

45P Stahlmast, elast. eingespannte Stütze + Fundament

(Stand: 15.05.2009)

Das Programm 45P ermittelt für elastisch im Boden eingespannte Stahlmasten die erforderliche Einbindetiefe des Fundaments, die Bemessungsschnittgrößen, das erforderliche Profil (DIN 18800, [1]), Verformungen sowie die Nachweise der Vertikalkräfte. Es wird hierbei die Kombinatorik der DIN 1055-100 [2] angesetzt.

Die Berechnung kann auch ohne Fundament durchgeführt werden.

Leistungsumfang

System

- Elastisch im Boden eingespannter Kragarm. Die Einspannung wird durch einen räumlichen Erdwiderstand erzeugt. Das Fundament kann 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 Stahlsorten verwendet werden.

Profilauswahl

- Alle doppelt-symmetrischen I-Profile
- Nahtlose Stahlrohre
- Rechteck-Hohlprofile
- Quadrat-Hohlprofile

Nachweise der Tragsicherheit

- Bemessungsvorschlag durch das Programm
- Tragsicherheitsnachweis über Flächenaufteilung
- b/t-Nachweis
- Vereinfachter Beulnachweis
- Beulnachweis
- Biegeknicknachweis (falls erforderlich)
- Biegedrillknicknachweis (falls erforderlich)

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

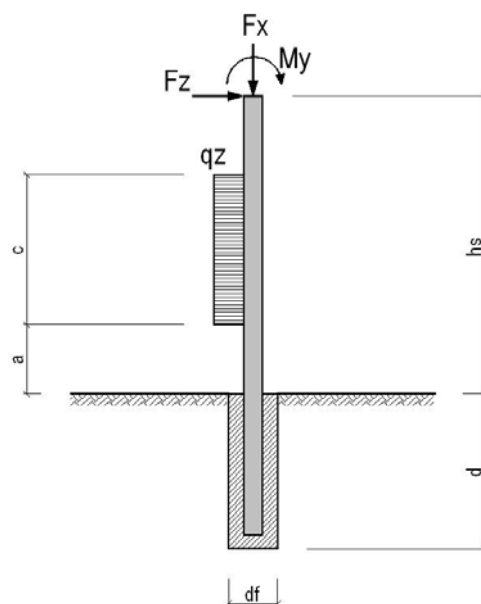


Bild 1

$$E_{\text{phd}} = \frac{E_{\text{phk}}}{\gamma_{\text{Er}}} \quad (\text{räumlicher Erdwiderstand!})$$

Nachweise nach DIN 18800

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

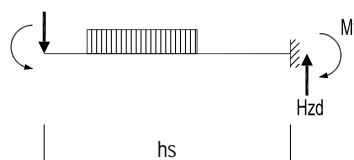
Für jede zu untersuchende Bemessungskombination muss als erstes der Ausnutzungsgrad des Erdwiderstands ermittelt werden, der mit den Einwirkungen der Bemessungskombination im Gleichgewicht steht. Erst danach können dann mit dem anteiligen, verteilten Erdwiderstand die Beanspruchungen bestimmt werden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

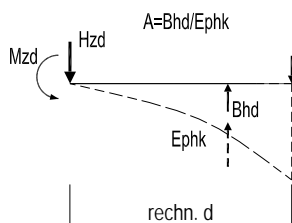
Für den Knicknachweis wird als Knicklänge die doppelte Höhe des Momentenmaximums angeboten, umgerechnet als Knickbeiwert für die Stützhöhe h_s (Analogie zur doppelten Stützhöhe bei Volleinspannung). Da das Momentenmaximum zu diesem Zeitpunkt der Berechnung noch nicht bekannt ist, wird dasjenige der Berechnung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

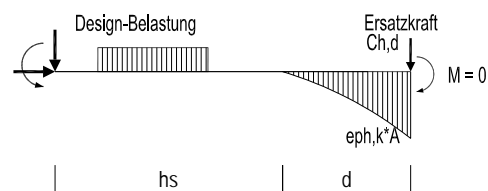


Bild 4

Tragsicherheitsnachweis nach DIN 18800 Teil 1, Element (753)

Es werden den einzelnen Beanspruchungen geeignete Teilflächen zugewiesen. Die Momente $M_{y,d}$ und $M_{z,d}$ werden symmetrisch den Teilflächen mit größtmöglichem Schwerpunktabstand zugeordnet. Die Querkraft $V_{z,d}$ wird bei I-Profilen den Teilen des Stegs, die Querkraft $V_{y,d}$ den Teilen des Gurts zugewiesen, die nicht bereits durch Momente belegt sind. Die Normalkraft $N_{x,d}$ füllt vom Schwerpunkt aus die restlichen Flächen, so dass keine Exzentrizität auftritt. Für die Aufnahme von $M_{y,d}$, $M_{z,d}$ und $N_{x,d}$ ist darüber hinaus die gesamte verbleibende Fläche geeignet.

Die Nachweiswerte beschreiben das Verhältnis der vorhandenen Beanspruchungen zur beanspruchten (bzw. zugewiesenen) Fläche unter Berücksichtigung noch freier Teilflächen (= Teilbeanspruchbarkeit), die zum Abtragen solcher Beanspruchung geeignet wären.

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 dürfen den Wert Fundamentdurchmesser – 20 cm nicht überschreiten (Mindestbetonüberstand 10 cm).

Berechnung ohne Fundament:

Die Prüfung der Querschnittsabmessungen fällt weg, im Systembild wird nur der Profilquerschnitt 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!

Beulnachweis: b/t-Nachweis

Aus der obigen Bemessung sind für die b/t-Nachweise alle Flächen, die durch Druck beansprucht sind, bekannt. Der b/t -Nachweis wird nur für beulgefährdete Teilflächen geführt, z.B. für den Steg von I-Profilen, nicht aber für deren Gurt.

Vereinfachter Beulnachweis nach DIN 18800, Teil 2

Wenn der b/t-Nachweis nicht erfüllt ist, wird die durch Beulen reduzierte Querschnittsfläche ermittelt. Im Falle einer Reduktion der Teilflächen werden alle notwendigen Querschnittswerte ermittelt und zur weiteren Anwendung ausgegeben.

Beulnachweis nach DIN 18800, Teil 3

Wenn durch den vereinfachten Beulnachweis nach Teil 2 die Querschnittsfläche reduziert worden ist oder die Bedingungen (79) und (80) aus Teil 2 nicht erfüllt sind, so wird der allgemeine Beulnachweis unter Berücksichtigung von Schub nach Teil 3 durchgeführt. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so kann der Nachweis von Biegeknicken oder Biegedrillknicken mit den reduzierten Querschnittswerten durchgeführt werden.

Biegeknickenachweis nach DIN 18800, Teil 2

Durch die Systemeingabe sind die Lager- bzw. Randbedingungen erfasst. Die Momentenbeiwerte werden durch die Querbewehrung berücksichtigt. Der Biegeknicken-Nachweis wird je nach vorhandenen Einwirkungen mittels des *Ersatzstabverfahrens* aus DIN 18800, Teil 2, Bedingungen (3), (24), (28), durchgeführt. In diesen Bedingungen sind die Imperfektion und Zusatzausmitte aus Theorie II. Ordnung eingearbeitet, so dass mit den Schnittkräften aus Theorie I. Ordnung gerechnet werden kann. Ein Nachweis nach Theorie II. Ordnung ist nicht erforderlich.

Biegedrillknicken nach DIN 18800, Teil 2

Folgende Nachweise werden geführt:

- Nachweis des Druckgurtes als Druckstab nach Bedingungen (12) bis (15)
- Element (311), Bedingung (16) bis (18)
- Element (320), Bedingung (27)
- Element (323), Bedingung (30)

Die maßgebende Bedingung wird im Textformular ausgegeben. Für den Nachweis erforderliche System- und Belastungsbeiwerte können vom Anwender verändert werden.

Ist eine Bedingung nicht erfüllt, so wird die darauffolgende Bedingung geprüft bzw. ein höherer Nachweis geführt.

Dieser Nachweis entfällt, wenn es sich um einen Hohlquerschnitt handelt (303).

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).

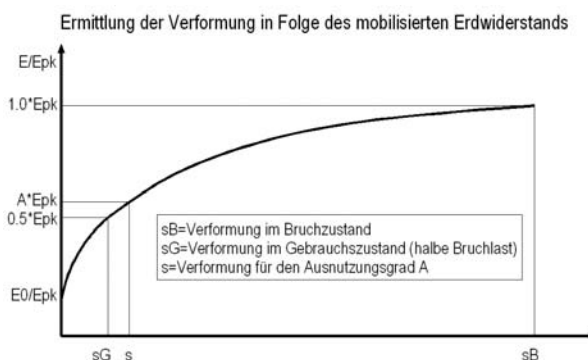


Bild 5

Anhaltswerte für die Bewegungsgrößen (d = Einbindetiefe):

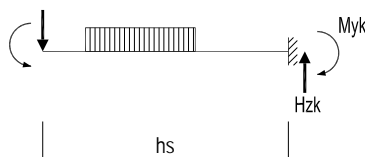
Dichter Boden:	$s_B = 0.05 \cdot d - 0.10 \cdot d$	$s_G = 0.015 \cdot d - 0.025 \cdot d$
Lockerer Boden:	$s_B = 0.10 \cdot d - 0.30 \cdot d$	$s_G = 0.020 \cdot d - 0.040 \cdot d$

Elastische Verformungen:

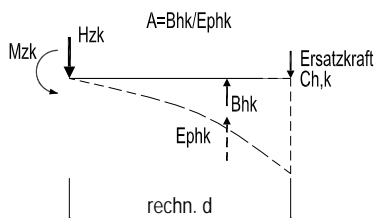
Wird die Stütze bemessen, kann auch die elastische Verformung am Stützenkopf aus den Kombinationen der Gebrauchstauglichkeit ermittelt werden. System zur Ermittlung der Verformungen s. Bild 6. Bei zweiachsiger Belastung wird die resultierende Verformung ermittelt.

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)

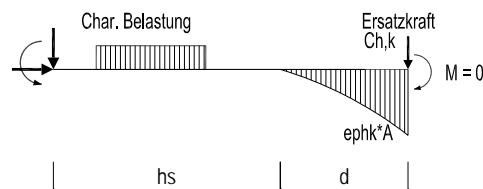


Bild 6

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.

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 [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.

Nachweis: $S_d \leq F_{sd}$

$$S_d = \text{Zugkräfte } F_{dk} \cdot \gamma_{sup} - \text{Druckkräfte } F_{zk} \cdot \gamma_{inf}$$

$$F_{sd} = \text{Mantelreibungskraft } F_{sd} = F_{sk} / \gamma_{Ep}$$

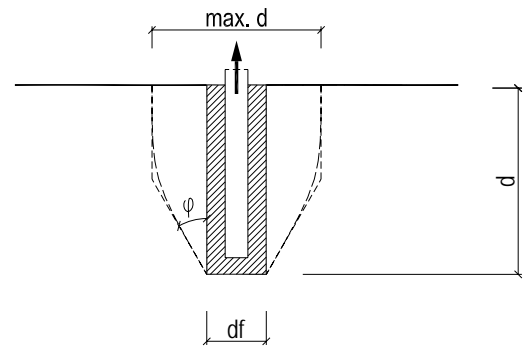


Bild 7

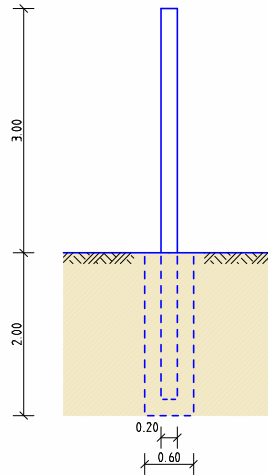
Berechnung ohne Fundament:

Statt der Fundamentgeometrie werden die Querschnittsabmessungen angesetzt, das Fundamentgewicht wird zu $G=0$ gesetzt. Als Aufstandsfläche darf der umrissene Trägerquerschnitt angesetzt werden (s. [4], EB 85).

Literatur

- [1] DIN 18800:1990-11, Teil 1-3
- [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. 20 STAHLMAST MIT FUNDAMENT



System: Im Boden elastisch eingespannte Stahlstütze

Höhe Stütze über Gelände

$h_s = 3.00 \text{ m}$

Durchmesser Fundament

$d_f = 60.0 \text{ cm}$

Charakteristische Bodenkennwerte

wichte über / unter wasser

$\gamma = 20.00 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 12.00 \text{ kN/m}^3$

Reibungswinkel $\phi = 35.00^\circ$

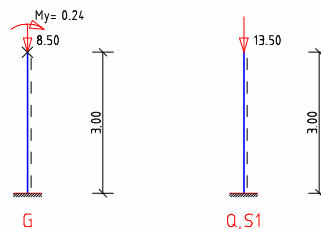
kohäsion $c = 0.00 \text{ kN/m}^2$

wandreibungswinkel passiv

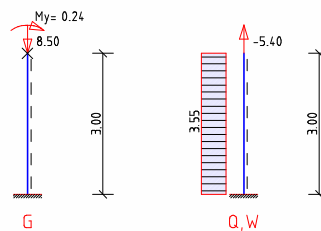
$\delta p = -11.70^\circ$

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

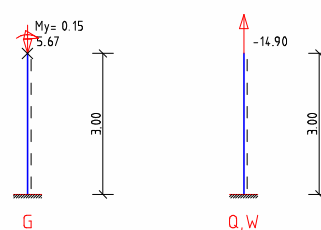
Lastfall 1, Einwirkungen (charak.)



Lastfall 2, Einwirkungen (charak.)



Lastfall 3, Einwirkungen (charak.)



EWG Einwirkungsgruppe

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

Einzel-Einwirkungen [kN,kNm]

aus	Art	Kat.	EWG	x [m]	wert,k	ez [cm]	ey [cm]	Abmin. Alpha
Eigengewicht Mast	Fx	G	1	3.00	0.50	-	-	-
Schnee aus 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-Einwirkungen [kN/m]

aus	Art	Kat.	EWG	xu [m]	xo [m]	wert,k unten oben
Wind horizontal	qz	Q,W	4	0.00	3.00	3.55 3.55

**Kate-
gorie**
Bezeichnung
Komb.-Beiwerte

Psi0 Psi1 Psi2

Gamma

sup. inf.

G	Ständige Einwirkungen	-	-	-	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 Einwirkungsgruppen (EWG), Beschreibung

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

Kombinationen nach DIN 1055-100

KNr.	LF	Bem.-Sit.	Kombination
6	1	Rep,P/T	G+Q,S1
16	2	T,P/T	G,inf+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

Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054:2005-01 für Grundbau-Lastfälle

Lastfall	Bemessungssituation	gamma g/w	gamma q	gamma Ep	gamma Gr	Gamma G1
1	ständig	1.35	1.50	1/1.40	1/1.40	1/1.10

Berechnungsoptionen

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

Erddruckbeiwerte (ebene Berechnung)

kpgh = 5.368, kpch = 0.000

Charakteristische Erddruckverteilung [kN/m] für Einbindetiefe $d = 1.60$ 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
-0.32	0.32	42.6	8.8
-0.64	0.32	101.7	21.1
-0.96	0.32	177.3	36.7
-1.28	0.32	269.4	55.8
-1.60	0.32	377.9	78.3

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	10.7	0.0	10.7	-16.0	0.0	16.0

Erdwiderstand räumlich

Ephrk = 149.7, Ephrd = 107.0 kN

Erdaufleger

Bhgk = 0.5, Bhqk = 69.2, Bhk = 69.7 kN

Ersatzkraft wandfuß

chgk = 0.5, chqk = 58.6, Chk = 59.1 kN

Nachweis der Einbindetiefe

Bemessungswert der Auflagerkraft

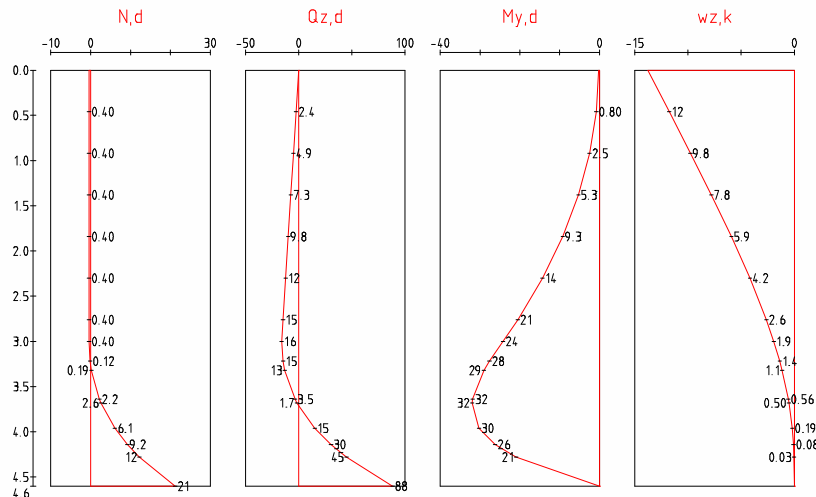
Bhd = 104.5 kN

Bemessungswert des räumlichen Erdwiderstands

Ephrd = 107.0 kN

Ausnutzungsgrad
Bhd/Ephrd = 104.5 / 107.0 = 0.98 < 1.00
Erforderliche Einbindetiefe erf.d = 1.20 * 1.60 = 1.92 m, gew.d = 2.00 m
Bemessungsschnittgrößen (Komb. 16) und charakt. verformungen (Komb. 22)

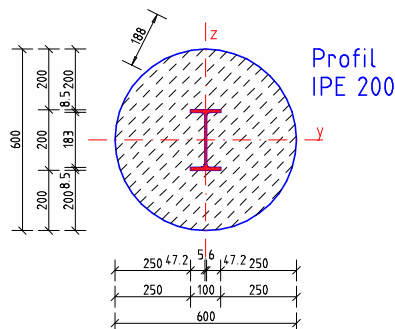
Tiefe über Gel. [m]	N, d [kN]	Qz, d [kN]	My, d [kNm]	wz, k*E*I [cm*MN*m ²]	Qy, d [kN]	Mz, d [kNm]	wy, k*E*I [cm*MN*m ²]
3.00	-0.4	0.0	-0.2	-13.79	-	-	-
2.54	-0.4	-2.4	-0.8	-11.77	-	-	-
2.08	-0.4	-4.9	-2.5	-9.77	-	-	-
1.62	-0.4	-7.3	-5.3	-7.81	-	-	-
1.16	-0.4	-9.8	-9.3	-5.92	-	-	-
0.70	-0.4	-12.2	-14.3	-4.17	-	-	-
0.24	-0.4	-14.7	-20.5	-2.62	-	-	-
0.00	-0.4	-16.0	-24.2	-1.93	-	-	-
-0.22	-0.1	-14.6	-27.6	-1.37	-	-	-
-0.32	0.2	-13.1	-29.0	-1.14	-	-	-
-0.64	2.2	-3.5	-31.9	-0.56	-	-	-
-0.68	2.6	-1.7	-32.0	-0.50	-	-	-
-0.96	6.1	15.2	-30.3	-0.19	-	-	-
-1.14	9.2	30.5	-26.2	-0.08	-	-	-
-1.28	12.2	45.1	-21.0	-0.03	-	-	-
-1.60	21.2	88.4	0.0	0.00	-	-	-



Bemessung: sky = 2.45 * 3.00 = 7.35 m, skz = - * - = - m

Werkstoff: St 37-2, Erzeugnisdicke: t ≤ 40 mm, Gamma_M = 1.10
 Streckgrenze: f_{y,k} = 240 N/mm², Elastizitäts-Modul: E = 210000 N/mm²
 Zugfestigkeit: f_{u,k} = 360 N/mm², Schub-Modul: G = 81000 N/mm²

gew. 1 x IPE 200



A = 28.5 cm², w_y/w_z = 194 / 29 cm³, I_y/I_z = 1940 / 142 cm⁴
 Höhe/Breite h/b = 200 / 100 mm, Steg-/Flanschdicke t_s/t_g = 5.6 / 8.5 mm

Nicht reduzierte plastische Widerstände: N_{pl,d} = 621.5 kN
 w_{pl,y} / w_{pl,z} = 221 / 45 cm³, M_{pl,y} / M_{pl,z} = 48.1 / 9.7 kNm
 v_{pl,z} / v_{pl,y} = 135.1 / 214.1 kN

Tragsicherheitsnachweis (EL-PL) durch Flächenaufteilung

Mit Begrenzung von w_{pl} auf 1.25*w_{el} (bzw. Erhöhung von M_d)

	Einwirkungen und Funktionswerte f=S _d /R _d (Ausnutzungsgrade)									
	N _{x,d}	f _n	M _{y,d}	f _{my}	M _{z,d}	f _{mz}	V _{z,d}	f _{vz}	V _{y,d}	f _{vy}
max. M _{y,d}	-2.6/0.009		-32.0/0.664		- / -		-1.7/0.013		- / -	
max. V _{z,d}	0.4/0.001		-24.2/0.504		- / -		-16.0/0.118		- / -	

Beulnachweis Steg vorh. (b/t) = 28.39 < 999.9 = Grenz(b/t)

Biegeknicknachweis (EL-PL) nach DIN 18800, T2, Abschnitt 3

Verzweigungslasten

N_{ki,v,k} = 841.6 kN, N_{ki,y,k} = 744.3 kN, N_{ki,z,k} = 54.5 kN
 Normalkraftbeiwert kappa = 0.695, Momentenbeiwerte k_y = 1.002, k_z = 0.000

Nachweis (28): 0.057 + 0.666 + 0.000 = 0.722 < 1.00

