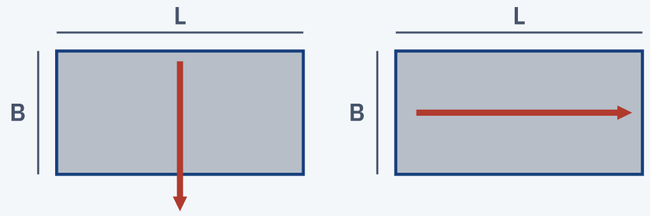
THEORIE

Bei Meyerhofs Lastneigungsbeiwerten ist der Exponent konstant (2), bei denen von Hansen ebenfalls (5). Die Beiwerte von Vesic hängen vom **Verhältnis B/L** des Fundaments und davon ab, **zu welcher Kante** die Horizontallast **parallel** ist:

$$m_B = \frac{2 + B/L}{1 + B/L} \quad (h \parallel B) \qquad m_L = \frac{2 + L/B}{1 + L/B} \quad (h \parallel L)$$

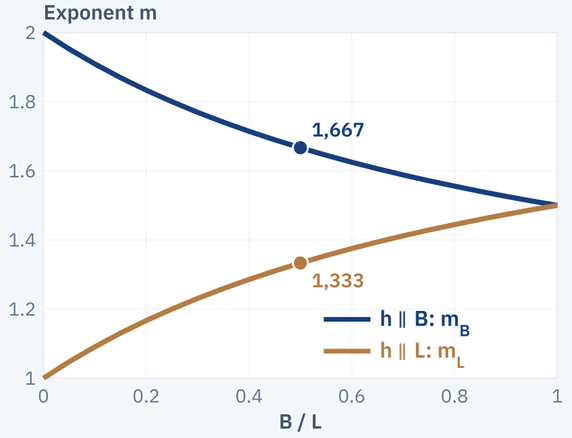
Streifenfundament (B/L → 0): **m_B = 2**, **m_L = 1**. Bei einem quadratischen Fundament sind beide Richtungen gleich: m = 1.5.

Wenn dasselbe Rechteckfundament in zwei Richtungen belastet wird, ist m unterschiedlich: **bei Last parallel zur kurzen Seite ist der Exponent größer**, und die Beiwerte nehmen schneller ab. Keines der anderen Verfahren in diesem Abschnitt trifft diese Unterscheidung.



Last parallel zu B
m = m_B = 1,667

Last parallel zu L
m = m_L = 1,333



Aufgabe

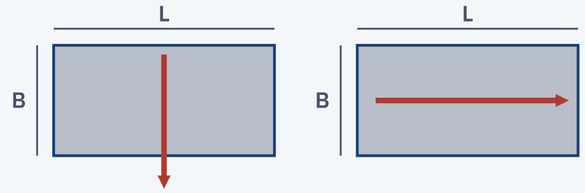
BEISPIEL

Gegeben

Fundamente	**(a) quadratisch 1.2 × 1.2 m · (b) Streifen · (c) Rechteck 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5)**
Last	**horizontale Komponente parallel zu B und parallel zu L**

GESUCHT

Ermitteln Sie den Wert **m** für jedes Fundament und jede Richtung.



Last parallel zu B
$m = m_B = 1{,}667$

Last parallel zu L
$m = m_L = 1{,}333$

Lösung

LÖSUNG

1 (a) quadratisch (B/L = 1) und (b) Streifen (B/L → 0)

$$(\text{a}):\ m = \frac{2+1}{1+1} = \mathbf{1.500}\ \ (\text{in zwei Richtungen})$$

$$(\text{b}):\ m_B = \frac{2+0}{1+0} = \mathbf{2.000}, \quad m_L = \mathbf{1.000}$$

2 (c) Rechteck 1.2 × 2.4 m (B/L = 0.5; L/B = 2)

$$m_B = \frac{2+0.5}{1+0.5} = \mathbf{1.667} \qquad m_L = \frac{2+2}{1+2} = \mathbf{1.333}$$

Bei demselben Rechteckfundament ergibt sich m = 1.667, wenn die Last parallel zur kurzen Seite wirkt, und 1.333, wenn sie parallel zur langen Seite wirkt. Wirkt die Last in Richtung der kurzen Seite, so nimmt der Lastneigungsbeiwert $(1 - x)^m$ schneller ab: Diese Richtung ist **ungünstiger**.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Vesic: $(1 - h/(v + c \cot \varphi))^m$

THEORIE

h = H/A und v = V/A sind, in derselben Form wie bei Hansen, die Pressungen **desselben Lastfalls** (v = q_{app}; bei h > 0 ist q_{app} erforderlich):

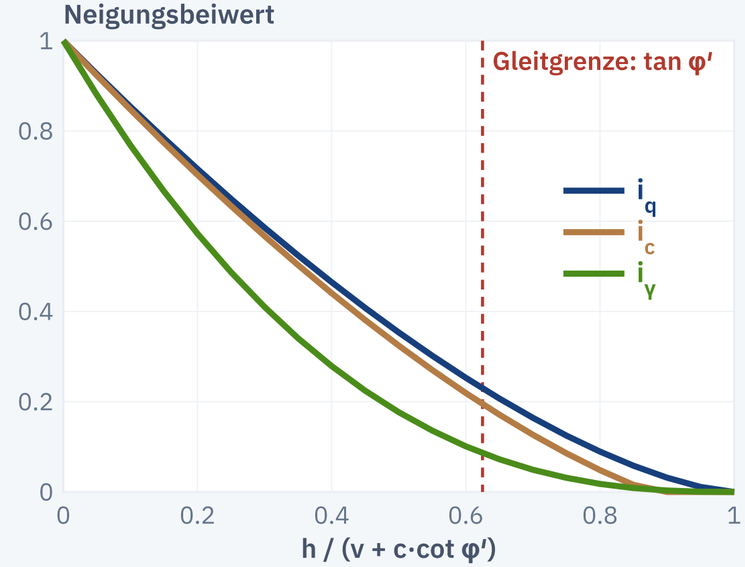
$$i_q = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^m \qquad i_\gamma = \left(1 - \frac{h}{v + c\cot\varphi}\right)^{m+1}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} \; (\geq 0)$$

$$\varphi = 0: \quad i_c = 1 - \frac{m\,h}{c\,N_c}, \qquad i_q = i_\gamma = 1$$

h > v tan φ + c: Die Sohle gleitet; das Modul warnt (das Gleiten wird zusätzlich gesondert nachgewiesen). **h ≥ v + c cot φ** (bei φ = 0: **h ≥ c**): Das Modul bricht ab.

i_c wird nicht negativ, sondern bei null gehalten. Im Diagramm ist die Bruchgrenze die Gerade h/(v + c cot φ) = tan φ.



Aufgabe

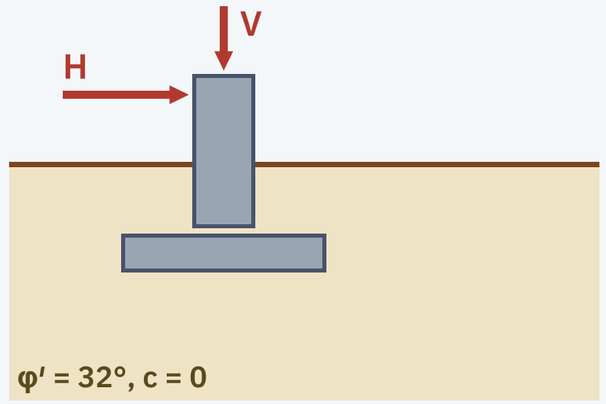
BEISPIEL

Gegeben

Fundament, Baugrund	**quadratisch 1.2 × 1.2 m,** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$ **(Modell des Moduls);** $N_q = 23.18$
Lastfall	$v = q_{apply} = 150\ \mathrm{kPa},\ h = 30\ \mathrm{kPa}$ **(ek: 60, 90, 120)**
Lastrichtung	**quadratisches Fundament: m = 1.5**

GESUCHT

Die Beiwerte i_q, i_c, i_γ bestimmen und die Schergrenze nachweisen.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Verhältnis (c = 0: v + c cot φ = v = 150 kPa)

$$x = \frac{h}{v + c\cot\varphi} = \frac{30}{150} = \mathbf{0.200} \qquad m = 1.5$$

2 Beiwerte

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_q - 1} = 0.716 - \frac{0.284}{22.18} = \mathbf{0.703}$$

3 Gleitgrenze

$$v\tan\varphi + c = 150(0.6249) = \mathbf{93.7}\ \text{kPa} \geq h = 30 \ \Rightarrow\ \text{kein Gleiten}$$

$$(h \geq v = 150\ \text{es steht, wenn})$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

h (kPa)	h/(v + c cot φ)	i_c	i_q	i_γ	Nachweis Gleiten
0	0.00	1.000	1.000	1.000	erfüllt
30	0.20	0.703	0.716	0.572	erfüllt
60	0.40	0.441	0.465	0.279	erfüllt
90	0.60	0.219	0.253	0.101	erfüllt
120	0.80	0.048	0.089	0.018	**Warnung: h > 93.7**

h = 30 kPa (20 % von v) verringert den q-Term um **28 %** und den Eigengewichtsterm um **43 %**. Da der Exponent m + 1 beträgt, wird **der Eigengewichtsterm stets stärker** beeinflusst. Bei c = 5 kPa ergäben sich v + c cot φ = 158.0 kPa und i_q = 0.729.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

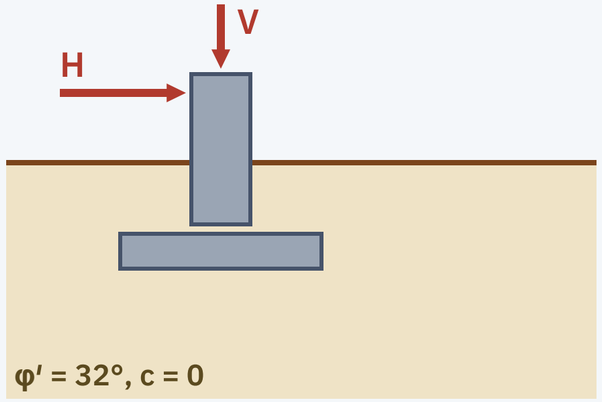
BEISPIEL

Gegeben

Fundament, Baugrund	**quadratisch 1.2 m,** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Lastfall	$v = 150\ \mathrm{kPa},\ h = 30\ \mathrm{kPa}$**: zur Vertikalen** $\beta = \tan^{-1}(30/150) = 11.31°$

GESUCHT

Die Werte i_q und i_γ nach den Verfahren von Meyerhof, Hansen und Vesic bestimmen und vergleichen.



Lösung

LÖSUNG

1 Meyerhof (mit Winkel β), Hansen (x = h/v = 0.2) und Vesic (m = 1.5)

$$\text{Meyerhof}: F_{;qi} = \left(1 - \frac{11.31}{90}\right)^2 = \mathbf{0.764}, \quad F_{\gamma i} = \left(1 - \frac{11.31}{32}\right)^2 = \mathbf{0.418}$$

$$\text{Hansen}: i_{;q} = (1 - 0.5x)^5 = \mathbf{0.590}, \quad i_{\gamma} = (1 - 0.7x)^5 = \mathbf{0.470}$$

$$\text{Vesic}: i_{;q} = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716}, \quad i_{\gamma} = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572}$$

	i_q	i_γ
Meyerhof	0.764	0.418
Hansen	0.590	0.470
Vesic	**0.716**	**0.572**

Jeder Beiwert ist zusammen mit seinem eigenen N_γ und seinen Formbeiwerten zu verwenden. Der Wert i_q nach Vesic liegt nahe dem nach Meyerhof, und sein i_γ ist der größte der drei.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Eigene Beiwerte nach Vesic

THEORIE

Vesic (1975) schlug auch für die Sohlneigung und die Geländeneigung eigene Beiwerte vor. Für φ > 0 wird der Kohäsionsbeiwert aus dem Überlagerungsbeiwert abgeleitet (η und ω im Exponenten in Radiant):

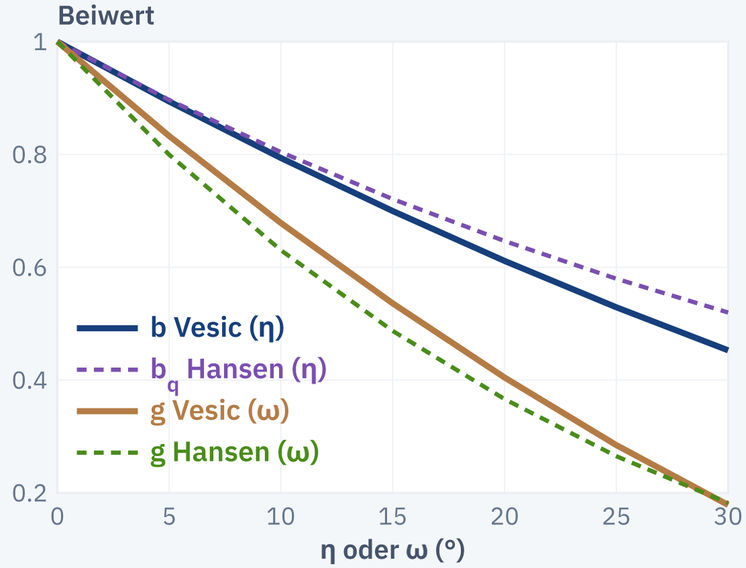
$$b_q = b_\gamma = (1 - \eta \tan\varphi)^2 \qquad g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$$

$$\varphi > 0: \quad b_c = b_q - \frac{1 - b_q}{N_q - 1} \qquad g_c = g_q - \frac{1 - g_q}{N_q - 1}$$

$$\varphi = 0: \quad b_c = 1 - \frac{2\eta}{\pi + 2} \quad g_c = 1 - \frac{2\omega}{\pi + 2} \quad b_q = b_\gamma = 1$$

Hansen's Beiwerte b_q, b_γ sind exponentiell ($e^{-2\eta \tan\varphi}$) und $g_q = (1 - 0.5 \tan\omega)^5$; bei kleinen Winkeln liegen sie nahe beieinander, mit wachsendem ω weichen sie voneinander ab (Bild).

Ist ω > φ, so ist die Böschung für sich allein nicht im Gleichgewicht: das Modul bricht ab. η und ω werden höchstens mit 45° eingegeben ($(1 - \tan\omega)^2$ geht dort gegen null).



Aufgabe

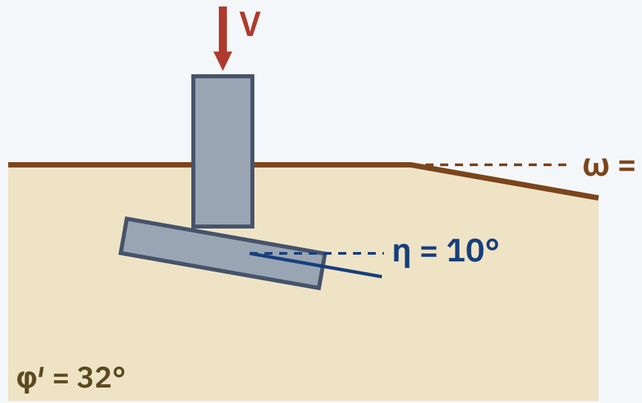
BEISPIEL

Gegeben

Baugrund	$\varphi' = 32^\circ,\ \tan\varphi = 0.6249,\ N_q = 23.18$
Sohlneigung	**η = 10° (0.1745 rad)**
Geländeneigung	**ω = 10°**
Vergleich	**Beiwerte nach Hansen**

GESUCHT

Ermitteln Sie die Beiwerte b_c, b_q, b_γ und g_c, g_q, g_γ nach Vesic; vergleichen Sie sie mit denen nach Hansen; geben Sie die Formen für φ = 0 an.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Sohlneigung η = 10° (Vesic)

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.1745 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.7938} \qquad b_c = 0.7938 - \frac{1 - 0.7938}{23.18 - 1} = \mathbf{0.7845}$$

2 Geländeneigung ω = 10° (tan 10° = 0.1763)

$$g_q = g_\gamma = (1 - 0.1763)^2 = \mathbf{0.6784} \qquad g_c = 0.6784 - \frac{1 - 0.6784}{23.18 - 1} = \mathbf{0.6639}$$

3 φ = 0-Formen (für 10°)

$$b_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad g_c = 1 - \frac{2(0.1745)}{\pi + 2} = \mathbf{0.932} \qquad b_q = b_\gamma = 1$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

	b_c	b_q	b_γ	g_c	$g_q = g_\gamma$
Vesic	0.784	0.794	0.794	0.664	0.678
Hansen	0.932	0.804	0.745	0.932	0.630

b_q und g_q sind bei den beiden Verfahren **nahezu gleich** (0.794 und 0.804; 0.678 und 0.630), aber **die Kohäsionsbeiwerte unterscheiden sich stark**: Die Werte b_c, g_c nach Vesic werden aus dem Überlagerungsbeiwert abgeleitet (0.784 und 0.664), die nach Hansen aus 1 – Winkel/147° (0.932). Bei Sand mit c = 0 wirkt sich dieser Unterschied nicht auf das Ergebnis aus.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Gleichung zusammenführen und Nachweis

THEORIE

Auch wenn die sechs Korrekturbeiwerte abschreckend wirken mögen, **sind sie im Normalfall alle gleich 1**: Mit den Standardwerten des Moduls (h = 0, η = 0, ω = 0) ergibt sich i = b = g = 1, und die Gleichung entspricht der allgemeinen Gleichung nach Meyerhof. q_u ist der vertikale Druck im Bruchzustand; das Modul behandelt Brutto- und Nettodruck getrennt:

$$q_{u,net} = q_u - q \qquad q_{all,g} = \frac{q_u}{FS} \qquad q_{all,n} = \frac{q_{u,net}}{FS}$$

Die aufgebrachte Pressung q_{vorh} ist die **vertikale Bruttopressung an der Fundamentsohle** für denselben Lastfall (V/A). Das Fundament ist unter den folgenden Bedingungen zulässig:

$$q_{apply} \leq q_{all,g} \qquad FS_{\text{tatsächlich}} = \frac{q_u}{q_{apply}} \qquad q_{apply} - q \leq q_{all,n}$$

Zulässige vertikale Last $Q_{all} = q_{all,g} \cdot A$. Bei h > 0 ist q_{vorh} einzugeben.

WANN IST DER BEIWERT 1?

Beiwert	Fall, in dem er 1 ist
F_s	Streifenfundament (B/L = 0)
F_d	D_f = 0 (Sohle an der Oberfläche)
i	h = 0 (vertikale Last)
b	η = 0 (glatte Sohle)
g	ω = 0 (ebenes Gelände)

Beiwerte unverändert; q und γ ändern sich

THEORIE

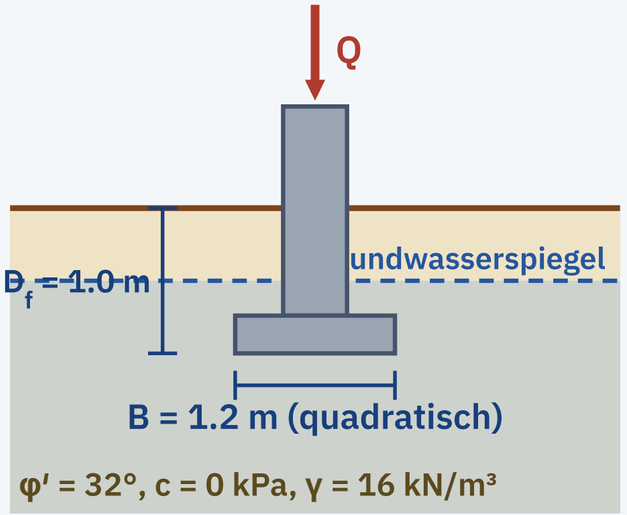
Der Grundwasserspiegel wird mit **denselben zwei Fällen** wie in den übrigen Modulen dieses Abschnitts behandelt. Unterhalb des Grundwasserspiegels gilt für die wirksame Wichte $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$ ($\gamma_w = 9.81$). D_w ist die Tiefe des Grundwassers unter der Geländeoberfläche:

$$\text{I } (D_w \leq D_f):\ q = \gamma D_w + \gamma'(D_f - D_w),\ \ \gamma \to \gamma' \text{ (dritter Term)}$$

$$\text{III } (D_f < D_w \leq D_f + B):\ q = \gamma D_f,\ \ \bar{\gamma} = \frac{1}{B}\left[\gamma D + \gamma'(B - D)\right],\ D = D_w - D_f$$

Für $D_w = D_f$ gilt $q = \gamma D_f$, und im dritten Term wird γ' verwendet.

Wasser, das tiefer als B unterhalb der Fundamentsohle ansteht, ist **unwirksam**. Das Wasser geht nur über **q und γ** ein; F, i, b, g bleiben unverändert.



Aufgabe

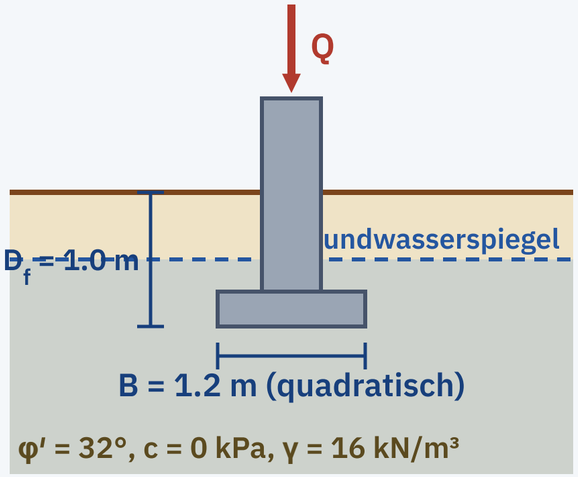
BEISPIEL

Gegeben

Fundament	**quadratisch, B = L = 1.2 m, Einbindetiefe D_f = 1.0 m**
Baugrund	**Sand:** $\varphi' = 32^\circ,\ c = 0$
Wichte	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(oben),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(unter dem Grundwasserspiegel)**
Grundwasser	**D_W = 0.5 m (Fall I)**
Last	**vertikal, mittig**
Sicherheit	**FS = 3**

GESUCHT

q_u, Brutto- und Netto-**q_{all}** sowie die zulässige Last **Q_{all}**; anschließend q_u für c = 5 kPa.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 Beiwerte (Beispiel 1: φ′ = 32°; B/L = 1; D_f/B = 0.833; h = η = ω = 0)

$$N_q = 23.18,\ N_\gamma = 30.21 \qquad F_{qs} = 1.625,\ F_{\gamma s} = 0.6,\ F_{qd} = 1.230 \qquad i = b = g = 1$$

2 Fall I: q = 16(0.5) + (19.5 – 9.81)(0.5); γ′ = 9.69 kN/m³ (im dritten Term)

$$q = \mathbf{12.845}\ \mathrm{kPa} \qquad \gamma' = \mathbf{9.69}\ \mathrm{kN/m^3}$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

3 Tragfähigkeit (c = 0: kein Kohäsionsterm)

$$q_u = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230) + \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)$$
$$= 595.1 + 105.4 = \mathbf{700.46}\ \text{kPa}$$

4 Zulässige Bodenpressung und Last (A = 1.2² = 1.44 m²)

$$q_{all,g} = \frac{700.46}{3} = \mathbf{233.49}\ \text{kPa} \qquad q_{all,n} = \frac{700.46 - 12.845}{3} = 229.20\ \text{kPa}$$

$$Q_{all} = 233.49(1.44) = \mathbf{336.2}\ \text{kN}$$

q_u = **700.46 kPa**, ermittelt mit denselben Eingaben (β = 0) über die allgemeine Meyerhof-Gleichung: Die beiden Gleichungen sind **exakt identisch**. Bei c = 5 kPa würde der Kohäsionsterm 363.9 kPa hinzufügen und es ergäbe sich q_u = 1,064.3 kPa.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

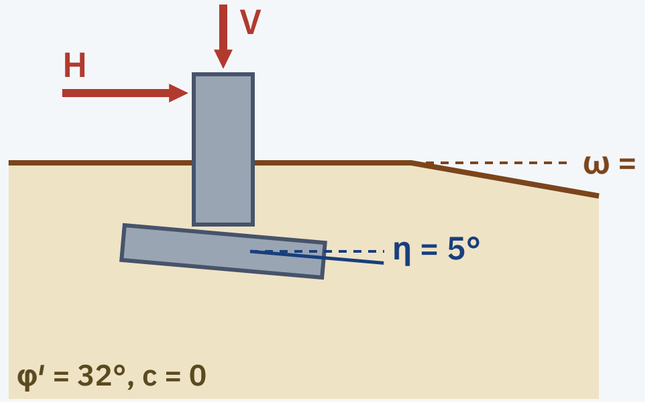
BEISPIEL

Gegeben

Fundament	**quadratisch, B = L = 1.2 m, Einbindetiefe D_f = 1.0 m**
Baugrund	**Sand:** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Wichte	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(oben),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(unter dem Grundwasserspiegel)**
Grundwasser	**D_w = 0.5 m**
Lastfall	$v = q_{apply} = 90\ \mathrm{kPa},\ h = 18\ \mathrm{kPa}$ **(h ∥ B)**
Sohle, Baugrund	**η = 5°, ω = 10°**
Sicherheit	**FS = 3**

GESUCHT

Ermitteln Sie die Werte **q_u** und **q_{all}**; prüfen Sie, ob das Fundament für q_{app} = 90 kPa nachgewiesen ist, und weisen Sie das Gleiten nach.



Lösung (1/3)

LÖSUNG

1 Neigungsbeiwerte (x = h/v = 18/90 = 0.2; m = 1.5)

$$i_q = (1 - 0.2)^{1.5} = \mathbf{0.716} \qquad i_\gamma = (1 - 0.2)^{2.5} = \mathbf{0.572} \qquad i_c = 0.703$$

2 Sohl- und Geländeneigungsbeiwerte (η = 5° = 0.0873 rad; ω = 10°)

$$b_q = b_\gamma = (1 - 0.0873 \cdot 0.6249)^2 = \mathbf{0.894} \qquad b_c = 0.889$$

$$g_q = g_\gamma = (1 - \tan 10^\circ)^2 = \mathbf{0.678} \qquad g_c = 0.664$$

Lösung (2/3)

LÖSUNG

3 Drei Terme (c = 0; Beiwerte F wie in Beispiel 6)

$$q\text{-Term} = (12.845)(23.18)(1.625)(1.230)(0.716)(0.894)(0.678) = 258.2$$

$$\gamma\text{-Term} = \tfrac{1}{2}(9.69)(1.2)(30.21)(0.6)(0.572)(0.894)(0.678) = 36.6$$

4 Tragfähigkeit und zulässige Bodenpressung

$$q_u = 258.2 + 36.6 = \mathbf{294.8}\ \text{kPa} \qquad q_{all,g} = \frac{294.8}{3} = \mathbf{98.3}\ \text{kPa}$$

Lösung (3/3)

LÖSUNG

5 Nachweis (q_{vorh} = 90 kPa)

$$q_{apply} = 90 \leq q_{all,g} = 98.3 \;\Rightarrow\; \textbf{gültig}$$

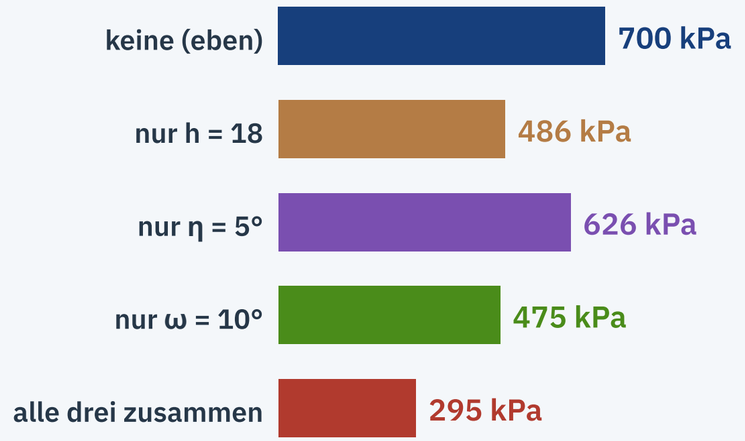
$$FS_{\text{tatsächlich}} = \frac{294.8}{90} = \mathbf{3.28} \geq 3$$

$$q_{apply} - q = 77.2 \leq q_{all,n} = 94.0 \;\Rightarrow\; \textbf{gültig}$$

6 Gleitgrenze

$$h = 18 \leq v \tan\varphi = 56.2\ \text{kPa} \;\Rightarrow\; \text{kein Gleiten}$$

Der Wert q_u von 700 kPa im ebenen Modell sinkt unter dieser Lastkombination auf **295 kPa** (58 %). Einzeln betrachtet: Geländeneigung −32 %, Horizontallast −31 %, Sohlneigung −11 %. Das Fundament ist in allen drei Fällen standsicher (FS = 3.28).



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

φ = 0: die Formen der Kohäsionsbeiwerte selbst

THEORIE

Für φ = 0 ergibt sich $N_c = 5.14$, $N_q = 1$ und $N_\gamma = 0$; der Eigengewichtsterm entfällt, und der Auflastterm reduziert sich auf $q\, g_q$. In diesem Modul bleibt der Kohäsionsterm **multiplikativ** (im Unterschied zur additiven Form nach Hansen):

$$q_u = c\, N_c\, F_{cs} F_{cd}\, i_c\, b_c\, g_c + q\, g_q$$

Die φ = 0-Formen der Kohäsionsbeiwerte stehen in der Tabelle: für die Lastneigung **$i_c = 1 - m\,h/(c\,N_c)$**, für Sohl- und Geländeneigung **1 − 2·Winkel/(π + 2)** (Winkel im Bogenmaß).

Wird **h ≥ c**, so gleitet die Sohle, und das Modul bricht ab. Bei φ = 0 gilt $F_{cs} = 1 + (B/L)/5.14$ ($N_q/N_c = 1/5.14$) und $F_{cd} = 1 + 0.4\,k$.

FÄLLE φ = 0

Beiwert	Wert
N_c	5.14
F_{cs}	$1 + (B/L)/5.14$
F_{cd}	$1 + 0.4\,k$
i_c	$1 - m\,h/(c\,N_c)$
b_c	$1 - 2\eta/(\pi + 2)$
g_c	$1 - 2\omega/(\pi + 2)$
g_q	$(1 - \tan\omega)^2$

Aufgabe

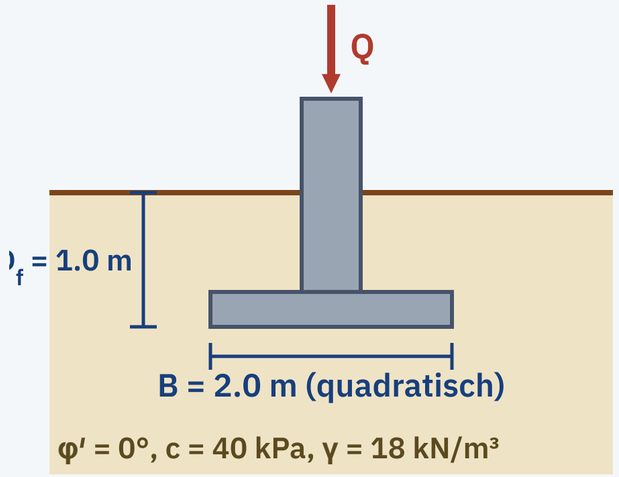
BEISPIEL

Gegeben

Fundament	**quadratisch B = L = 2 m, D_f = 1 m**
Baugrund	**Ton:** $\varphi = 0,\ c_u = 40\ \mathrm{kPa},\ \gamma = 18\ \mathrm{kN/m^3}$ **; kein Grundwasser**
Fälle	**(a) vertikale Last · (b)** $v = 100,\ h = 10\ \mathrm{kPa}$ **· (c)** $h = 10$ **und** $\eta = \omega = 10^\circ$

GESUCHT

Für jeden Fall ist der Wert **q_u** zu ermitteln.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

1 (a) Vertikale Last: $F_{cs} = 1 + 1/5.14$; $F_{cd} = 1 + 0.4(0.5)$; q = 18 kPa

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200) + 18 = 294.72 + 18 = \mathbf{312.72}\ \text{kPa}$$

2 (b) h = 10 kPa, c = 40 (m = 1.5)

$$i_c = 1 - \frac{1.5(10)}{40(5.14)} = \mathbf{0.927} \;\Rightarrow\; q_u = 273.22 + 18 = \mathbf{291.22}\ \text{kPa}$$

Lösung (2/2)

LÖSUNG

3 (c) h = 10, η = ω = 10°: $b_c = g_c = 1 - 2(0.1745)/(\pi + 2) = 0.932$; $g_q = (1 - \tan 10°)^2$

$$q_u = 40(5.14)(1.195)(1.200)(0.927)(0.932)(0.932) + 18(0.678) = 237.4 + 12.2 = \mathbf{249.6}\ \mathrm{kPa}$$

Zustand	c $N_c F_{cs} F_{cd} \cdot (i\ b\ g)$	q g_q	q_u (kPa)
(a) vertikal	294.7	18.0	**312.7**
(b) h = 10	273.2	18.0	**291.2**
(c) h, η, ω	237.4	12.2	**249.6**

Eine Last von nur h = 10 kPa verringert die Tragfähigkeit um 7%, zusammen mit h verringern die Sohl- und Geländeneigung sie um 20%. Die additive Form nach Hansen ergibt für denselben vertikalen Fall 305.84 kPa (Darstellung nach Hansen): Beide Verfahren stimmen innerhalb von 2% überein.

Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Aufgabe

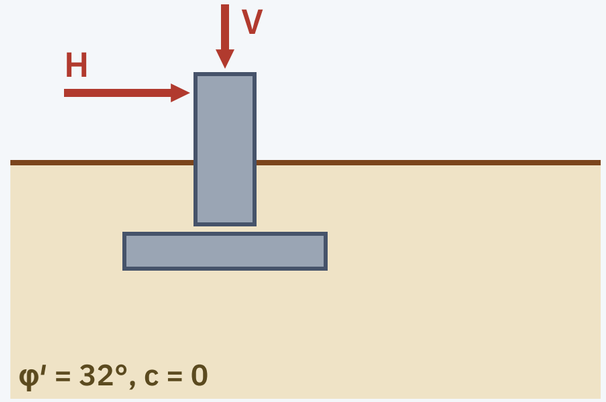
BEISPIEL

Gegeben

Fundament	**quadratisch, B = L = 1.2 m, Einbindetiefe D_f = 1.0 m**
Baugrund	**Sand:** $\varphi' = 32°,\ c = 0$
Wichte	$\gamma = 16\ \mathrm{kN/m^3}$ **(oben),** $\gamma_{sat} = 19.5\ \mathrm{kN/m^3}$ **(unter dem Grundwasserspiegel)**
Grundwasser	**D_w = 0.5 m**
Lastfall	$v = 150\ \mathrm{kPa},\ h = 30\ \mathrm{kPa}$; $\beta = 11.31°$ **für Meyerhof**

GESUCHT

Die **q_u**-Werte der beiden Gleichungen für die vertikale Last und für diese geneigte Last Term für Term vergleichen.



Lösung (1/2)

LÖSUNG

Vertikallast	Vesic	Meyerhof
q-Term	595.1	595.1
γ-Term	105.4	105.4
q_u (kPa)	**700.46**	**700.46**

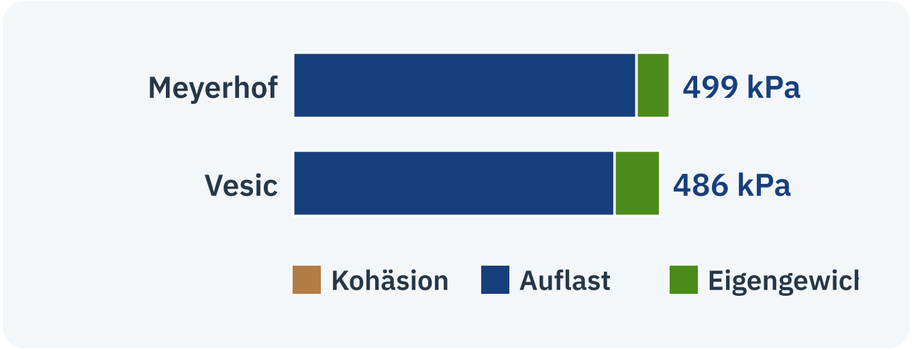
Ohne Geländeneigung, Sohlneigung und Lastneigung ist die Gleichung nach Vesic **exakt identisch** mit der allgemeinen Gleichung nach Meyerhof (700.46 kPa): Die Abweichung nach Vesic beginnt erst bei geneigten Fällen. Dies ist der modulinterne Nachweisweg.

Lösung (2/2)

LÖSUNG

Geneigte Last	Vesic (m = 1.5)	Meyerhof (β = 11.31°)
i_q / F_{qi}	0.716	0.764
i_γ / $F_{\gamma i}$	0.572	0.418
q-Term	425.8	454.9
γ-Term	60.3	44.1
q_u (kPa)	**486.1**	**499.0**

Bei geneigter Last ist der Unterschied klein: **2.6 %** (Vesic liegt niedriger). Meyerhofs $F_{\gamma i}$ mindert stärker, sein F_{qi} schwächer; da der q-Term dominiert, liegen die Ergebnisse nahe beieinander.



Lösung in GeoTerva prüfen ↗

Zusammenfassung

Die wichtigsten Punkte

Die **Vesic-Gleichung** hat denselben Aufbau wie die Hansen-Gleichung; sie übernimmt die **Formbeiwerte nach De Beer** und die **Tiefenbeiwerte nach Hansen** unverändert sowie $N_\gamma = 2(N_q + 1)\tan\varphi$ unverändert

Eigener Beitrag: der Neigungsexponent m sowie die Beiwerte b für die Sohlneigung und g für die Geländeneigung

Neigung: $i_q = (1 - h/(v + c\cot\varphi))^m$, $i_\gamma = (\ldots)^{m+1}$; $m = (2 + B/L)/(1 + B/L)$ ($h \parallel B$) oder $(2 + L/B)/(1 + L/B)$ ($h \parallel L$); für das Streifenfundament $m_B = 2$, $m_L = 1$

Sohlneigung $b_q = b_\gamma = (1 - \eta\tan\varphi)^2$; **Geländeneigung** $g_q = g_\gamma = (1 - \tan\omega)^2$; für $\varphi > 0$ folgen b_c, g_c aus dem Auflastbeiwert, für $\varphi = 0$ gilt $1 - 2\cdot\text{Winkel}/(\pi + 2)$

Grenzen: $h > v\tan\varphi + c$ Warnung wegen Gleiten; $h \geq v + c\cot\varphi$ (bei $\varphi = 0$: $h \geq c$) Ruhe; $\omega > \varphi$ Ruhe

Mit $i = b = g = 1$ ist die Gleichung die **allgemeine Gleichung nach Meyerhof**; der **Grundwasserspiegel** ändert nur q und γ

Nachweis: $q_{app} \leq q_{zul,g}$, $FS_{tatsächlich}$ und netto; die Beiwerte jedes Verfahrens werden mit seinem eigenen N_γ verwendet

Literatur

Die vollständige Grundbruchgleichung von Vesic – der von B/L abhängige Neigungsexponent und seine eigenen Sohlneigungsbeiwerte – folgt Vesic, A.S., „Analysis of Ultimate Loads of Shallow Foundations," Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, 1973, wie sie in gängigen geotechnischen Nachschlagewerken einheitlich wiedergegeben wird (neben der eng verwandten Gleichung von Hansen – siehe das Modul nach Hansen in diesem Abschnitt). Die im gesamten Abschnitt verwendete geschlossene Form von N_γ stammt von Vesic, wie in Das, B.M., Principles of Geotechnical Engineering, 9th ed., Cengage Learning, 2018 (Kapitel 16) dargestellt; die Tiefenbeiwerte stammen von Hansen, wie in Das, B.M., Principles of Foundation Engineering, 8th ed., Cengage Learning, 2016 (Tabelle 4.3) wiedergegeben. Im Text dieser Seite ist „die Quelle" das erste dieser beiden Bücher und „die zweite Quelle" das zweite.

HINWEIS

Alle Zahlenbeispiele wurden mit der eigenen Berechnungsbibliothek des Moduls erzeugt; das Modul liefert dieselben Werte.

GeoTerva

Geotechnische Berechnungen online

Von der Theorie zur Praxis

Berechnen Sie das Beispielfundament aus dieser Vorlesung Schritt für Schritt in GeoTerva: Das Modul öffnet sich mit diesem Modell.

Modul öffnen →

Theorieseite →

Auf dem Smartphone öffnen

Die Beispielmodule erfordern keine Registrierung.

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