

34P Holzmast, elast. eingespannte Stütze + Fundament

(Stand: 26.08.2009)

Das Programm 34P ermittelt für elastisch im Boden eingespannte Holzmasten die erforderliche Einbindetiefe des Fundaments, die Bemessungsschnittgrößen, den erforderlichen Holzquerschnitt, Verformungen sowie die Nachweise der Vertikalkräfte. Basis sind die DIN 1052:2004-08 oder DIN 1052:2008-12, die DIN 1055-100 und die DIN 1054:2005-01. Die Berechnung kann auch ohne Fundament durchgeführt werden.

Leistungsumfang

System

- Elastisch im Boden eingespannter Kragarm. Die Einspannung wird durch einen räumlichen Erdwiderstand erzeugt. Fundament wie Mastquerschnitt können kreisförmig oder rechteckig sein. Die Berechnung kann auch ohne Fundament durchgeführt werden.

Einwirkungen

- Es kann ein- oder zweiachsige Beanspruchung (Normalkräfte, Horizontalkräfte, Momente) berücksichtigt werden. Sie wird vom Stützenfuß aus angegeben (s. Bild 1).

Ermittlung der erforderlichen Einbindetiefe d

- Ermittlung der Einbindetiefe nach EAB [4]

Baustoffe

- Es können alle gängigen Holzsorten verwendet werden.

Profilauswahl

- Kreisquerschnitte
- Rechteckquerschnitte

Nachweise der Tragsicherheit

- Bemessungsvorschlag durch das Programm (Kreis- oder Quadratquerschnitt)
- Nachweise nach DIN 1052

Ermittlung der Verformungen (Gebrauchstauglichkeit)

- Abschätzung der Verformungen in Folge des mobilisierten Erdwiderstands nach DIN 4085-1987.
- Elastische Verformung am Stützenkopf aus den Kombinationen der Gebrauchstauglichkeit

Nachweise der Vertikalkräfte

- Nachweis der Aufnahme der Vertikalkomponente des Erdwiderstands (falls vorhanden)
- Aufnahme der Vertikalkräfte im Untergrund über Mantelreibung und Spitzendruck
- Nachweis der Aufnahme von Zugkräften (falls vorhanden)

Grafikausgaben

- Systemdarstellung
- Lastdarstellung
- Bemessungsschnittgrößen
- Fundamentquerschnitt mit Profilskizze

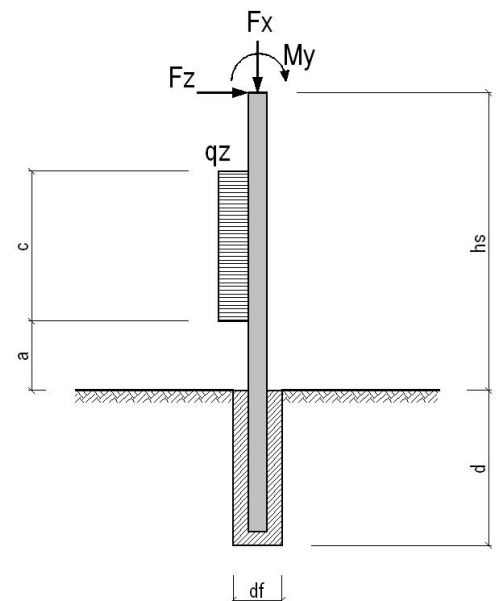


Bild 1

Systemeingaben

Das System wird beschrieben durch Systemlängen und Knicklängen. Dabei gilt die y-Achse als starke Achse, die z-Achse als die schwache Achse (s. Bild 2). Das Fundament wird als kreisförmig betrachtet.

Rechteckfundamente müssen umgerechnet werden, wobei das Programm die folgenden Möglichkeiten anbietet:

- Umrechnung in flächengleiches Fundament (bei zweiachsiger Belastung sinnvoll),
- Ansatz Durchmesser d_f = Seitenlänge b_y (bei einachsiger Belastung zu bevorzugen),
- eigene Eingabe für d_f

Berechnung ohne Fundament: Als Fundamentdurchmesser ist der Mastdurchmesser anzugeben bzw. vorzuschätzen, da er für die Ermittlung des räumlichen Erdwiderstands benötigt wird.

Bodenkennwerte:

Für den Baugrund sind die effektive Wichte γ , die Wichte unter Auftrieb γ' , der Reibungswinkel φ , der Wandreibungswinkel δ_p (negativ oder 0) sowie eine evtl. vorhandene Kohäsion anzugeben.

Die Angabe eines Grundwasserstands ist möglich.

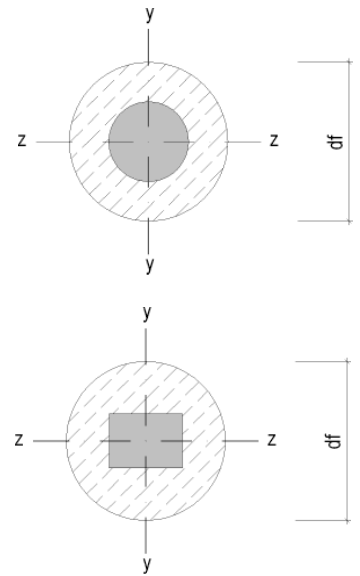


Bild 2

Hinweis: Es ist sinnvoll, mit dem Wandreibungswinkel $\delta_p=0$ zu rechnen, wenn keine nennenswerte Vertikalbelastung vorhanden ist!

Belastung:

Es kann ein- oder zweiachsige Beanspruchung (Normalkräfte, Horizontalkräfte, Momente) als Einzel- oder Streckenlasten berücksichtigt werden. Sie wird vom Stützenfuß aus angegeben (s. Bild 1). Bei der Eingabe von Momenten ist auf das Vorzeichen zu achten!

Hinweis: Zusatzmomente aus der Stützenkopferschiebung in Folge des mobilisierten Erdwiderstands (s.u.) können vom Benutzer durch die Eingabe eines Versatzmoments berücksichtigt werden.

Ermittlung der Einbindetiefe

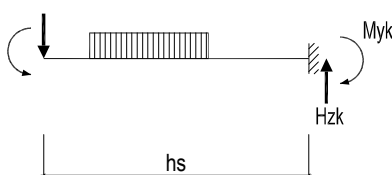
Für die Ermittlung der Einbindetiefe werden die *repräsentativen* Kombinationen der Beanspruchung angesetzt. Da eine zweiachsige Ermittlung der Einbindetiefe nicht möglich ist, werden die Beanspruchungen ab OK Gelände zu resultierenden H-Kräften bzw. Momenten zusammengefasst (Bild 3).

Der Nachweis für eine ausreichende Einbindetiefe wird nach EAB [4] geführt. Für außergewöhnliche Kombinationen, die sich aus der angegebenen Belastung ergeben sollten, werden die Teilsicherheiten des Lastfall 3 nach DIN 1054 [3], sonst die des vom Benutzer angegebenen Lastfalls angesetzt.

Der räumliche Erdwiderstand E_{phk} wird nach [6] bestimmt, ein räumlicher aktiver Erddruck als Einwirkung kann vernachlässigt werden.

Ermittlung der Einbindetiefe: Repräsentative Kombinationen

Ermittlung der char. Schnittgrößen auf OK Gelände (jeweils für z- und y-Richtung)



Ermittlung der Einbindetiefe mit resultierenden charakteristischen Einwirkungen

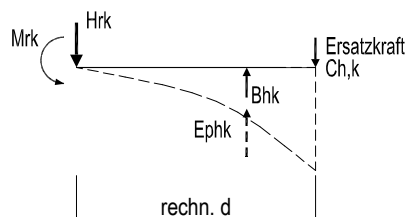


Bild 3

$$B_{hd} \leq E_{phd} \quad \text{mit} \quad B_{hd} = B_{hgk} \cdot \gamma_G + B_{hqk} \cdot \gamma_Q \quad E_{phd} = \frac{E_{phk}}{\gamma_{Ep}} \quad (\text{räumlicher Erdwiderstand!})$$

Nachweise nach DIN 1052

Alle Nachweise werden mit den Teilsicherheiten der DIN 1055-100 geführt!

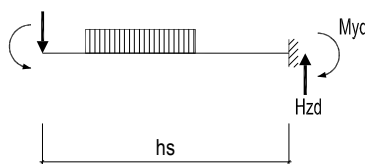
Für jede zu untersuchende Bemessungskombination muss als erstes der Ausnutzungsgrad des Erdwiderstands ermittelt werden, der mit den Einwirkungen der Bemessungskombination im Gleichgewicht steht. Erst danach können dann mit dem anteiligen, verteilten Erdwiderstand die Beanspruchungen bestimmt werden (Systeme zur Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen s. Bild 4).

Es werden die Schnittgrößen und Nachweise für diejenige Kombination ausgegeben, die den größten Ausnutzungsgrad der Nachweise ergibt.

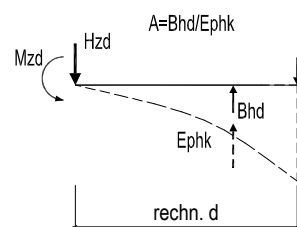
Für den Knicknachweis wird als Knicklänge die doppelte Höhe des Momentenmaximums angeboten, umgerechnet als Knickbeiwert für die Stützhöhe h_s (Analogie zur doppelten Stützhöhe bei Volleinspannung). Da das Momentenmaximum zu diesem Zeitpunkt der Berechnung noch nicht bekannt ist, wird dasjenige der Berechnung für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit herangezogen.

Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen: Kombinationen der Tragfähigkeit

Ermittlung der Design-Schnittgrößen auf OK Gelände
(jeweils für z- und y-Richtung)



Ermittlung des Ausnutzungsgrads für jede Richtung



System zur Ermittlung der Bemessungsschnittgrößen
(jeweils für z- und y-Richtung)

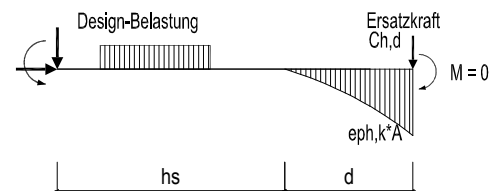


Bild 4

Nachweise der Tragfähigkeit nach DIN 1052

Nachgewiesen werden im Einzelnen:

- Nachweis der Querschnittstragfähigkeit DIN 1052 Abs. 10.2
 - Zug in Faserrichtung des Holzes 10.2.1
 - Druck in Faserrichtung des Holzes 10.2.3
 - Biegung 10.2.6
 - Biegung und Zug 10.2.7
 - Biegung und Druck 10.2.8
 - Schub aus Querkraft 10.2.9
- Nachweis des Stabes nach dem Ersatzstabverfahren DIN 1052 Abs. 10.3
 - Druckstäbe mit planmäßig mittigem Druck 10.3.1
 - Biegestäbe ohne Druckkraft 10.3.2
 - Stäbe mit Biegung und Druck 10.3.3
 - Stäbe mit Biegung und Zug 10.3.4

Hinweis: Der Nachweis der Schubspannungen erfolgt mit der Querkraft auf Höhe Gelände, da darunter der Fundamentquerschnitt zusätzlich zur Aufnahme der Beanspruchungen zur Verfügung steht.

Die Querschnittsabmessungen (Durchmesser bzw. Diagonale) dürfen höchstens den Wert Fundamentdurchmesser – 20 cm erreichen (Mindestbetonüberstand 10 cm). Diese Grenze wird im Programm überprüft. Die größten Stützenabmessungen dürfen 50 cm nicht überschreiten.

Berechnung ohne Fundament:

Die Prüfung der Querschnittsabmessungen fällt weg, im Systembild wird nur der Holzquerschnitt dargestellt. Die maßgebende Querkraft wird am Ende der rechnerischen Einbindung ermittelt und wird hierbei meist für die Bemessung maßgebend.

Es ist zu prüfen, ob der gewählte Querschnitt mit der Vorgabe des Fundamentdurchmessers für die Ermittlung der Einbindetiefe übereinstimmt!

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Abschätzung der Verformungen in Folge des aktivierten Erdwiderstands nach DIN 4085:1987-02 [5]. Für die Mobilisierung des vollen Erdwiderstands sind relativ große Bewegungen des Bauteils erforderlich. Aus diesem Grund ist der Grad des mobilisierten Erdwiderstands möglichst gering zu halten (Wahl einer größeren Einbindetiefe als rechnerisch notwendig).

Hierbei sind die Verformung unter Bruchlast s_B und die Verformung unter Gebrauchslast (=halbe Bruchlast) s_G anzugeben. Für den vorhandenen Ausnutzungsgrad A des Erdwiderstands wird daraus die Verschiebung s bzw. die Kopfverformung bestimmt (Bild 5).

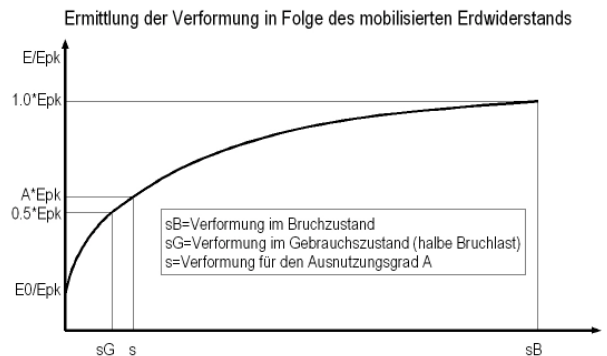


Bild 5

Anhaltswerte für die Bewegungsgrößen (d = Einbindetiefe):

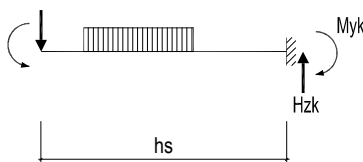
Dichter Boden:	$s_B = 0.05 \cdot d - 0.10 \cdot d$	$s_G = 0.015 \cdot d - 0.025 \cdot d$
Lockerer Boden:	$s_B = 0.10 \cdot d - 0.30 \cdot d$	$s_G = 0.020 \cdot d - 0.040 \cdot d$

Elastische Verformungen:

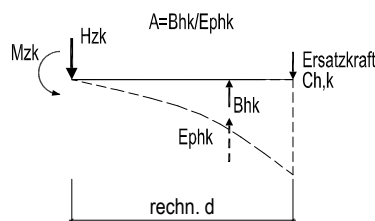
Wird die Stütze bemessen, kann auch die elastische Verformung am Stützenkopf aus den Kombinationen der Gebrauchstauglichkeit ermittelt werden. System zur Ermittlung der Verformungen s. Bild 6. Bei zweiachsiger Belastung wird die resultierende Verformung ermittelt.

Ermittlung der Verformungen: Kombinationen der Gebrauchstauglichkeit

Ermittlung der char. Schnittgrößen auf OK Gelände (jeweils für z- und y-Richtung)



Ermittlung des Ausnutzungsgrads für jede Richtung



System zur Ermittlung der Verformungen (jeweils für z- und y-Richtung)

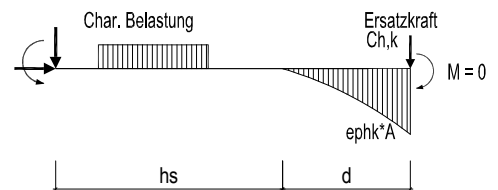


Bild 6

Nachweise der Vertikalkräfte

Nachweis der Vertikalkomponente des Erdwiderstands

Hierbei muss nachgewiesen werden, dass die Summe der nach unten gerichteten *charakteristischen* Einwirkungen (Eigenlast Wand G_k , äußere Belastung F_{vk} , Ersatzkraft C_{vk}) größer als der Vertikalanteil der Erdauflagerkraft B_{vk} ist (sog. 'inneres Gleichgewicht').

Nachweis: $S_k = F_{vk} + C_{vk} + G_k \geq B_{vk}$

Ist dieser Nachweis nicht erfüllt, muss eine Neuberechnung mit reduziertem Wandreibungswinkel δ_p durchgeführt werden!

Nachweis der Abtragung der Vertikalkräfte in den Untergrund

Dieser auch als 'äußeres Gleichgewicht' bekannte Nachweis ermittelt, ob die nach unten gerichteten Einwirkungen (äußere Belastung F_{vd} , Eigenlast des Fundaments G_d , Ersatzkraft C_v) von Spitzendruck und Mantelreibung bzw. dem Vertikalanteil der Erdauflagerkraft B_{vd} als Widerstände aufgenommen werden können. Er wird für den *Grenzzustand GZ 1B* geführt, die äußere Belastung F_{vd} wird aus den repräsentativen Einwirkungskombinationen ermittelt (Ansatz der Teilsicherheiten nach DIN 1054 [3]).

Nachweis: $S_d \leq R_d$
 $S_d = F_{vd} + G_d - C_{vd}$
 $R_d = \text{MAX}(B_{vd}; F_{sd}) + F_{bd}$

F_{sd} Mantelreibung $F_{sd} = F_{sk} / \gamma_{Ep}$ (einseitig über die Mantelfläche des Fundaments angesetzt).
 Es darf nur entweder der Erdwiderstand oder die Mantelreibung angesetzt werden. Der Wert für die Mantelreibung kann wie für Bohrpfähle nach [3] (Anhang B) angenommen werden.
 Der größere Wert aus Mantelreibung F_{sd} und Vertikalanteil des Erdwiderstands B_{vd} darf angesetzt werden.

F_{bd} Spitzendruck $F_{bd} = F_{bk} / \gamma_{Ep}$
 Der Wert für den Spitzendruck kann z.B. [3] (Anhang B) entnommen werden.

Die vom Programm angebotenen Werte für Mantelreibung und Spitzendruck orientieren sich eher an der Untergrenze des Wertespektrums.

Nachweis der Aufnahme von Zugkräften

Bei diesem Nachweis wird davon ausgegangen, dass sich ein Erdkörper an das Fundament anhängt, dessen Form vereinfacht durch einen Kegel bzw. Zylinder beschrieben werden kann (s. Bild 7). Dieser aktivierte Erdkörper bildet sich bis zu einem bestimmten Grenzdurchmesser aus; das Programm bietet einen sinnvollen Vorschlagswert an. Aus der Kubatur lässt sich das Eigengewicht des aktivierten Erdkörpers bestimmen und auf eine 'negative' Mantelreibung zurückrechnen, die jedoch nicht größer als die 'positive' angesetzt wird, die für die Aufnahme der Vertikalkräfte (Druck) oben angegeben wurde. Die Kräfte werden aus den repräsentativen Einwirkungskombinationen ermittelt (Ansatz der Teilsicherheiten nach DIN 1054 [3]).

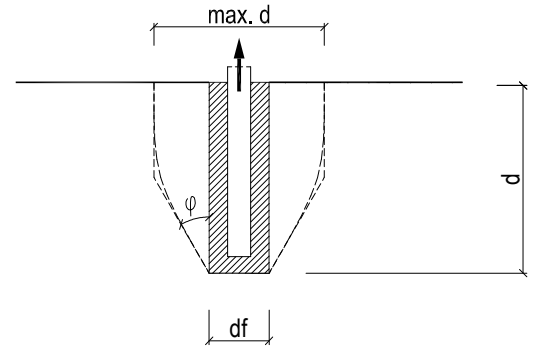


Bild 7

Nachweis: $S_d \leq F_{sd}$
 $S_d = \text{Zugkräfte } F_{dk} \cdot \gamma_{sup} - \text{Druckkräfte } F_{zk} \cdot \gamma_{inf}$
 $F_{sd} = \text{Mantelreibungskraft } F_{sd} = F_{sk} / \gamma_{Ep}$

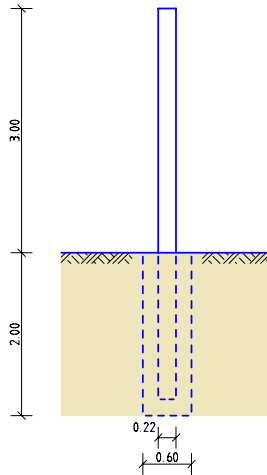
Berechnung ohne Fundament:

Statt der Fundamentgeometrie werden die Querschnittsabmessungen angesetzt, das Fundamentgewicht wird zu $G=0$ gesetzt.

Literatur

- [1] DIN 1052:2004-08 / DIN 1052:2004-08
- [2] DIN 1055-100:2001-03
- [3] DIN 1054:2005-01
- [4] Empfehlungen des Arbeitskreises 'Baugruben' (EAB), Ernst und Sohn, 2006.
- [5] DIN 4085:1987-02 und zug. Beiblatt
- [6] DIN 4085-100:1996-04

POS. 170 HOLZMAST MIT FUNDAMENT



System: Im Boden elastisch eingespannte Holzstütze

Höhe Stütze über Gelände

$h_s = 3.00 \text{ m}$

Durchmesser Fundament

$d_f = 60.0 \text{ cm}$

Charakteristische Bodenkenwerte

Wichte über / unter Wasser

$\gamma = 18.00 \text{ kN/m}^2$, $\gamma' = 10.00 \text{ kN/m}^3$

Reibungswinkel $\phi = 32.50^\circ$

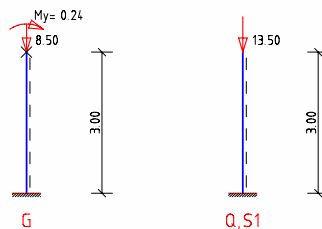
Kohäsion $c = 0.00 \text{ kN/m}^2$

Wandreibungswinkel passiv

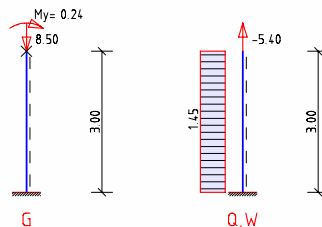
$\delta = -10.80^\circ$

Einwirkungen auf Stütze (OK Gel: $x=0$, Stützenkopf: $x=h_s$)

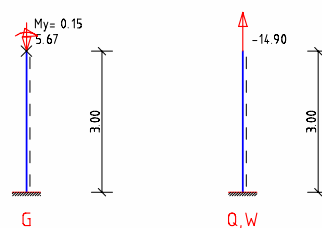
Lastfall 1, Einwirkungen (charak.)



Lastfall 2, Einwirkungen (charak.)



Lastfall 3, Einwirkungen (charak.)



EWG Ei nwi rkungsgruppe

- 1 G Stütze
- 2 Schnee
- 3 Wind senkrecht
- 4 Wind waagrecht
- 5 Windsog erhöht
- 6 G Dach
- 7 G Bauzustand

Ei nzel -Ei nwi rkungen [kN, kNm]

aus	Art Kat.	EWG	x [m]	Wert, k	ez [cm]	ey [cm]	Abmi n. Alpha
Stützensgewicht	Fx G	1	3.00	0.50	-	-	-
Schnee Dach	Fx Q, S1	2	3.00	13.50	-	-	-
Windsog vertikal	Fx Q, W	3	3.00	-5.40	-	-	-
Windsog erhöht	Fx Q, W	5	3.00	-9.50	-	-	-
Eigengewicht Dach	Fx G	6	3.00	8.00	3.0	-	-
Eigengewicht Bauzustand	Fx G	7	3.00	5.17	3.0	-	-

Strecken-Ei nwi rkungen [kN/m]

aus	Art Kat.	EWG	xu [m]	xo [m]	Wert, k unten	Wert, k oben
Wind horizontal	qz Q, W	4	0.00	3.00	1.45	1.45

Kate-
gorie
Bezei chnung
Komb. -Bei werte
Gamma

		Psi 0	Psi 1	Psi 2	sup.	inf.
G	Ständige Ei nwi rkungen	-	-	-	1.35	1.00
Q, S1	Schnee-, Eislasten: Höhe <= NN +1000 m	0.50	0.20	-	1.50	-
Q, W	Windlasten	0.60	0.50	-	1.50	-

Lastfall Ei nwi rkungsgruppen (EWG), Beschrei bung

LF 1	1, 2, 6 G Stütze + Schnee + G Dach
LF 2	1, 3, 4, 6 G Stütze + Wind senkrecht + waagrecht + G Dach
LF 3	1, 3, 5, 7 G Stütze + Wind senkrecht + Windsog erhöht + G Bauzustand

Kombi nationen nach DIN 1055-100

KNr.	LF	Bem. -Si t.	Kombi nation
6	1	Rep, P/T	G+Q, S1
18	2	T, P/T	G, sup+Q, W
20	2	Rep, P/T	G+Q, W
22	2	G, rare	G+Q, W
34	3	Rep, P/T	G+Q, W
41	3	Char	G

- Rep, P/T = Repräsentativ, ständig u. vorübergehend
 T, P/T = Tragfähigkeit, ständig u. vorübergehend
 G, rare = Gebrauchstauglichkeit, selten
 Char = Charakteristisch

Tei lsi cherhei tsbei werte nach DIN 1054: 2005-01 für Grundbau-Lastfälle

Lastfall	Bemessungssi tuation	gamma g/w	gamma q	gamma Ep	gamma Gr	Gamma GI
1	ständig	1.35	1.50	1/1.40	1/1.40	1/1.10

Berechnungsopti onen

- Anpassungsfaktor für Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) fp = 1.00
- Ansatz der Kohäsion beim Erdwiderstand (Reduktionsfaktor) fc = 1.00

Erddruckbeiwerte (ebene Berechnung)

Kpgh = 4.584, Kpch = 0.000

Charakteristische Erddruckverteilung [kN/m] für Einbindetiefe $d = 1.30$ m
 Horizontaler und vertikaler räumlicher Erdwiderstand nach DIN V 4085-100

Tiefe unter Gel. [m]	Lamellendicke [m]	ephk [kN/m ²]	epvk [kN/m ²]
0.00	-	0.0	0.0
-0.26	0.26	25.6	4.9
-0.52	0.26	59.6	11.4
-0.78	0.26	102.0	19.5
-1.04	0.26	152.7	29.1
-1.30	0.26	211.8	40.4

Charakteristische Einwirkungen auf OK Gelände für Kombination 20 (kN, kNm):

	Fx	Hx	Hy	Hres	My	Mz	Mres
ständig	8.5	0.0	0.0	0.0	-0.2	0.0	0.2
nichtständig	-5.4	4.4	0.0	4.4	-6.5	0.0	6.5

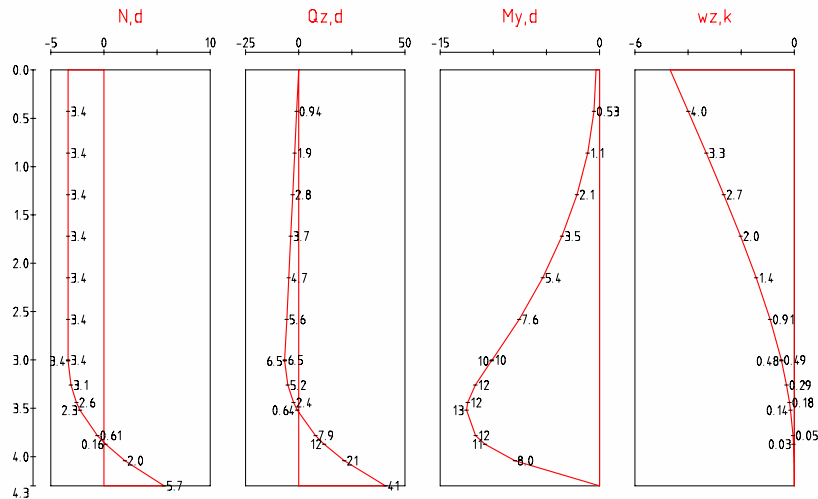
Erdwiderstand räumlich		Ephrk =	69.6,	Ephrd =	49.7 kN
Erdauflager	Bhgk =	0.6,	Bhqk =	31.0,	Bhk = 31.6 kN
Ersatzkraft Wandfuß	Chgk =	0.6,	Chqk =	26.7,	Chk = 27.3 kN

Nachweis der Einbindetiefe

 Bemessungswert der Auflagerkraft Bhd = 47.4 kN

 Bemessungswert des räumlichen Erdwiderstands Ephrd = 49.7 kN
Ausnutzungsgrad **Bhd/Ephrd = 47.4 / 49.7 = 0.95 < 1.00**
Erforderliche Einbindetiefe erf. $d = 1.20 * 1.30 = 1.56$ m, gew. $d = 2.00$ m
Bemessungsschnittgrößen (Komb. 18) und charakt. Verformungen (Komb. 22)

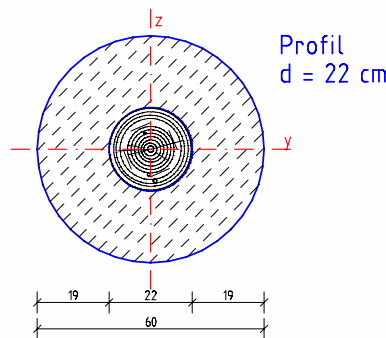
Tiefe über Gel. [m]	N, d [kN]	Qz, d [kN]	My, d [kNm]	wz, k^*E^*I [cm*MN*m ²]	Qy, d [kN]	Mz, d [kNm]	wy, k^*E^*I [cm*MN*m ²]
3.00	-3.4	0.0	-0.3	-4.67	-	-	-
2.57	-3.4	-0.9	-0.5	-3.99	-	-	-
2.14	-3.4	-1.9	-1.1	-3.31	-	-	-
1.71	-3.4	-2.8	-2.1	-2.65	-	-	-
1.28	-3.4	-3.7	-3.5	-2.02	-	-	-
0.85	-3.4	-4.7	-5.4	-1.43	-	-	-
0.42	-3.4	-5.6	-7.6	-0.91	-	-	-
0.00	-3.4	-6.5	-10.1	-0.49	-	-	-
-0.01	-3.4	-6.5	-10.2	-0.48	-	-	-
-0.26	-3.1	-5.2	-11.7	-0.29	-	-	-
-0.44	-2.6	-2.4	-12.4	-0.18	-	-	-
-0.52	-2.3	-0.6	-12.5	-0.14	-	-	-
-0.78	-0.6	7.9	-11.7	-0.05	-	-	-
-0.87	0.2	12.0	-10.8	-0.03	-	-	-
-1.04	2.0	21.5	-8.0	-0.01	-	-	-
-1.30	5.7	40.8	0.0	0.00	-	-	-



Bemessung: $l_{ef,y} = 2.35 * 3.00 = 7.05 \text{ m}$, $l_{ef,z} = - * - = - \text{ m}$

Baustoff: Nadel hol z C24
Gewähl t:

Nutzungsklasse 3
 Rundhol z d = 22.0 cm



Querschnittswerte

Nr.	A [cm ²]	Wy [cm ³]	Wz [cm ³]	Wx/Wt [cm ³]	Iy [cm ⁴]	Iz [cm ⁴]	Ix/Iz	iy [cm]	iz [cm]
1	380.1	1045.4	1045.4	-	11498.9	11498.9	-	5.50	5.50

Grenzzustand der Tragfähigkeit

Knick- und Kippbeiwerte

KNr.	y-Achse			z-Achse			Kippen	
	Lambda	Lambda, rel	kc	Lambda	Lambda, rel	kc	Lambda, rel	km
18	128.18	2.1834	0.191	128.18	2.1834	0.191	-	1.00

Nachweise gem. DIN 1052 (maßgebende Querkraft auf OK Gel.)

KNr.	Kmod	Sc,0	Sm,y	Sm,z	Tau,y	Tau,z	Tau,x	fc,0	fm,y	fm,z	fv	fv,x
18	0.70	-0.06	-12.0	-	-	-0.23	-	11.31	12.92	12.92	1.08	1.08

Nachweise gem. DIN 1052 (maßgebende Querkraft auf OK Gel.)

Bezeichnung	KNr.	Gl.	Formel	Ausnutzung
Biegung und Druck	18	[71]	$0.03 + 0.93 + 1.00 * 0.00$	= 0.95 < 1
	18	[72]	$0.03 + 1.00 * 0.93 + 0.00$	= 0.95 < 1
Schub aus Querkraft	18	[59]	$0.23/1.08$	= 0.21 < 1

Abschätzung der Verformungen durch mobilisierten Erdwiderstand nach DIN 4085

Erdruckbeiwerte Erdwiderstand $K_{ph} = 4.584$, Ruhedruck $K_{0h} = 0.463$
 Abmessungen: Einbindetiefe $d = 2.00$ m, Stützhöhe $h_s = 3.00$ m
 Verformung unter Bruchlast $s_B = 0.120 \cdot d$, unter halber Bruchlast $s_G = 0.012 \cdot d$
 Max. char. $E_{ph} = 141.4$ kN, rechn. $B_{kh} = 31.6$ kN, Mobilisierungsgrad 0.224
 Verformungen Höhe Gelände $w_{g1} = 0.9$, Stützenkopf $w_{k1} = 2.2$ cm (= $h_s / 135$)

Elastische Verformungen (Ansatz ab OK Gelände): Stützenkopf $w_{k2} = 3.3$ cm

Gesamtverformungen Höhe Gelände $w_g = 0.9$ cm, Stützenkopf $w_k = 5.5$ cm
 $w_k = h_s / 54$

Nachweis der Vertikal Komponente des Erdwiderstands (charakteristische Werte)

Ständige äußere Vertikal lasten (Kombination 41)	$F_{vk} =$	5.7 kN
Eigenlast Stütze/Fund.	$G_k =$	12.3 kN
Vertikale Ersatzkraft Erdauflager ($\Delta c = 10.83^\circ$)	$C_{vk} =$	5.2 kN
	Summe: $V_k =$	23.2 kN

Vertikalanteil des Erdaufagers (mob. Erdwiderstand) $B_{vk} = 6.0$ kN

Nachweis ($V_k \geq B_{vk}$): $V_k / B_{vk} = 23.2 / 6.0 = 3.84 > 1.00$

Nachweis der Abtragung der Vertikalkräfte in den Untergrund (Kombination 6)

Teilsicherheitsbeiwert für Druckpfahlwiderstand	$\gamma_p =$	1.40
Grundwert der Mantelreibung	$q_{sk} =$	20.0 kN/m ²
Grundwert Spitzendruck	$q_{bk} =$	350.0 kN/m ²

Äußere Vertikal lasten	$F_{vd} =$	31.7 kN
Eigenlast Stütze/Fund.	$G_d =$	16.6 kN
Vertikale Ersatzkraft Erdauflager ($\Delta c = 10.83^\circ$)	$C_{vd} =$	-7.8 kN
	Summe: $S_d =$	40.5 kN

Mantelreibungskraft ($A_s = 1.885$ m ²)	$F_{sd} =$	26.9 kN
Spitzendruckkraft ($A_b = 0.283$ m ²)	$F_{bd} =$	70.7 kN
	Summe: $R_d =$	97.6 kN

Nachweis ($S_d \leq R_d$): $S_d / R_d = 40.5 / 97.6 = 0.41 < 1.00$

Aufnahme der Zugkräfte (Kombination 34)

(Günstig wirkende ständige Lasten werden mit γ_{inf} angesetzt!)

Zugkräfte	$F_{zd} =$	-22.4 kN
Druckkräfte ständig G_{inf}	$G_d = 17.9 \cdot 1.00 =$	17.9 kN
Resultierende Beanspruchung (Zug negativ)	$S_d =$	-4.4 kN

Aktivierter Erdkörper:	Winkel Kegel fläche $\Delta a =$	32.50 °
Maximaler Durchmesser Erdkörper	max. $d =$	2.00 m
Gewicht Erdkörper $G_k = 69.6$ kN => rechn. Mantelreibung	$q_{sk} =$	18.5 kN/m ²
Mantelreibungskraft ($A_s = 3.770$ m ²)	$F_{sd} = 69.6 / 1.40 =$	49.7 kN

Nachweis ($S_d \leq F_{sd}$): $S_d / F_{sd} = 4.4 / 49.7 = 0.09 < 1.00$