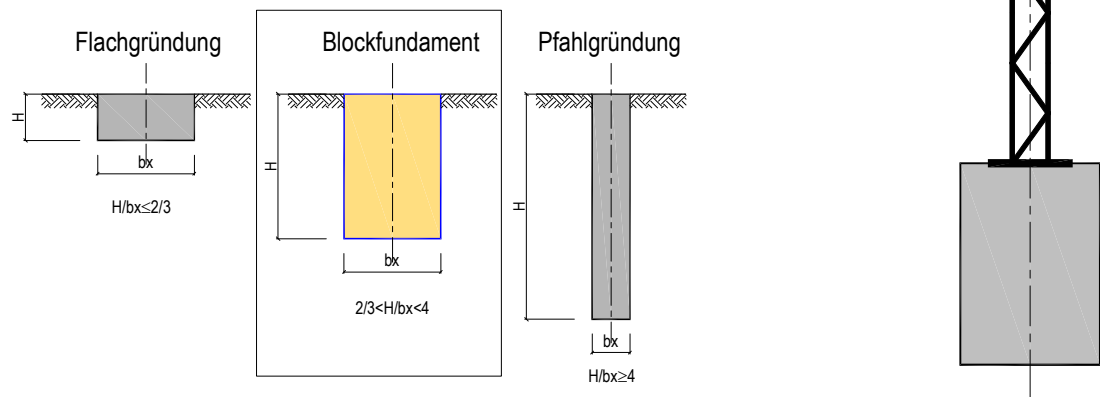


50T Eingespanntes Blockfundament

(Stand: 02.04.2009)

Das Programm 50T dient zur Berechnung im Boden eingespannter Fundamente, deren Standsicherheit hauptsächlich durch einen stirnseitigen Erdwiderstand gewährleistet wird. Blockfundamente finden beispielsweise Verwendung für Masten oder für Stützen von Lärmschutzwänden. Die Belastung resultiert neben dem Eigengewicht der Konstruktion hauptsächlich aus Wind- und Leitungszugkräften.

Nach dem Aufsatz von Steckner [1] werden Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit nachgewiesen. In Erweiterung dazu wird das Teilsicherheitskonzept berücksichtigt, ein alternativer Gebrauchsfähigkeitsnachweis ist ebenfalls möglich.



Leistungsumfang

System

- Berechnung von Blockfundamenten, deren Abmessungen der folgenden Definition entsprechen sollten: $\frac{2}{3} \leq \frac{h}{b_x} \leq 4$ mit b_x = Fundamentbreite, h = Fundamentdicke
- Schichtänderung auf Höhe Sohle möglich.
- Unterschiedliche Neigungen des Geländes vor und hinter dem Fundament.
- OK Gelände kann unter OK Fundament liegen.
- Berücksichtigung eines Grundwasserstands.

Einwirkungen / Schnittgrößen

- Als Einwirkungen sind Vertikalkräfte F_z , Horizontalkräfte F_x sowie Momente M_y möglich; die Lasten werden auf die Mitte der Fundamentoberkante bezogen.
- Es sind bis zu 3 sich ausschließende Lastfälle möglich.
- Die Schnittgrößen werden auf der Basis der repräsentativen Kombinationen nach DIN 1055-100 ermittelt.

Nachweise Standsicherheit / Gebrauchstauglichkeit

- Standsicherheitsnachweis nach Steckner, erweitert um das Teilsicherheitskonzept (mit zwei verschiedenen Möglichkeiten des Ansatzes von Teilsicherheiten). Hierbei wird der Fundament-Drehpunkt iterativ bestimmt.
- Nachweis der Gebrauchsfähigkeit nach Steckner (Ansatz einer seitlichen und vertikalen Bettung, wobei das Programm die Bettungsziffer ermittelt) **oder** über die Begrenzung des mobilisierten Erdwiderstands.

Grafiken

- Darstellung des Systems,
- Charakteristische Bodenreaktionen (Erddrücke) des Standsicherheitsnachweises.

Weitere Leistungen

- Lastweiterleitung für z.B. Setzungsrechnung. Das Programm Setzungsrechnung (53R) wird als direktes Nachlaufprogramm angeboten (nicht im Umfang von 50T enthalten).

System

Die Eingabemöglichkeiten für das System werden durch die nebenstehende Skizze (Bild 1) deutlich. Dabei gilt die OK Fundament als Kote ± 0.00 m. Die Fundamentabmessungen sind in [cm], alle weiteren Werte sind in [m] anzugeben.

Das Gelände kann die Neigungen β_1 und β_2 besitzen (in Bild 1 sind die Positivrichtungen dargestellt); das Gelände kann auch unterhalb der OK Fundament beginnen (Δh_1 , Δh_2).

Ein Grundwasserstand wirkt sich auf die Berechnung nur aus, wenn er über der Sohle liegt.

Als Bodenkennwerte der Schichten (max. 2) sind anzugeben: Unterkante der Schicht (als Höhenkote), Wichte γ , Wichte γ' (unter Auftrieb), Reibungswinkel φ , Wandreibungswinkel aktiv δ_a , Wandreibungswinkel passiv δ_p und die Kohäsion c eingegeben.

Die UK der ersten Schicht muss mindestens bei UK Fundament oder tiefer liegen. Die Angaben für die 1. Schicht werden für die Erddruckermittlung benötigt, die der 2. Schicht (falls vorhanden) für die Ermittlung der Bettungsziffer und der Reibungskräfte in der Sohle.

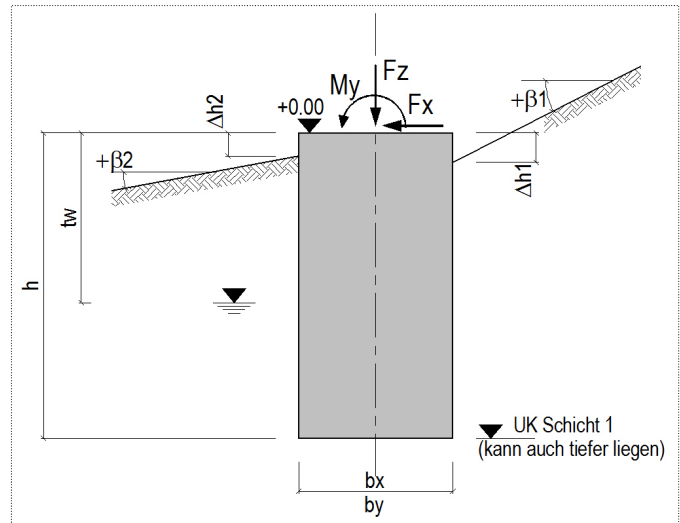


Bild 1

Folgende Grenzen sind einzuhalten:

- Der Reibungswinkel φ muss zwischen 20° und 40° liegen.
- Die Geländeneigung β darf nicht größer als der Reibungswinkel φ sein.

Einwirkungen

Als Einwirkungen sind Vertikalkräfte F_z , Horizontalkräfte F_x sowie Momente M_y möglich; die Lasten werden auf die Mitte der Fundamentoberkante bezogen. Es sind bis zu 3 Lastfälle möglich. Das Eigengewicht des Fundaments wird bei Angabe der Wichte vom Programm bestimmt, eine evtl. vorhandene Auftriebskraft wegen Grundwasser wird davon abgezogen.

Die resultierenden Horizontalkräfte und Momente müssen in der in Bild 1 dargestellten Positivrichtung wirken.

Teilsicherheiten

Für die Nachweise werden *repräsentative* Kombinationen nach DIN 1055-100 angesetzt. Abhängig vom Grundbau-Lastfall (1, 2 oder 3) werden beim Tragsicherheitsnachweis die Teilsicherheiten nach DIN 1054:2005-01 [5] angesetzt. Ist eine Kombination mit außergewöhnlichen Einwirkungen vorhanden, wird hierfür Lastfall 3 angesetzt.

Nachweise

Standsicherheitsnachweis

Die Standsicherheit wird als Grenzbelastung definiert, die auf das Erdreich übertragen und gerade noch aufgenommen werden kann. Die Bodenreaktionen setzen sich hierbei aus den folgenden Anteilen zusammen (s. Bild 2):

- Erdwiderstand E_p (mit Vertikalkomponente R_p) auf die vordere Stirnseite,
- Erdwiderstand E_p' (mit Vertikalkomponente R_p') auf die hintere Stirnseite,
- Aktiver Erddruck E_a (mit Vertikalkomponente R_a) als Einwirkung auf die hintere Stirnseite (*wird den Einwirkungen zugeordnet!*),
- Reibungskräfte R_0 und R_0' aus dem in den Parallelseiten wirkenden Erdruchedruck,
- Sohldruckkraft N_u und Sohlreibungskraft R_u

Der Erdwiderstand E_p wird mit dem negativen Wandreibungswinkel δ_p der Schicht 1 bestimmt, während der Erdwiderstand E_p' mit dem (positiven) Wandreibungswinkel δ_a bestimmt wird, da hier eine entgegengesetzte Bewegungsrichtung vorhanden ist.

Die Reibungskräfte R_0 bzw. R_0' werden mit dem Reibungswinkel $\delta_{Sk} = \delta_a$ berechnet., die Reibungskraft R_u mit dem Reibungswinkel $\delta_{Sk} = \varphi$. Die Erddrücke E_p , E_p' und E_a werden als *räumliche Erddrücke* nach [4] bestimmt.

Die Verteilung der Sohldruckkraft wird über die aufnehmbare Bodenpressung in der Sohle nach Lang / Huder [3] berechnet. Die aufnehmbare Bodenpressung ergibt sich nach [3], angepasst an [6], 7.2.5, zu

$$\max. \sigma_d = [1 + 3.15 \cdot \tan \varphi \cdot (1 - \sin \varphi)^2] \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} \cdot \tan^2(45 + \frac{\varphi}{2}) \cdot \gamma \cdot H \cdot (1 - \frac{\tan \beta_2}{2})^6$$

γ = Wichte im Fundamentbereich (bei Grundwasser gewichtet)

φ = Reibungswinkel unter der Sohle

H = Einbindetiefe

β_2 = Geländeneigung ($\beta_2 \geq 0$)

Über das Gleichgewicht der H-Kräfte kann (iterativ) die Lage des Drehpunkts z_d bestimmt werden, die Sohldruckkraft N_u aus dem Gleichgewicht der Vertikalkräfte. Stellt sich hierbei heraus, dass die Bedingung $N_u \geq 0$ nicht erfüllt ist, wird wiederum iterativ der Wandreibungswinkel δ_p solange reduziert, bis die Bedingung eingehalten ist.

Das Grenzmoment M_{uk} wird (*im Gegensatz zu Steckner*) um den Drehpunkt D des Fundaments gebildet (s. Bild 2), da hierbei eine eindeutige Trennung von Einwirkungen und Widerständen erfolgen kann. Das Grenzmoment wird gebildet aus:

- Erdwiderstand E_p und Vertikalkomponente R_p
- Erdwiderstand E_p' und Vertikalkomponente R_p'
- Reibungskräfte in den parallelen Seiten R_0 und R_0'
- Sohlkraft N_u und Sohlreibungskraft R_u

Bei der Ermittlung des Bemessungswiderstands hat der Benutzer die folgende Wahlmöglichkeit:

- Ansatz eines einheitlichen Teilsicherheitsbeiwerts γ_{Ep} :

$$\text{Der Bemessungswiderstand } M_{ud} \text{ ergibt sich hier zu } M_{ud} = \frac{M_{uk}}{\gamma_{Ep}}$$

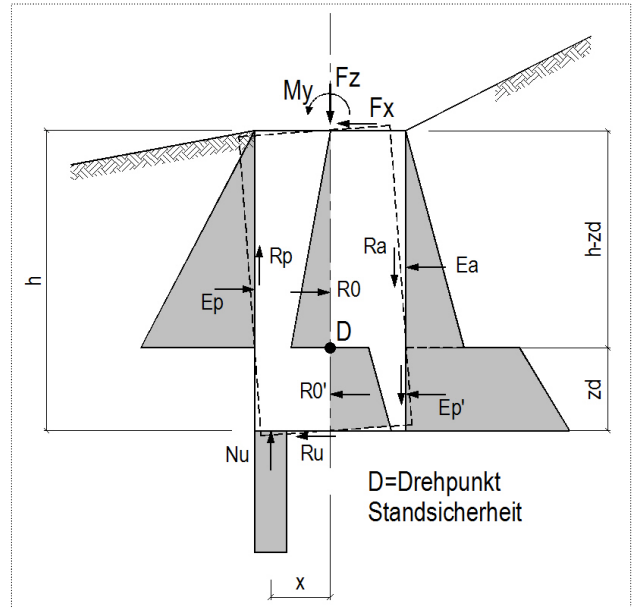


Bild 2

- Ansatz verschiedener Teilsicherheiten für die jeweiligen Widerstände bzw. Einwirkungen:
Das Grenzmoment M_{ud} wird wiederum aus den obigen Kräften bestimmt, jedoch mit den folgenden Teilsicherheiten:

$$\text{mit } E_{pd} = E_p / \gamma_{Ep}, \quad E_{pd}' = E_p' / \gamma_{Ep}, \quad R_{pd} = R_p / \gamma_{Ep}, \quad R_{pd}' = R_p' / \gamma_{Ep}$$

$$R_{ud} = R_u / \gamma_{Gr}, \quad N_{ud} = N_u / \gamma_{Gr}, \quad R_{0d} = R_0 / \gamma_{Gl}, \quad R_{0d}' = R_0' / \gamma_{Gl}$$

γ_{Ep} Teilsicherheit Erdwiderstand

γ_{Gr} Teilsicherheit Grundbruch

γ_{Gl} Teilsicherheit Gleitwiderstand

Die Komponenten einer Kraft (z.B. bei E_p oder R_p) erhalten die gleiche Teilsicherheit!

Hinweis: Die beiden verschiedenen Ansätze der Teilsicherheiten bringen nur geringe Unterschiede, da die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Gr} und γ_{Ep} gleich groß und die seitenparallelen Reibungskräfte R_0 und R_0' i. Allg. recht gering sind.

Das Moment der Einwirkungen M_{Ed} setzt sich aus den äußeren Lasten und den Anteilen aus dem aktiven Erddruck E_a und R_a zusammen, wobei E_a und R_a mit der Teilsicherheit γ_G multipliziert werden.

Nachweis der Standsicherheit: $M_{Ed} \leq M_{ud}$

Grenzmoment M_{1uk} :

Für den Nachweis der Gebrauchsfähigkeit (s.u.) wird das Grenzmoment M' ermittelt, indem *alle* Bodenreaktionen (incl. E_a und R_a) um den Bezugspunkt Mitte OKF angesetzt werden.

Gebrauchsfähigkeitsnachweis nach Steckner

Für den Nachweis der Gebrauchsfähigkeit wird ein Moment M_α (bezogen auf Mitte OK Fund.) berechnet, das eine zugelassene Schiefstellung $\tan \alpha$ erzeugt (s. Bild 2). Das vorhandene Moment M darf diesen Wert nicht überschreiten. Als zulässige Schiefstellung empfiehlt Steckner einen Wert $\tan \alpha \leq 0.005$.

Das Moment M_α setzt sich aus dem Moment M_1 in der Stirnseite, dem Moment M_2 in der Sohle und dem Moment M_H , das die horizontale Auflagerkraft in der Stirn H je nach Höhe des Drehpunkts erzeugt. Die Momente M_1 und M_2 werden aus den Bettungsziffern C_1 in der Stirn bzw. C_2 in der Sohle berechnet und hängen weiter davon ab, ob in der Sohle durch die zulässige Schiefstellung die Sohlreibung überwunden wird bzw. die Sohlenkante abhebt.

Nachweis: $M_\alpha = M_1 + M_2 - M_H \geq M_{vorh}$

Das Moment M_α darf jedoch nicht größer als dasjenige aus dem Standsicherheitsnachweis M_{1uk} angesetzt werden (s. Standsicherheitsnachweis)!

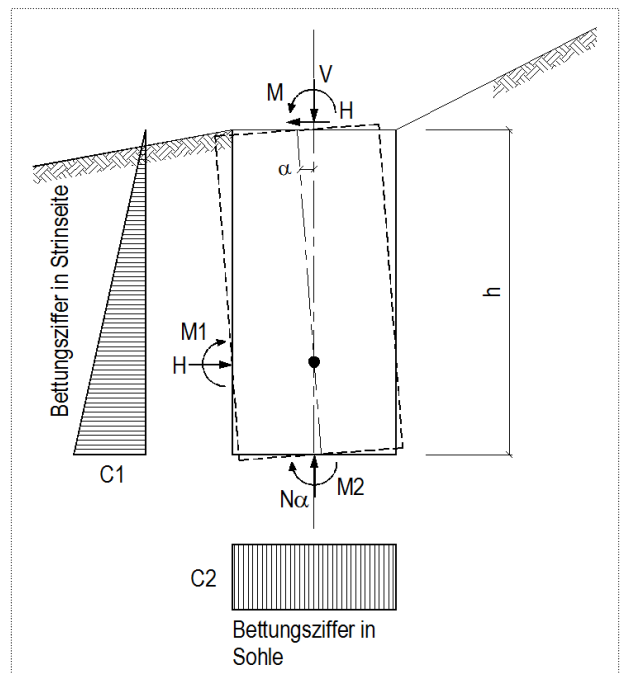


Bild 3

Ermittlung der Bettungsziffer nach Steckner [1]:

$$C \approx [4 + 0.6 \cdot (\varphi - 20)] \cdot 10^4 \cdot \frac{d}{2} \cdot \left(1 + \frac{\beta}{40}\right)$$

mit φ = Reibungswinkel Stirn/Sohle
 β = Geländeneigung (solange negativ, sonst $\beta = 0$!)

Werte für die anzusetzende Bettungsziffer C können auch alternativ z.B. aus EAB, Anhang A 5, [2] entnommen werden.

Hinweis: Es ist i. Allg. schwierig, für den anstehenden Baugrund eine realistische Bettungsziffer anzugeben.

Gebrauchsfähigkeitsnachweis nach DIN 1054

Alternativ kann der Gebrauchsfähigkeitsnachweis auch nach DIN 1054 geführt werden, indem die Größe des mobilisierten Erdwiderstands auf $E_{p, \text{mob}} \leq 0.25 \cdot E_{pk}$ beschränkt wird. Dieser Nachweis wird wie folgt geführt:

$$\text{Ausnutzungsgrad } f = \frac{100 \cdot f_p \cdot f_t}{\gamma \cdot \gamma_{Ep}} [\%]$$

f_p = Reduktionsfaktor für den Erdwiderstand ($f_p \leq 0.5$), in den Berechnungsoptionen gewählt

$$f_t = \text{Ausnutzungsgrad Standsicherheitsnachweis } f_t = \frac{M_{Ed}}{M_{ud}}$$

$$\gamma = \text{Mittelwert der Teilsicherheiten für ständige und nichtständige Einwirkungen } \gamma = \frac{\gamma_G + \gamma_Q}{2}$$

γ_{Ep} = Teilsicherheitsbeiwert für den Erdwiderstand

Hinweis: Dieser Nachweis bringt hauptsächlich durch den Reduktionsfaktor f_p ungünstigere Ergebnisse (auch beim Standsicherheitsnachweis!) als der Nachweis nach Steckner.

Lastweiterleitung

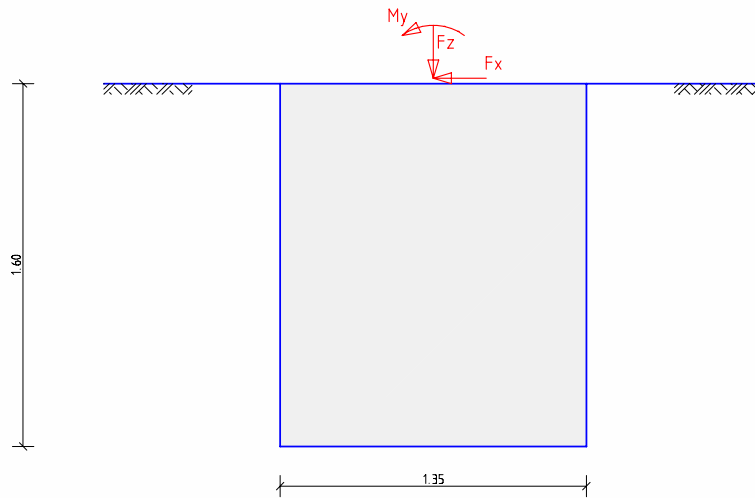
Für eine mögliche anschließende Setzungsberechnung werden die charakteristischen Lastsummen abgelegt, getrennt für jeden Lastfall als ständige und nichtständige Lasten. Auch die Geometriedaten werden für mögliche Nachlaufprogramme abgelegt.

Literatur

- [1] Steckner, Sebastian: Gebrauchstauglichkeits- und Standsicherheitsnachweis für eingespannte Blockfundamente, Bautechnik 66 (1989), Heft 2.
- [2] Empfehlungen des Arbeitskreises 'Baugruben' (EAB), Ernst und Sohn, 2006.
- [3] Lang, H.-J. und Huder, J.: Bodenmechanik und Grundbau, 3. Aufl., Springer-Verlag 1985.
- [4] DIN V 4085-100:1996-04: Berechnung des Erddrucks
- [5] DIN 1054:2005-01 mit Berichtigung 3 (2008-01) und Berichtigung 4 (2008-10)
- [6] DIN 4017:2006-03

POS. 131 BLOCKFUNDAMENT

System: Eingespanntes Blockfundament nach Steckner [BT 66 (1989)]



Geometrie (OK Fundament: $H = +0.00$ m)

 Fundamentabmessungen $b_x = 135.0$ cm, $b_y = 135.0$ cm, Höhe $h = 160.0$ cm

Charakteristische Bodenkenwerte

Schicht-Nr.	Unterkante H [m]	gamma [kN/m ³]	gamma' [kN/m ³]	phi [°]	del ta a [°]	del ta p [°]	Kohäsion c [kN/m ²]
1	-10.00	20.00	12.00	20.00	13.30	-13.30	0.0

 Reibungskräfte in den Parallelseiten werden mit δ_a (Schicht 1),
 Reibungskräfte in der Sohle werden mit ϕ (Schicht 1) bestimmt.

Charakteristische Belastung (z=vertikal, x=horizontal)

Ei nwi rkungen:

 Das Bauteileigengewicht wird mit einer Wichte von 24.0 kN/m³ berücksichtigt.
 Lasten: $F =$ Einzelast [kN], $M =$ Moment [kNm]

LF 1: Endzustand	Last Kat.	Wert, k	Al pha
Eigengewicht	Fz G	69.98	-
Vertikallasten	Fz G	23.90	-
H-Lasten aus Mast	Fx Q, 1	6.30	-
Momente aus Mast	My Q, 1	42.00	-

LF 2: Bauzustand	Last Kat.	Wert, k	Al pha
Eigengewicht	Fz G	69.98	-
Vertikallasten	Fz G	23.90	-
H-Lasten	Fx Q, 1	25.00	-
Ausmitte der H-Lasten	My Q, 1	5.00	-

Kategorie	Bezeichnung	Komb. -Beiwerte			Gamma	
		Psi 0	Psi 1	Psi 2	sup.	inf.
G	Ständige Einwirkungen	-	-	-	1.35	1.00
Q, 1	Sonstige Nutz- u. Verkehrslasten	0.80	0.70	0.50	1.50	-

KNr.	LF	Bem. -Sit.	Kombi nation
2	1	Rep, P/T	G+Q, 1

Rep, P/T = Repräsentativ, ständig u. vorübergehend

Teil sicherheitsbeiwerte nach DIN 1054: 2005-01 für Grundbau-Lastfälle

Lastfall	Bemessungssituation	γ_w	γ_q	γ_{Ep}	γ_{Gr}	γ_{GI}
1	ständig	1.35	1.50	1/1.40	1/1.40	1/1.10

Berechnungsoptionen

- Mindesterdru ck für kohäsive Schicht ja
- Anpassungsfaktor für Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) $f_p = 1.00$
- Ansatz der Kohäsion beim Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) $f_c = 1.00$

Erddruckbeiwerte (Ep hinter Fund. wird mit $\Delta p = +\Delta t_a$ gerechnet!)

Schicht	aktiver Erddruck		Ruhedruck		passiv hinter Fund.		passiv vor Fund.	
	K_{agh}	K_{ach}	K_{Oh}	K_{ph1}	K_{pch1}	K_{ph2}	K_{pch2}	
1	0.43	0.00	0.66	1.22	0.00	2.65	0.00	

Nachweis der Tragfähigkeit (z, x von Mitte OK Fund. gerechnet) für Komb. 2

Drehpunkt über Sohle $z_d = 0.38 \text{ m}$
 Aufnehmbare Bodenpressung nach Lang/Huder) $\max. \sigma_d = 280.0 \text{ kN/m}^2$
 Einwirkungen: $V_k/V_d = 93.9 / 126.7 \text{ kN}$ $H_k/H_d = 6.3 / 9.5 \text{ kN}$
 $M_k/M_d = 42.0 / 63.0 \text{ kNm}$

Baugrundreaktionen (charakteristisch)	F_h [kN]	z [m]	F_v [kN]	x [m]
Erdwiderstand vor Fund. über z_d (E_p, R_p)	68.3	0.83	16.1	0.68
Aktiver Erddruck hinter Fund. über z_d (E_a, R_a)	8.0	0.81	1.9	-0.68
Erdwiderstand hinter Fund. unter z_d (E_p', R_p')	26.0	1.42	6.1	-0.68
Seitenreibung oberhalb z_d (R_0)	6.3	0.81	-	-
Seitenreibung unterhalb z_d (R_0')	4.5	1.42	-	-
Sohlkraft und Sohlreibung (N_u, R_u)	31.2	1.60	85.8	0.56

 Gleichgewichtsbedingung für die Lage des Drehpunkts (Summe H-Kräfte ≥ 0)

$$H_k - E_p + E_a - R_0 + E_p' + R_0' + R_u = 6.3 - 68.3 + 8.0 - 6.3 + 26.0 + 4.5 + 31.2 = 1.4 \text{ kN}$$

 Grenzmoment charakteristisch (Bezugspunkt: Mitte OKF) $M_{1uk} = 102.2 \text{ kNm}$

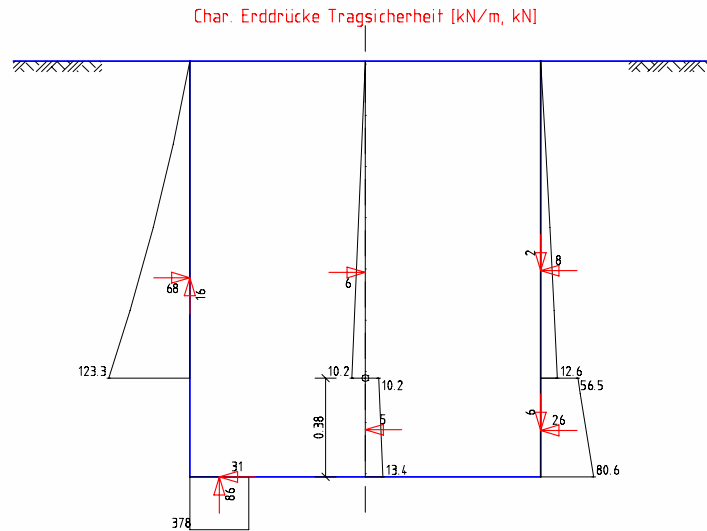
 Grenzmoment charakteristisch (Bezugspunkt: Drehpunkt) $M_{uk} = 110.1 \text{ kNm}$

Grenzmoment Tragfähigkeit (Bezugspunkt: Drehpunkt)

 Ansatz von $E_p, R_p, E_p', R_p', N_u, R_u$ mit γ_{Ep} , von R_0, R_0' mit γ_{GI}
 $M_{ud} = 79.3 \text{ kNm}$

 Moment aus Einwirkungen (äußere Lasten; E_a, R_a mit γ_G) $M_{ed} = 77.3 \text{ kNm}$

Ausnutzungsgrad $f_t = M_{ed} / M_{ud} = 77.3 / 79.3 = 0.97 < 1.00$



Nachweis der Gebrauchsfähigkeit (Ansatz charakt. Lasten) für Kombination 2

Bettungszi ffer Sti rnsei te $C1 = 30000 \text{ kN/m}^3$
 Bettungszi ffer i n Sohle $C2 = 30000 \text{ kN/m}^3$

Zul ässi ge Schiefstel lung $\text{zul. } \tan \alpha = 0.0040$
 Grenzwi nkel sti rnsei tig $\tan \alpha 1 = 0.0023$
 Grenzwi nkel Sohle $\tan \alpha 2 = 0.0025$
 Grenzmoment i n Sti rn $M1 = 32.4 \text{ kNm}$
 Grenzmoment i n Sohle $M2 = 29.7 \text{ kNm}$
 Resul tierendes Moment OK Fundament $M \alpha = 53.2 \text{ kNm}$
Ausnutzungsgrad $\text{vorh. } M / \text{mögl. } M = 42.0 / 53.2 = 0.79 < 1.00$