

Sicherheitsnachweise für axial belastete Bohrpfähle

Thomas Wolff, Karl Josef Witt

1. Grundlagen und Regelwerke

Durch einen globalen Sicherheitsfaktor tragen die bisher gültigen Normen DIN 4014 (1990-03) für Bohrpfähle, DIN 4026 (1975-08) für Rammpfähle und DIN 4128 (1983-04) den Sicherheitsansprüchen Rechnung. Dabei wird die Beanspruchbarkeit aus Mantelreibungswiderstand und/oder Spitzenwiderstand den Beanspruchungen gegenübergestellt.

In der DIN 1054 (Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau) vom Januar 2003, die künftig die Bemessung und die geotechnischen Nachweise für Pfähle und Pfahlgründungen regeln wird, bleibt die Methode der Ermittlung der charakteristischen Widerstände gleich. Im Unterschied zu den oben aufgeführten Normen, werden sowohl die Beanspruchungen als auch die Beanspruchbarkeiten mit Teilsicherheitsbeiwerten belegt.

Ursprünglich ergänzend zur EN 1997-1 (EC 7) als Nationales Anwendungsdokument aufgestellt, ist die Norm heute neben dem EC 7 als nationale Vorschrift anwendbar. Weitere Erläuterungen zum Teilsicherheitskonzept im aktuellen Normenwesen werden in [1] gegeben.

Mit der Herstellung von Pfählen befassen sich in der VOB Teil C DIN 18 301 (Bohrpfähle), und DIN 18304 (Rammpfähle).

Mit der bauaufsichtlichen Einführung der DIN 1054: 2003-01 werden die bisherigen deutschen Normen

- DIN 1054: 1976-11 (Baugrund; zulässige Belastung des Baugrunds)
- DIN 4014: 1990-03 (Bohrpfähle; Herstellung, Bemessung und Tragverhalten)
- DIN 4125: 1990-11 (Verpreßanker, Kurzzeit- u. Daueranker; Bemessung, Ausführung, Prüfung)
- DIN 4026: 1975-08 (Rammpfähle; Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung)
- DIN 4128: 1983-04 (Verpresspfähle; (Ortbeton- und Verpresspfähle) mit kleinen Durchmesser; Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung

ganz oder teilweise ersetzt.

Sowohl die DIN 1054 als auch EN 1997-1 behandeln die Sicherheitsnachweise für Pfähle explizit in eigenen Kapiteln. EN 1997-1 regelt für Bohr- und Rammpfähle unter Zug-, Druck-, und Querbelastung die Nachweisverfahren, die Grenzzustände, die Teilsicherheitsbeiwerte und gibt Hinweise zur Bauausführung und Überwachung. In DIN 1054 wird der Nachweis der axialen Tragfähigkeit wesentlich ausführlicher behandelt als in den bisherigen Normen. In Anhang B sind die aus DIN 4014 bekannten Erfahrungswerte für die charakteristischen axialen Pfahlwiderstände (Mantelreibung und Spitzendruck), abgestimmt auf die Teilsicherheitsbeiwerte, angegeben. Erfahrungswerte der charakteristischen axialen Pfahlwiderstände für gerammte Verdrängungspfähle und verpresste Mikropfähle werden in dem Anhang C und D gegeben. In Anhang E wird informativ die Verteilung von Einwirkung und Widerstand für quer zur Pfahlachse belasteten Pfahlgruppen aufgezeigt.

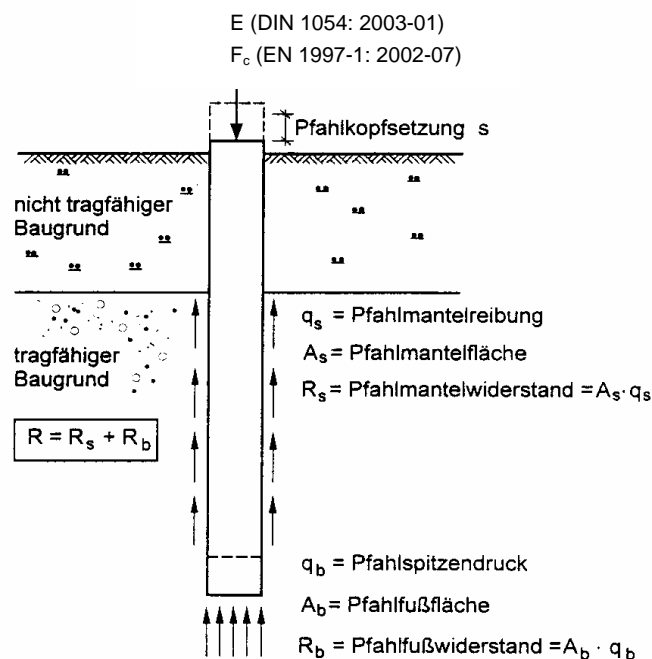
Zum Nachweis der inneren Tragfähigkeit von Stahlbeton wird DIN 1045: 1988-07 durch DIN 1045: 2001-07 ersetzt.

Für die Ausführung gelten künftig die europäischen Normen des Spezialtiefbau

- DIN EN 1536: 1999-06 (Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau); Bohrpfähle
- DIN EN 15699: 2001-05 (Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau); Verdrängungspfähle
- DIN EN 14199: Entwurf (Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau); Mikropfähle.

Die Einwirkungen und Widerstände sind in nachfolgendem Bild veranschaulicht.

Das Beispiel in Kapitel 2 erläutert die Nachweise für Bohrpfähle.



Für Verdrängungspfähle aus Stahl- oder Spannbeton ist der Nachweis der Tragfähigkeit vom Grundsatz her gleich. Nur müssen bei der Ermittlung der Widerstände $R_{1,k}$ die entsprechenden Bruchwerte der Mantelreibung und Spitzenwiderstände (Anhang C, DIN 1054 (2003-01)) angesetzt werden.

„Bei geramten Fertigteilverdrängungspfählen aus Stahl- und Spannbeton kann ein gesonderter Nachweis der Pfahltragfähigkeit im Grenzzustand GZ 2 entfallen.“

Für Verdrängungspfähle aus Holz werden analog zur bisherigen Praxis DIN 4026 charakteristische Pfahlwiderstände in Tabelle C.3 angegeben.

Ähnliches gilt beim Nachweisen der Tragfähigkeit von verpressten Mikropfähle, bei denen nur die Mantelreibung auf der Widerstandsseite in Ansatz gebracht wird.

„ Falls im Ausnahmefall für verpresste Mikropfähle ($D \leq 0,30$ m) keine Probelastung ausgeführt werden, darf der charakteristische axiale Pfahlwiderstand $R_{1,k}$ im GZ 1B nach Gleichung (D.1) mit den Werten der Tabelle D.1 für Druck- und Zugpfähle nach Ansatz

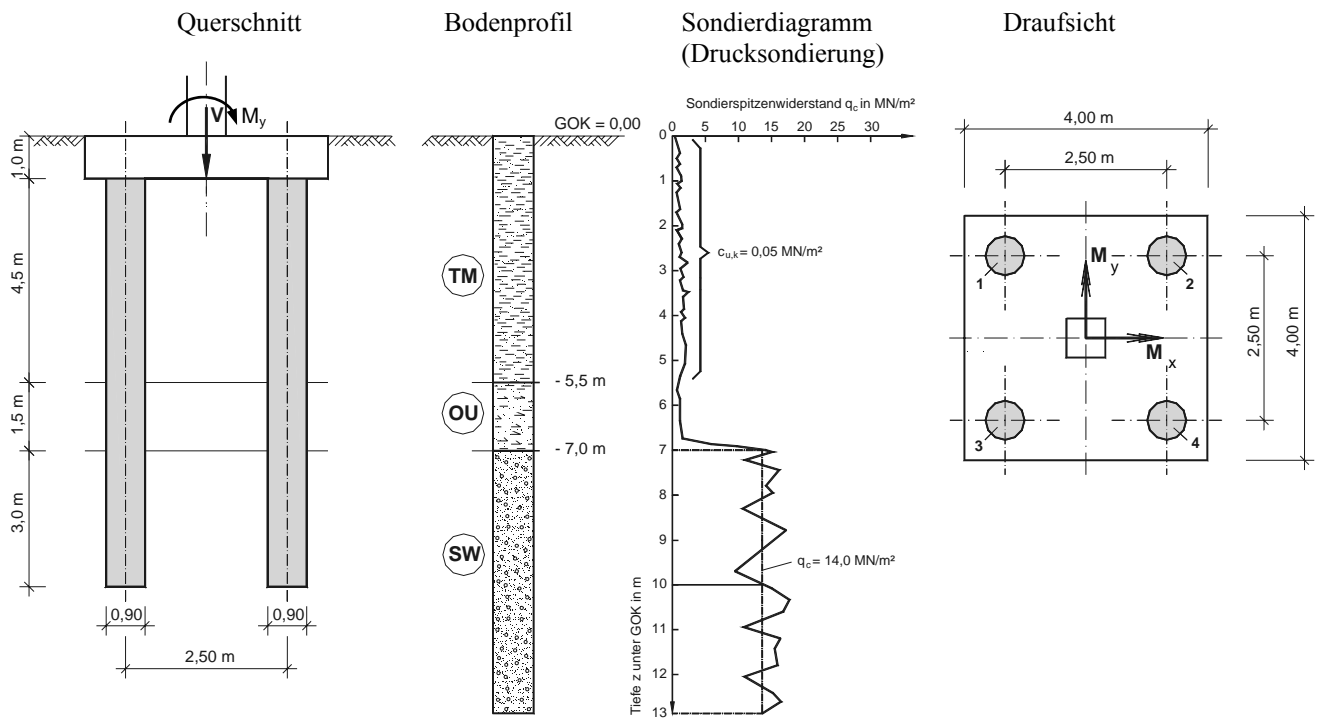
$$R_{1,k} = R_{s1,k} = \sum_i q_{s1,k,i} \cdot A_{s,i} \text{ ermittelt werden}^{\ast}$$

2. Beispiel für den Nachweis der Tragfähigkeit von Bohrpfählen

Vergleich EN 1997-1 und DIN 1054

2.1 Aufgabe

Die Stahlbeton - Außenstützen einer Produktionshalle werden auf 4 Bohrpfählen mit einem Pfahldurchmesser von $D_s = D_b = 0,90$ m gegründet. Die Baugrundverhältnisse und die auf die Pfahlkopfplatte wirkenden Belastungen sind der nachstehenden Abbildung zu entnehmen. Das Beispiel baut auf dem in [3] zur DIN 1054-100 verglichenem auf.



Anteile		Ständige Einwirkung g	Veränderliche Einwirkung q
Vertikallast V	[MN]	1,50	0,20
Momente $M_x = M_y$	[MNm]	0,30	0,20

Tabelle 1: Charakteristische Einwirkungen

Der Bohrpfahl Nr. 4 erhält aus der vorliegenden Belastungssituation die maximale axiale Druckbelastung.

Nachfolgend werden die Unterschiede in der Nachweisführung der EN 1997-1 in der linken Spalte und der DIN 1054 in der rechten Spalte geführt.

2.2 Nachweis der axialen Tragfähigkeit

EN 1997-1 (2002-07)

DIN 1054 (2003-01)

Während die DIN 1054 ein Nachweisverfahren zur Beurteilung der Grenzzustandsbedingungen aufzeigt, werden in der EN 1997-1 drei Nachweisverfahren zur Auswahl gestellt (EN 1997 Abs. 2.4.7.3.4).

Nachweisverfahren 1

Kombination 1: A1 + M1 + R1
Kombination 2: A2 + M1 o. M2 + R4

Nachweisverfahren 2

Kombination: A1 + M1 + R2

Nachweisverfahren 3

Kombination: A1 o. A2+M2+R3

Die Bedeutung der Werte A_i , M_i u. R_i beschreiben die Art der Faktorisierung, d.h. die maßgebenden Teilsicherheitsfaktoren, mit denen Bemessungswerte errechnet werden.

Nachweisverfahren

$$E_d = E_k * \gamma_{G/Q} \text{ und } R_d = \frac{R_k}{\gamma_P} \text{ und } E_d \leq R_d$$

Angaben zu den Werten, siehe Tab. 2 und 3 der DIN 1054.

Das Nachweisverfahren 2 der EN 1997-1 entspricht dem Verfahren nach DIN 1054. Bei diesem Verfahren werden die Teilsicherheitsfaktoren auf die Einwirkungen oder Beanspruchungen und auf die Widerstände des Baugrundes angewendet.

Die Unterschiede der Nachweisverfahren und deren Ergebnisse werden in [2] am Beispiel „Grundbruch“ erläutert.

2.3 Ermittlung der Einwirkungen

charakteristische axiale Einwirkung aus ständigen Einwirkungen $F_{k,Vg}$:

$$F_{k,Vg} = V_{g,k} = \frac{V_g}{4} + \frac{M_{g,x} + M_{g,y}}{2 \cdot l} = \frac{150}{4} + \frac{0,30 + 0,30}{2 \cdot 2,50} = 0,495 \text{ MN}$$

charakteristische axiale Einwirkung aus veränderlichen Einwirkungen $F_{k,Vq}$:

$$F_{k,Vq} = V_{q,k} = \frac{V_q}{4} + \frac{M_{q,x} + M_{q,y}}{2 \cdot l} = \frac{0,20}{4} + \frac{0,20 + 0,20}{2 \cdot 2,50} = 0,130 \text{ MN}$$

Negative Mantelreibung infolge der Zersetzung der Torfschicht (grundbauspez. Einw.):

Die negative Mantelreibung ist als ständige charakteristische Beanspruchung $E_{1,k,NM}$ anzusetzen

Für bindige Böden ist der charakteristische Wert $\tau_{n,k}$ der negativen Mantelreibung gleich dem charakteristischen Wert $c_{u,k}$ der Scherfestigkeit des undrÄnierten Bodens.

$$E_{1,k,NM} = A_s \cdot \tau_{n,k} = A_s \cdot c_{u,k} = \pi \cdot D_s \cdot h_i \cdot c_{u,k} = \pi \cdot 0,9 \cdot 4,5 \cdot 0,05$$

$$E_{1,k,NM} = 0,636 \text{ MN}$$

Zusammenstellung der charakteristischen Werte der Beanspruchungen $E_{1,k,i}$:

$$\left. \begin{array}{l} \text{ständige Einwirkung: } E_{1,k,g} = F_{k,Vg} = \underline{0,495 \text{ MN}} \\ \text{veränderliche Einwirkung: } E_{1,k,q} = F_{k,Vq} = \underline{0,130 \text{ MN}} \\ \text{negative Mantelreibung: } E_{1,k,NM} = \underline{0,636 \text{ MN}} \end{array} \right\} E_{1,k} = \underline{1,26 \text{ MN}}$$

Bemessungswert der Beanspruchungen $E_{1,d}$:

Teilsicherheitsbeiwerte EN 1997-1
(Tab.A.2.1) für den Grenzzustand STR

A1

für ständige Einwirkungen: $\gamma_G = 1,35$

für verÄnderl. Einwirkungen: $\gamma_Q = 1,50$

Teilsicherheitsbeiwerte DIN 1054 (Tab. 2) für
den Grenzzustand 1B

γ_G/γ_Q

für ständige Einwirkungen: $\gamma_G = 1,35$

für verÄnderl. Einwirkungen: $\gamma_Q = 1,50$

$$E_{1,d} = E_{1,k,g} \cdot \gamma_G + E_{1,k,q} \cdot \gamma_Q + E_{1,k,NM} \cdot \gamma_G$$

$$= 0,495 \text{ MN} \cdot 1,35 + 0,130 \text{ MN} \cdot 1,50 + 0,636 \text{ MN} \cdot 1,35$$

$$E_{1,d} = \underline{1,72 \text{ MN}}$$

2.4 Ermittlung der Widerstände

Ermittlung des charakteristischen Pfahlwiderstandes $R_{1,k}$:

$$R_{1,k} = R_{b,k}(s) + R_{s,k}(s)$$

Charakteristischer Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k}$:

$$R_{s,k} = \sum_i R_{s,k,i} = R_{s,k,1} + R_{s,k,2} + R_{s,k,3} =$$

$$R_{s,k,i} = A_{s,i} \cdot q_{s,k,i}$$

$R_{s,k,i}$ sind die charakteristische Mantelwiderstände der in Ansatz gebrachten tragfähigen Schichten.

mit der Mantelfläche

$$A_{s,i} = \pi \cdot D_s \cdot h_i = \pi \cdot 0,9 \cdot h_i = 2,827 \cdot h_i$$

charakt. Wert der Pfahlmantelreibung $q_{s,k,i}$

entsprechend der Bodenkennwerte bestimmt | siehe DIN 1054, Anhang B Tab. B3-B4

Für die Berechnung wird von gleichen Bruchwerten der Pfahlmantelreibung ausgegangen.

Schicht i	von ... bis ...	h_i	$A_{s,i}$	$q_{c,i}$	$q_{s,k,i}$	$R_{s,k,i} = A_{s,i} \cdot q_{s,k,i}$
[-]	[m]	[m]	[m ²]	[MN/m ²]	[MN/m ²]	[MN]
1 - nichtbindig	7,0 bis 10,0	3,0	8,481	14,0	0,112	0,950

Tabelle 2: Charakteristischer Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k}$

$q_{s,k,i}$ wurde durch Interpolation der Werte in Tab. B3 der DIN 1054 ermittelt.

Ermittlung des charakteristischen Pfahlfußwiderstandes $R_{b,k}$:

$$R_{b,k}(s) = q_{b,k} \cdot A_b$$

mit der Pfahlfußfläche $A_b = \frac{\pi}{4} \cdot D_b^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 0,9^2 = 0,636 \text{ m}^2$

Überprüfung von geom. Randbedingungen für die Ermittlung des Pfahlsitzenwiderstandes

Punkt 7.6.2.1 (11) EN 1997-1

„Ein Versagen durch Durchstanzen sollte untersucht werden, wenn weicher Boden in einer Tiefe von weniger als 4 Pfahlfußdurchmessern unter dem Pfahlfuß ansteht.“

$$\text{erf } t_1 = 4 \cdot D_b = 4 \cdot 0,9 \text{ m} = 3,6 \text{ m}$$

$$\text{vorh } t = 3,0 \text{ m} < \max \text{ erf } t = 3,6 \text{ m}$$

Aus regionalen Erfahrungen bekannt, dass kein Schichtwechsel erfolgt.

Nachweis gegen Durchstanzen kann entfallen.

Anhang B, DIN 1054

„Es ist nachzuweisen, dass die Mächtigkeit der tragfähigen Schicht unterhalb der Pfahlfußfläche nicht weniger als 3 Pfahldurchmesser, mindestens aber 1,50 m beträgt.“

$$\text{erf } t_1 = 3 \cdot D_b = 3 \cdot 0,9 \text{ m} = 2,7 \text{ m}$$

$$\text{erf } t_2 = 1,5 \text{ m}$$

$$\text{vorh } t = 3,0 \text{ m} > \max \text{ erf } t = 2,7 \text{ m}$$

⇒ 1. Bedingung erfüllt

Weiterhin ist in diesem Bereich für **nichtbindige Böden** ein mittlerer Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde von $q_c \geq 10 \text{ MN/m}^2$ nachzuweisen.

$$\text{vorh } q_c = 14 \text{ MN/m}^2 > \text{erf } q_c = 10 \text{ MN/m}^2$$

⇒ 2. Bedingung erfüllt

Da die Bedingung 1 und 2 erfüllt sind, dürfen die Pfahlsitzenwiderstandswerte $q_{b,k}$ nach DIN 1054, Anhang B verwendet werden.

Für die Berechnung wird von gleichen Pfahlsitzenwiderständen ausgegangen.

Grenzsetzung s_g :

EN 1997-1 Punkt 7.6.1.1 (3)

„Bei Druckpfählen ist es oft schwierig, anhand der Lastsetzungskurve einen Grenzzustand der Tragfähigkeit zu definieren, wenn diese stetig gekrümmt ist. In solchen Fällen sollte als „Versagens- Kriterium“ eine Pfahlkopfsetzung von 10% des Pfahlfußdurchmessers angewendet werden.“

Anhang B, DIN 1054

„Es ist zu unterscheiden zwischen den setzungsabhängigen Pfahlfußwiderstand $R_{b,k}(s)$ und dem Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k}(s)$.“
Für $R_{b,k}(s)$ gilt als Grenzsetzung $s_g = 0,1 D$. Dabei ist D der Pfahlfußdurchmesser.“

Für $R_{s,k}(s)$ gilt im Bruchzustand der empirischen Ansatz für die Grenzsetzung

$$s_{sg} = 0,50 \cdot R_{s,k}(s_{sg}) + 0,50 \leq 3,00 \text{ cm}$$

$$s_{sg} = 0,50 \cdot 0,950 + 0,50 = \underline{0,98\text{cm}} \leq 3,00\text{cm}$$

Im Beispiel wird dem Grenzwert des Pfahlfußwiderstandes eine Pfahlkopfverschiebung von $s_g = 0,1 D = 9,0 \text{ cm}$ und dem Grenzwert des Pfahlmantelwiderstandes eine Verschiebung von $s_{sg} = 0,98 \text{ cm}$ zu geordnet.

Ermittlung des charakteristischen Pfahlwiderstandes $R_k(s)$ in Abhängigkeit von der Pfahlkopfsetzung

bezogene Setzung	Setzung s	$R_{s,k}(s)$	$q_{b,k}$	$R_{b,k}(s)$	$R_k(s) = R_{s,k}(s) + R_{b,k}(s)$
s / D_s	[cm]	[MN]	[MN/m ²]	[MN]	[MN]
	0,98	0,950		0,339	1,289
0,02	1,80	0,950	0,98	0,623	1,573
0,03	2,70	0,950	1,26	0,801	1,751
0,10	9,00	0,950	2,80	1,781	2,731 = $R_{I,k}$

Tabelle 3: Charakteristischer Pfahlwiderstand $R_k(s)$ in Abhängigkeit von der Pfahlkopfsetzung

Der Pfahlfußwiderstand für die Grenzsetzung $s_{sg} = 0,98 \text{ cm}$ wird durch Interpolation ermittelt.

Charakteristische Widerstands – Setzungs – Linie:

In das Schaubild werden die Widerstands - Setzungs - Linien für den Pfahlmantelwiderstand und den Pfahlfußwiderstand als auch die Summe aus beiden Traglastanteilen eingetragen.

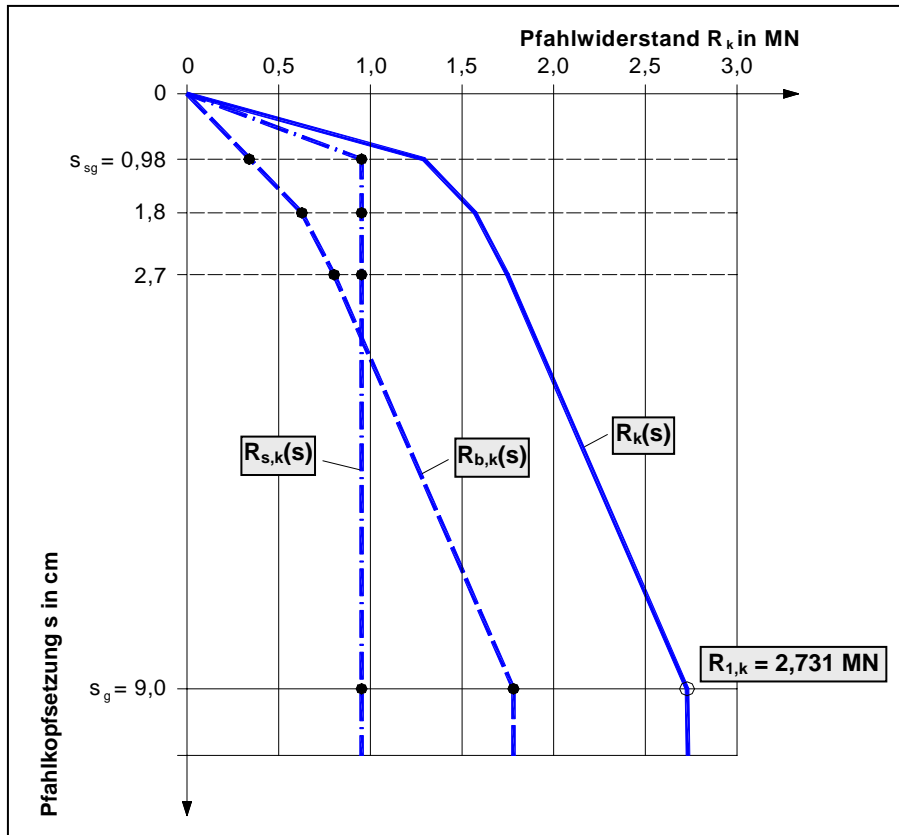


Bild 1: Charakteristische Widerstands- Setzungs- Linie des untersuchten Pfahls

Bemessungswert des Widerstandes $R_{1,d}$

Nachweisverfahren 2: A1+M1+R2
Teilsicherheitsbeiwerte EN 1997-1
(Tab.A.2.3.2.)

R2
für den Spitzendruck: $\gamma_b = 1,10$
für die Mantelreibung: $\gamma_s = 1,10$

$$R_{1,d} = \frac{R_{s,k}}{\gamma_s} + \frac{R_{b,k}}{\gamma_b} = \frac{0,95}{1,10} + \frac{1,781}{1,10} = \underline{2,48 \text{ MN}}$$

Teilsicherheitsbeiwerte DIN 1054 (Tab. 2) für
den Grenzzustand 1B

γ_p
für Mantelreibung u. Spitzendruck:
 $\gamma_p = 1,40$

$$R_{1,d} = \frac{R_{1,k}}{\gamma_p} = \frac{2,731}{1,40} = \underline{1,95 \text{ MN}}$$

Ausführlicher werden die Ermittlungen der Widerstände u.a. auch in [4] erläutert.

2.5 Nachweis der Grenzzustandsbedingung für die Tragfähigkeit

Bedingung: $E_{1,d} \leq R_{1,d}$

$$E_{1,d} = 1,72 \text{ MN} < R_{1,d} = 2,48 \text{ MN}$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit im GZ STR der EN 1997-1 ist erfüllt.

$$\text{Ausnutzungsgrad: } f_p = \frac{E_{1,d}}{R_{1,d}}$$

$$f_p = \frac{1,72}{2,48} = 0,69$$

$$f_p = 69\%$$

$$E_{1,d} = 1,72 \text{ MN} < R_{1,d} = 1,95 \text{ MN}$$

Der Nachweis der Tragfähigkeit im GZ 1B der DIN 1054 ist erfüllt.

$$f_p = \frac{1,72}{1,95} = 0,88$$

$$f_p = 88\%$$

3. Beispiel für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit von Bohrpfähle Vergleich EN 1997-1 und DIN 1054

„Die Werte der Teilsicherheitsfaktoren für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit sollten in der Regel gleich 1,0 gesetzt werden. ANMERKUNG: Die Werte der Teilsicherheitsfaktoren dürfen im Nationalen Anhang festgelegt werden.“

EN 1997-1, Punkt 2.4.8 (2)

„Nachweise der Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind mit charakteristischen Werten der Einwirkung zu führen, siehe Tab.2.“

D.h., Teilsicherheitsbeiwerte γ für alle Einwirkungen gleich 1,0.

DIN 1054, Punkt 4.4 (3)

Somit wird nachfolgend der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit entsprechend der DIN 1054 geführt.

Charakteristischer Wert der Beanspruchung

siehe unter Punkt 2.3 Ermittlung der Einwirkungen

$$E_{1,k} = \underline{1,26 \text{ MN}}$$

Charakteristischer Wert des Pfahlwiderstandes

Vorgabe des Grenzwertes $s_{2k} = s_{2d} = 2,0 \text{ cm}$

Der charakt. Pfahlwiderstand $R_{2,k(s=2,0\text{cm})}$ wird aus der Widerstands-Setzungs-Linie abgelesen:

$$R_{2,k} = R_{2,k(s=2,0\text{cm})} = \underline{1,61 \text{ MN}}$$

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nach DIN 1045 (GZ 2)

Bedingung: $E_{2,d} \leq R_{2,d}$

$$E_{2,d} = 1,26 \text{ MN} < R_{2,d} = 1,61 \text{ MN}$$

Für eine vorgegebene max. Setzung von 2,0 cm ist der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit im GZ 2 nach DIN 1054 erfüllt.

Alternativ ist ein Vergleich der zu erwartenden und der zulässigen Setzung möglich. Dabei ist die Gruppenwirkung zu beachten.

$$\text{Ausnutzungsgrad: } f_p = \frac{E_{2,k}}{R_{2,k}} = \frac{1,26 \text{ MN}}{1,61 \text{ MN}} = 0,78 \qquad f_p = 78 \%$$

4. Literatur

- [1] Witt, K.J. Aktuelle Entwicklung bei den Sicherheitsnachweisen im Erd- und Grundbau
Geotechnikseminar Weimar 2003, Schriftreihe Geotechnik Heft 9
- [2] Vogt, N. Konzept der Teilsicherheitsbeiwerte, Anwendungen bei Flachgründungen
TU München, Lehrstuhl für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik
- [3] Witt, K.J., „Bemessung und Nachweis von Pfählen“
Betrag - Geotechnikseminar Weimar 1998,
Schriftreihe Geotechnik Heft 1
- [4] Rütz, D,
Schmidt, H.G.,
Wendt, R.,
Witt, K.J. Wissensspeicher Geotechnik, Bauhaus-Universität Weimar.
14. Auflage- Weimar 2003

Anhang

Teilsicherheitsfaktoren für Einwirkungen (γ_F) oder Beanspruchungen (γ_E)
Tab. A.2.1 EN 1997-1

Einwirkungen		Symbol	Werte	
Dauer	Bedingung		A1	A2
ständig	ungünstig	γ_G	1,35	1,0
	günstig	γ_G	1,0	1,0
veränderlich	ungünstig	γ_Q	1,50	1,30
	günstig	γ_Q	0	0

Teilsicherheitsfaktoren für Bodenkenngrößen (γ_M)
Tab. A.2.2 EN 1997-1

Bodenkenngrößen	Symbol	Werte	
		M1	M2
Scherwinkel	γ_{φ}^1	1,00	1,25
Effektive Kohäsion	γ_c	1,00	1,25
undrainierte Festigkeit	γ_{Cu}	1,00	1,40
einaxiale Festigkeit	γ_{qu}	1,00	1,40
Wichte	γ_{σ}	1,00	1,00

¹ Dieser Faktor wird auf $\tan \varphi$ angewendet

Teilsicherheitsfaktoren für Widerstände bei Bohrpfähle
Tab. A.2.3.2.3 EN 1997-1

Widerstand	Symbol	Werte			
		R1	R2	R3	R4
Spitzendruck	γ_{β}	1,25	1,10	1,00	1,60
Mantelreibung (Druck)	γ_s	1,00	1,10	1,00	1,30
Gesamtwiderstand (Druck)	γ_t	1,15	1,10	1,00	1,50
Mantelreibung (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,25	1,15	1,10	1,60