

Geotechnische Bemessung nach EC 7 – Nachweisverfahren und Anwendungsbeispiele

Prof. Dr.-Ing. Frank Rackwitz & Dipl.-Ing. Ralf Glasenapp

Fachgebiet Grundbau und Bodenmechanik

Technische Universität Berlin

23. Brandenburgischer Bauingenieurtag – BBIT 2016, 11.03.2016

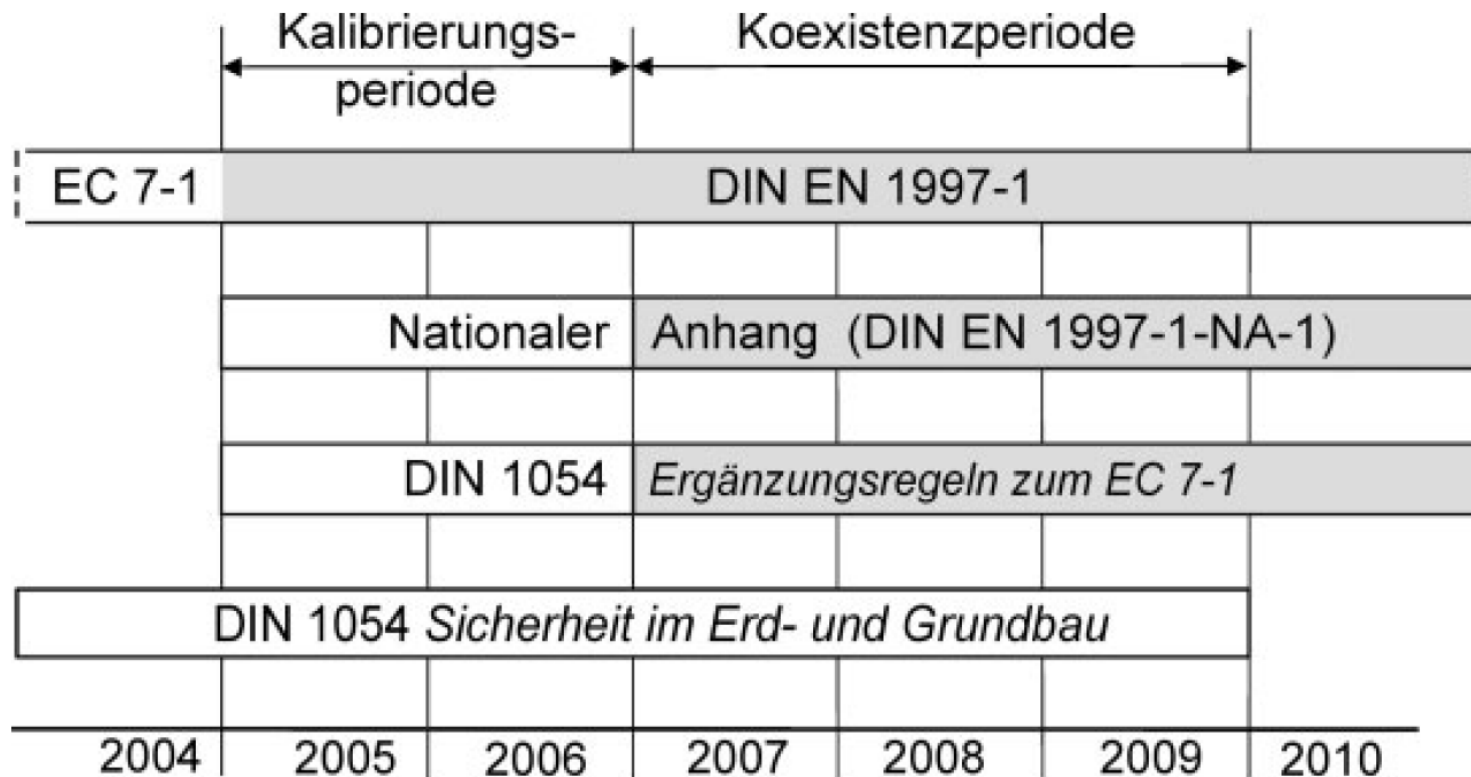
- **Einführung: Aktuelle Normung in der Geotechnik**
- **Bemessungskonzept nach EC7**
- **Anwendungsbeispiele**
 - Flachgründung
 - Auftriebsnachweis einer Dichtsohle
 - Bemessung eines Bohrpfahls
- **Ausblick**

- **Einführung: Aktuelle Normung in der Geotechnik**
- Bemessungskonzept nach EC7
- Anwendungsbeispiele
 - Flachgründung
 - Auftriebsnachweis einer Dichtsohle
 - Bemessung eines Bohrpfahls
- Ausblick

Aktuelle Normung in der Geotechnik

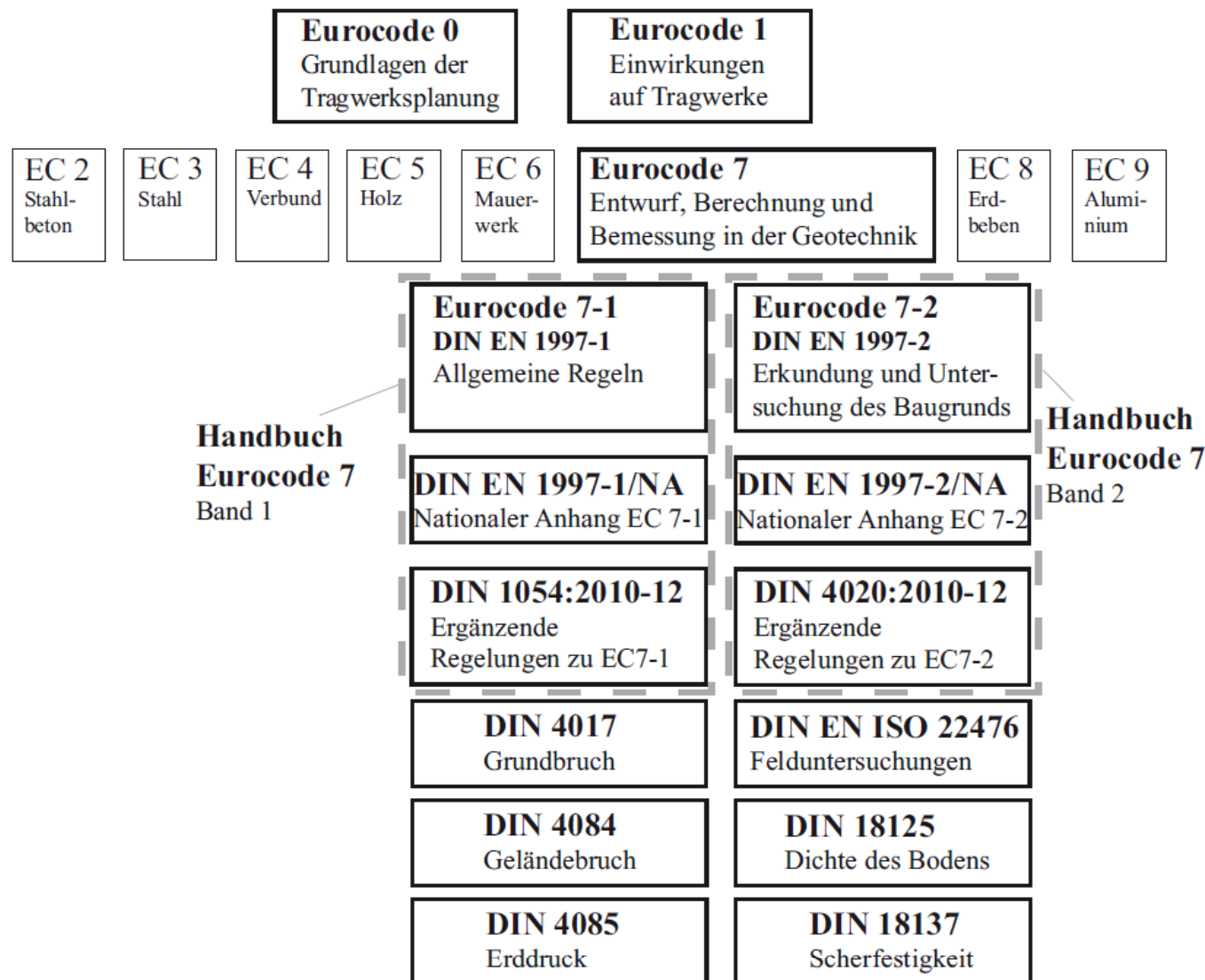


- Entwicklung des Eurocode 7



Quelle: Schuppener & Ruppert (2007)

Aktuelle Normung in der Geotechnik



- Einführung: Aktuelle Normung in der Geotechnik
- **Bemessungskonzept nach EC7**
- Anwendungsbeispiele
 - Flachgründung
 - Auftriebsnachweis einer Dichtsohle
 - Bemessung eines Bohrpfahls
- Ausblick

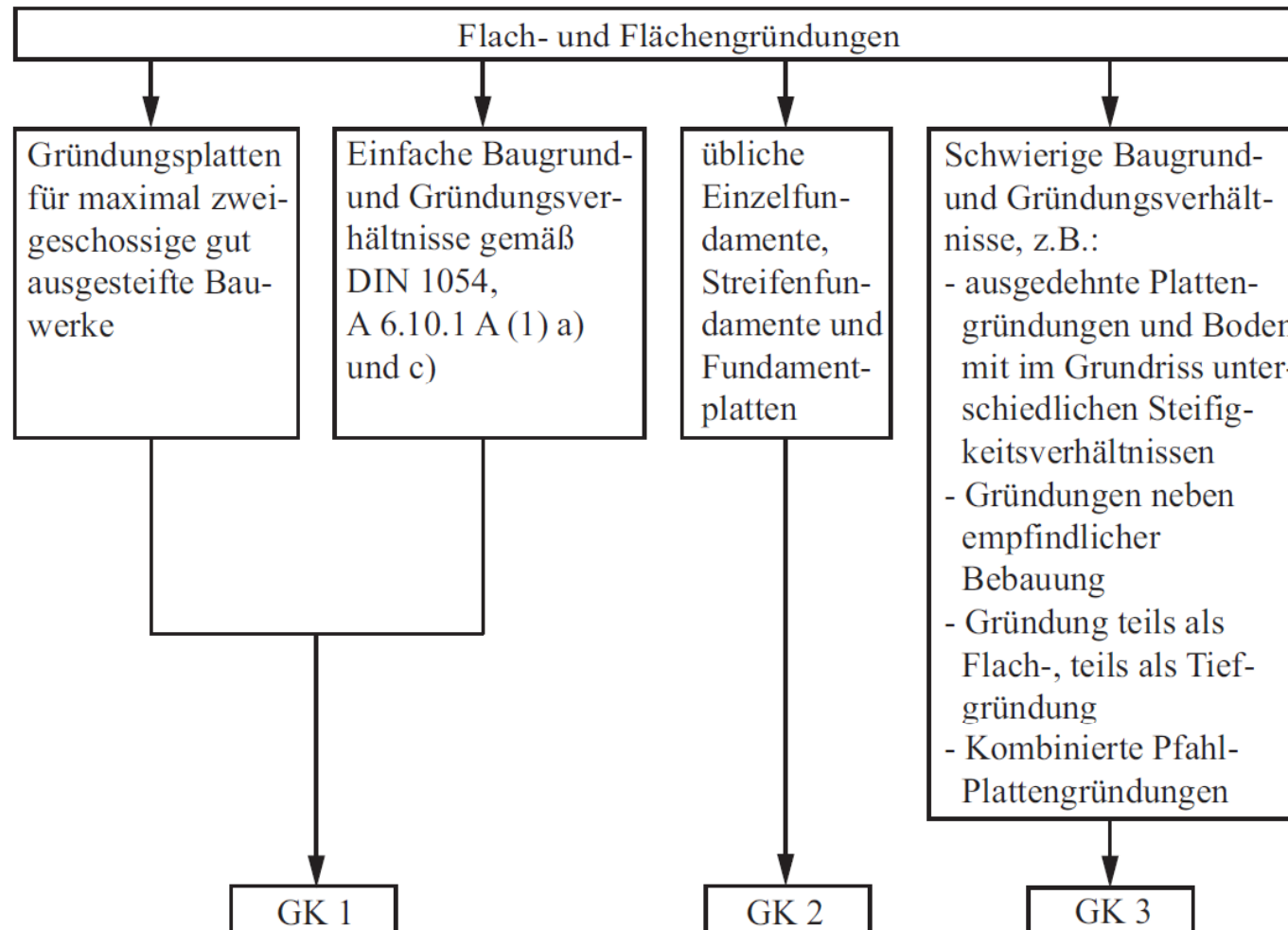
■ Geotechnische Kategorie

- Einteilung der geotechnischen Baumaßnahmen in Kategorien, abhängig von
 - Schwierigkeit der Baumaßnahme
 - Baugrund- und Grundwasserverhältnisse
 - Risiko / Schadenspotential
- Mindestanforderungen an Umfang und Qualität
 - der geotechnischen Untersuchung
 - der Berechnungen / Planungen
 - der Bauüberwachung
- Einteilung in: GK1: geringer Schwierigkeitsgrad
GK2: mittlerer Schwierigkeitsgrad
GK3: hoher Schwierigkeitsgrad

- **Geotechnische Kategorie**

- GK1: z.B. Einfamilienhaus bei einfachen Bodenverhältnissen ohne großes Schadenspotential
 - ➔ Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit können ohne erdstatische Nachweise aus Erfahrung beurteilt werden
- GK2: Mehrzahl der geotechnischen Konstruktionen
 - ➔ die meisten Regelungen für GK2 in EC7-1
- GK3: besonders schwierige und komplexe Problemstellungen
 - ➔ EC7-1 gibt hier nur einige wenige Empfehlungen

■ Geotechnische Kategorien für Flachgründungen



- **Bemessungssituation**

- im EC0 (Grundlagen der Tragwerksplanung) geregelt:

BS-P (engl. *persistent*): ständige Bemessungssituation
z.B. übliche dauerhafte Nutzung

BS-T (engl. *transient*): vorübergehende Bemessungssituation
z.B. Baugruben, Sanierungen etc.

BS-A (engl. *accidental*): außergewöhnliche Bemessungssituation
z.B. Explosion, Hochwasser, Anprall etc.

BS-E (engl. *Earthquake*): Erdbeben

➔ angepasstes Sicherheitsniveau !

- **Grenzzustände**

- Grenzzustände der Tragfähigkeit (ULS)

HYD Versagen durch hydraulischen Grundbruch

UPL Versagen durch Aufschwimmen

EQU Verlust der Lagesicherheit (Kippen, Abheben)

STR Versagen von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund (Materialnachweise Anker, Pfahl etc.)

GEO-2 Versagen von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund (Grundbruch, Gleiten etc.)

GEO-3 Versagen durch Verlust der Gesamtstandsicherheit (Böschungs- und Geländebruch)

- Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

- **Nachweisform**

- Nachweis der Tragfähigkeit

$$E_d \leq R_d$$

Ausnutzungsgrad: $\mu = \frac{E_d}{R_d} \leq 1,0$

Ausnahme: HYD, UPL und EQU:

$$E_{dst,d} \leq E_{stb,d}$$

- Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

$$E_d \leq C_d$$

Teilsicherheitsbeiwerte: 1,0

C_d Kriterium der Gebrauchstauglichkeit

- Einführung: Aktuelle Normung in der Geotechnik
- Bemessungskonzept nach EC7
- **Anwendungsbeispiele**
 - Flachgründung
 - Auftriebsnachweis einer Dichtsohle
 - Bemessung eines Bohrpfahls
- Ausblick

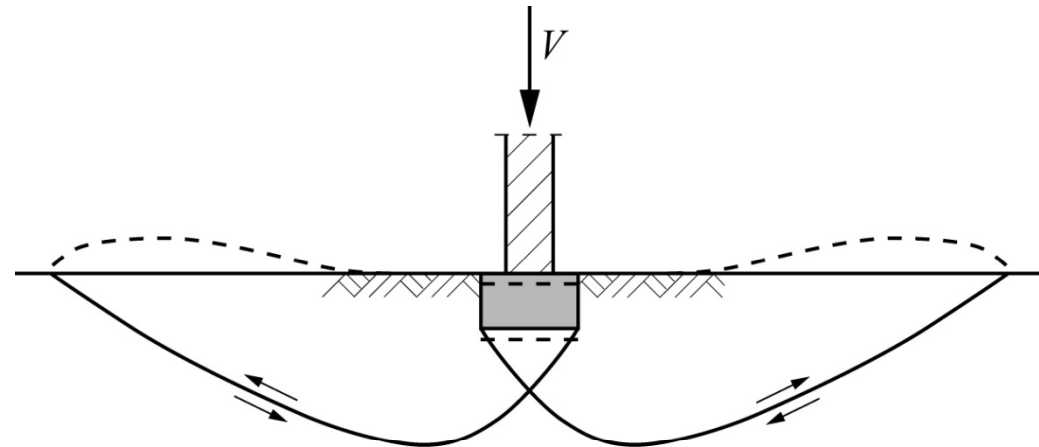
- **Einzelfundament**

- Grenzzustände der Tragfähigkeit (ULS)

Kippen (EQU)

Gleiten (GEO-2)

Grundbruch (GEO-2)



- Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit (SLS)

Setzungen, Verdrehungen, Verschiebungen

Anwendungsbeispiel 1 - Flachgründung



- **Einzelfundament**

Vereinfachter Nachweis in Regelfällen (DIN 1054, A 6.10):

für Grenzzustände Grundbruch, Gleiten und Gebrauchstauglichkeit (Setzungen)

$$\sigma_{E,d} \leq \sigma_{R,d}$$

$\sigma_{E,d}$ Sohldruckbeanspruchung (Bemessungswert)

$\sigma_{R,d}$ Sohlwiderstand (aus DIN 1054 → Erfahrungswerte)

Anwendungsbeispiel 1 - Flachgründung



■ Erfahrungswerte aus DIN 1054:

Tabelle A 6.1 — Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands für Streifenfundamente auf nichtbindigem Boden auf der Grundlage einer ausreichenden Grundbruchsicherheit mit den Voraussetzungen nach Tabelle A 6.3

Kleinste Einbindetiefe des Fundaments	Bemessungswerte $\sigma_{R,d}$ des Sohlwiderstands					
	kN/m ²					
	<i>b bzw. b'</i>					
m	0,50 m	1,00 m	1,50 m	2,00 m	2,50 m	3,00 m
0,50	280	420	560	700	700	700
1,00	380	520	660	800	800	800
1,50	480	620	760	900	900	900
2,00	560	700	840	980	980	980
bei Bauwerken mit Einbindetiefen $0,30\text{ m} \leq d \leq 0,50\text{ m}$ und mit Fundamentbreiten <i>b</i> bzw. $b' \geq 0,30\text{ m}$	210					
ACHTUNG — Die angegebenen Werte sind Bemessungswerte des Sohlwiderstands, keine aufnehmbaren Sohldrücke nach DIN 1054:2005-01 und keine zulässigen Bodenpressungen nach DIN 1054:1976-11.						

Quelle: DIN1054

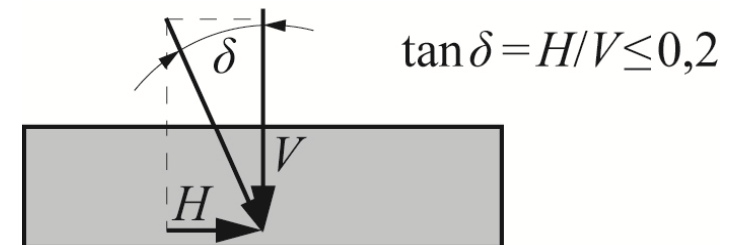
Anwendungsbeispiel 1 - Flachgründung



- **Voraussetzungen für die Anwendung der Erfahrungswerte**

DIN 1054: A6.10

- waagerechte Fundamentsohle und Schichtgrenzen
- ausreichende Festigkeit des Bodens unterhalb Fundamentsohle
- überwiegend statische Beanspruchung
- geringe Neigung der Sohldruckresultierenden

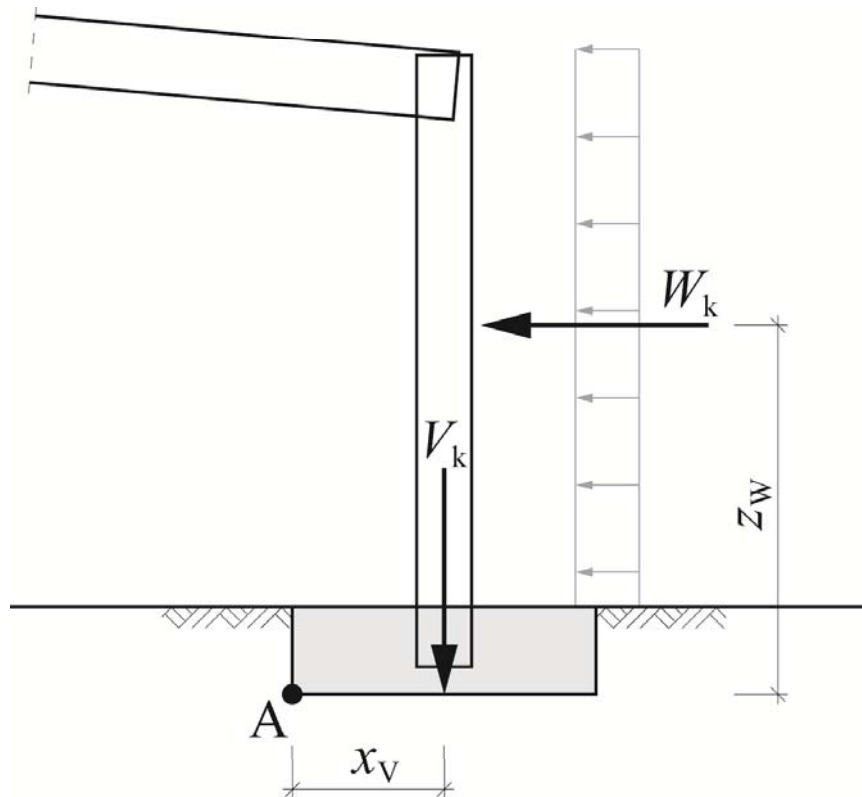


- Kipp-Nachweis muss erfüllt sein ➔ Nachweis separat führen

■ Grenzzustand Kippen (EQU)

- Grenzzustand der Tragfähigkeit: EQU (engl. *Equilibrium*)

Annahme einer fiktiven Kippachse A (= Fundamentrand)



Blockfundament Hallenstütze

Nachweis:

$$M_{dst,k} \cdot \gamma_{Q,dst} \leq M_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

$$M_{dst,k}^{(A)} = W_k \cdot z_W$$

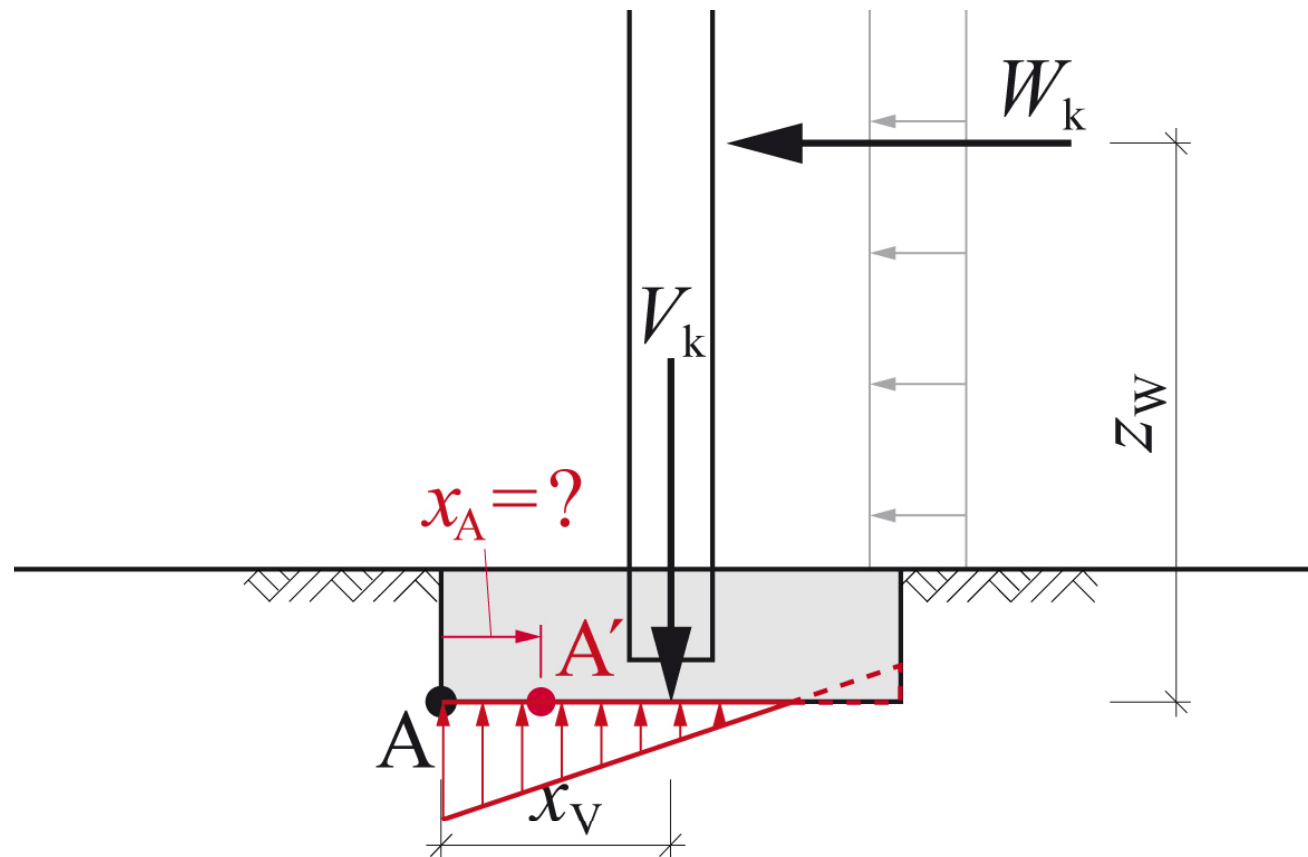
$$M_{stb,k}^{(A)} = V_k \cdot x_V$$

Anwendungsbeispiel 1 - Flachgründung



- Grenzzustand Kippen (EQU)

ABER: Kippachse ist nicht bekannt !



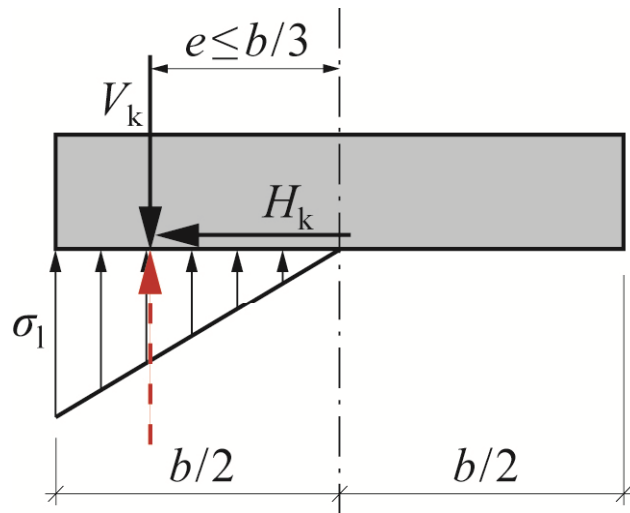
Anwendungsbeispiel 1 - Flachgründung



- **Grenzzustand Kippen (EQU)**
 - Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit
= Nachweis der Lage der Sohldruckresultierenden

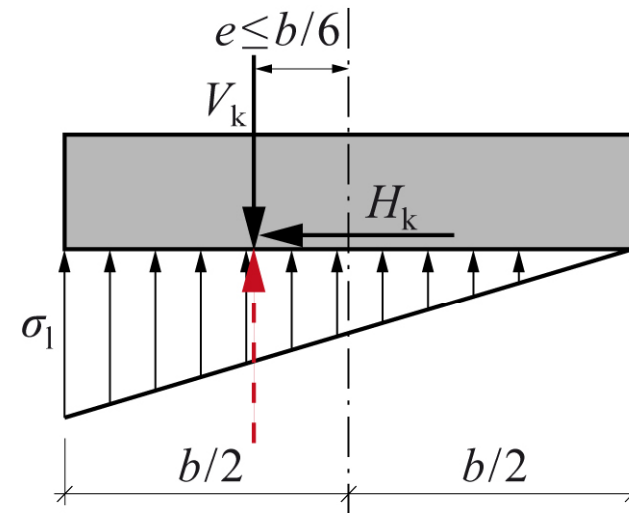
Maßgebende Beanspruchung

Klaffende Fuge



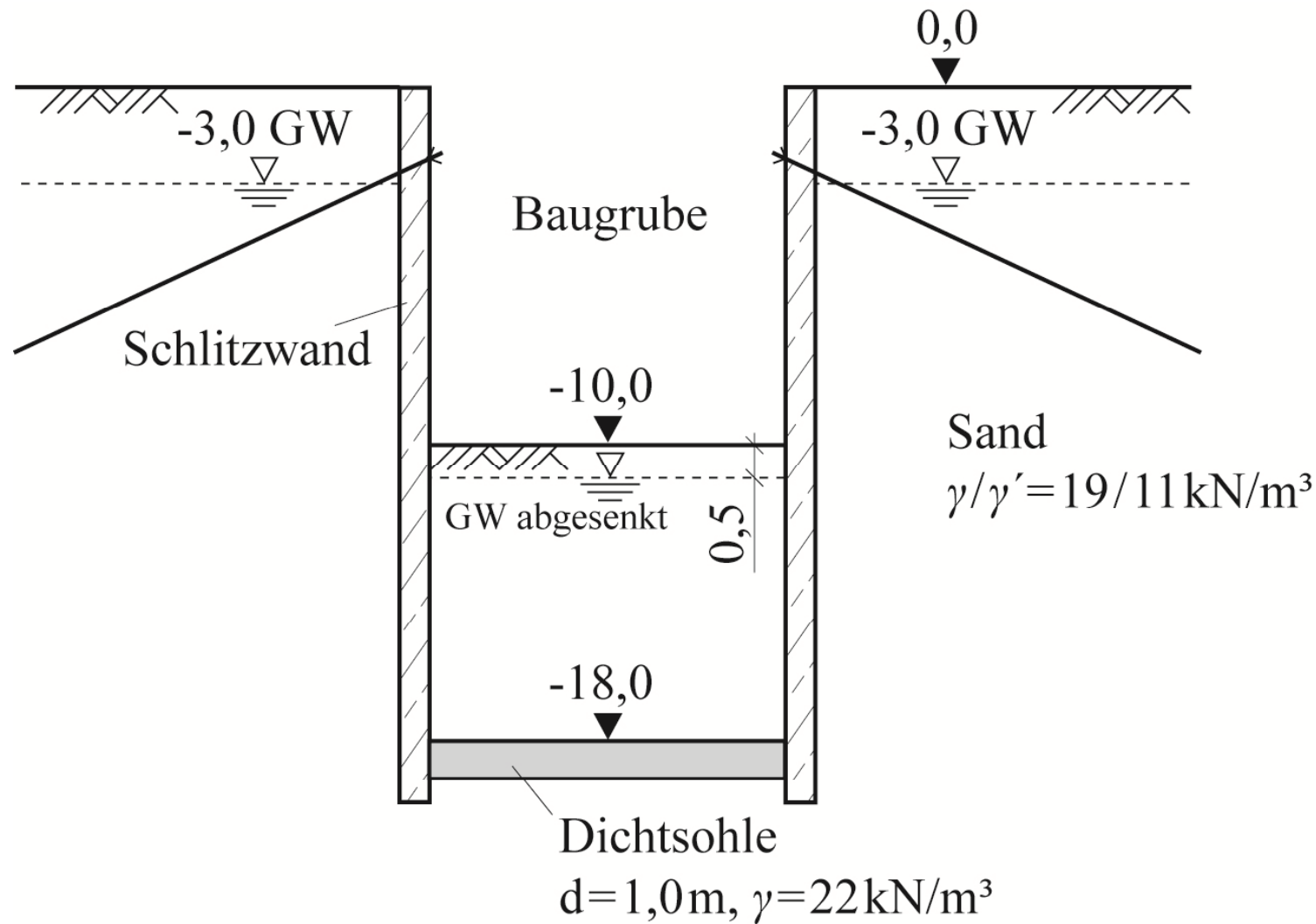
ständige Beanspruchung

Kraft im Kern



- Einführung: Aktuelle Normung in der Geotechnik
- Bemessungskonzept nach EC7
- **Anwendungsbeispiele**
 - Flachgründung
 - Auftriebsnachweis einer Dichtsohle
 - Bemessung eines Bohrpfahls
- Ausblick

Anwendungsbeispiel 2 - Dichtsohle



Anwendungsbeispiel 2 - Dichtsohle



- **Bemessungsgrundlagen EC7**
 - Geotechnischer Bericht
 - ➔ Baugrund- und Grundwassersituation
 - Geotechnische Kategorie: GK3
 - ➔ Hoher Schwierigkeitsgrad (tiefliegende Dichtsohle)
 - Grenzzustand: UPL (engl. *uplift*)
 - ➔ Grenzzustand des Versagens durch Aufschwimmen: Versagen des Baugrunds ohne dass die Festigkeit des Bodens in Anspruch genommen wird
 - Bemessungssituation: BS-T (engl. *transient*)
 - ➔ Baugrube nur vorübergehend („Bauhilfsmaßnahme“)

Anwendungsbeispiel 2 - Dichtsohle



- Nachweis nach EC7:

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

$G_{dst,k}$ ständige, **destabilisierende** Einwirkungen (vertikal)
➔ Auftriebskraft

$\gamma_{G,dst}$ Teilsicherheitsbeiwert (Grenzzustand: UPL, DIN 1054)

$G_{stb,k}$ ständige, **stabilisierende** Einwirkungen (vertikal)
➔ Gewicht des Bodenkörpers (unterer Wert!)

$\gamma_{G,stb}$ Teilsicherheitsbeiwert (Grenzzustand: UPL, DIN 1054)

Anwendungsbeispiel 2 - Dichtsohle



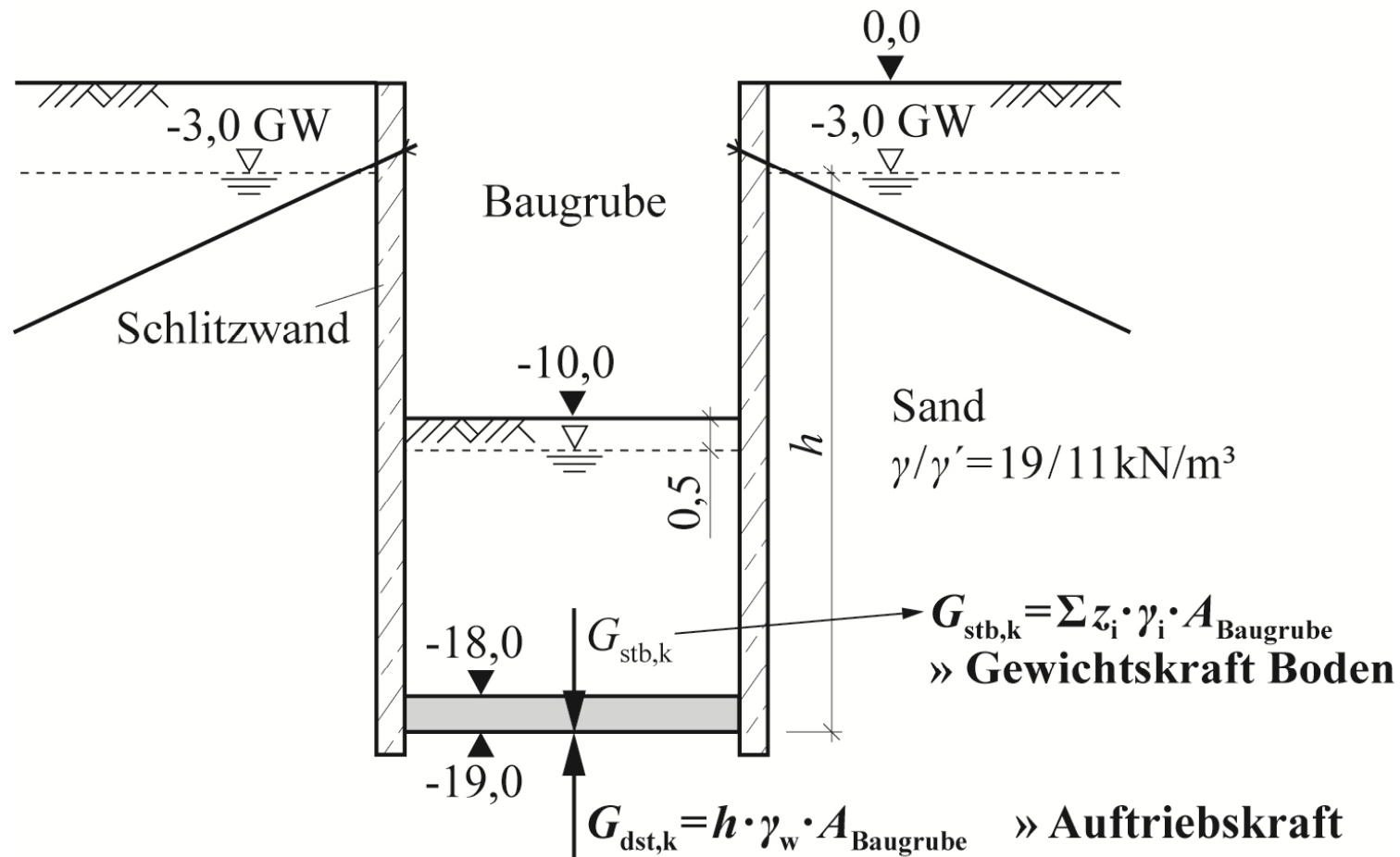
Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formel- zeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<i>HYD und UPL: Hydraulischer Grundbruch und Aufschwimmen</i>				
Destabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stb}$	0	0	0
Strömungskraft bei günstigem Baugrund	γ_H	1,45	1,45	1,25
Strömungskraft bei ungünstigem Baugrund	γ_H	1,90	1,90	1,45

Anwendungsbeispiel 2 - Dichtsohle



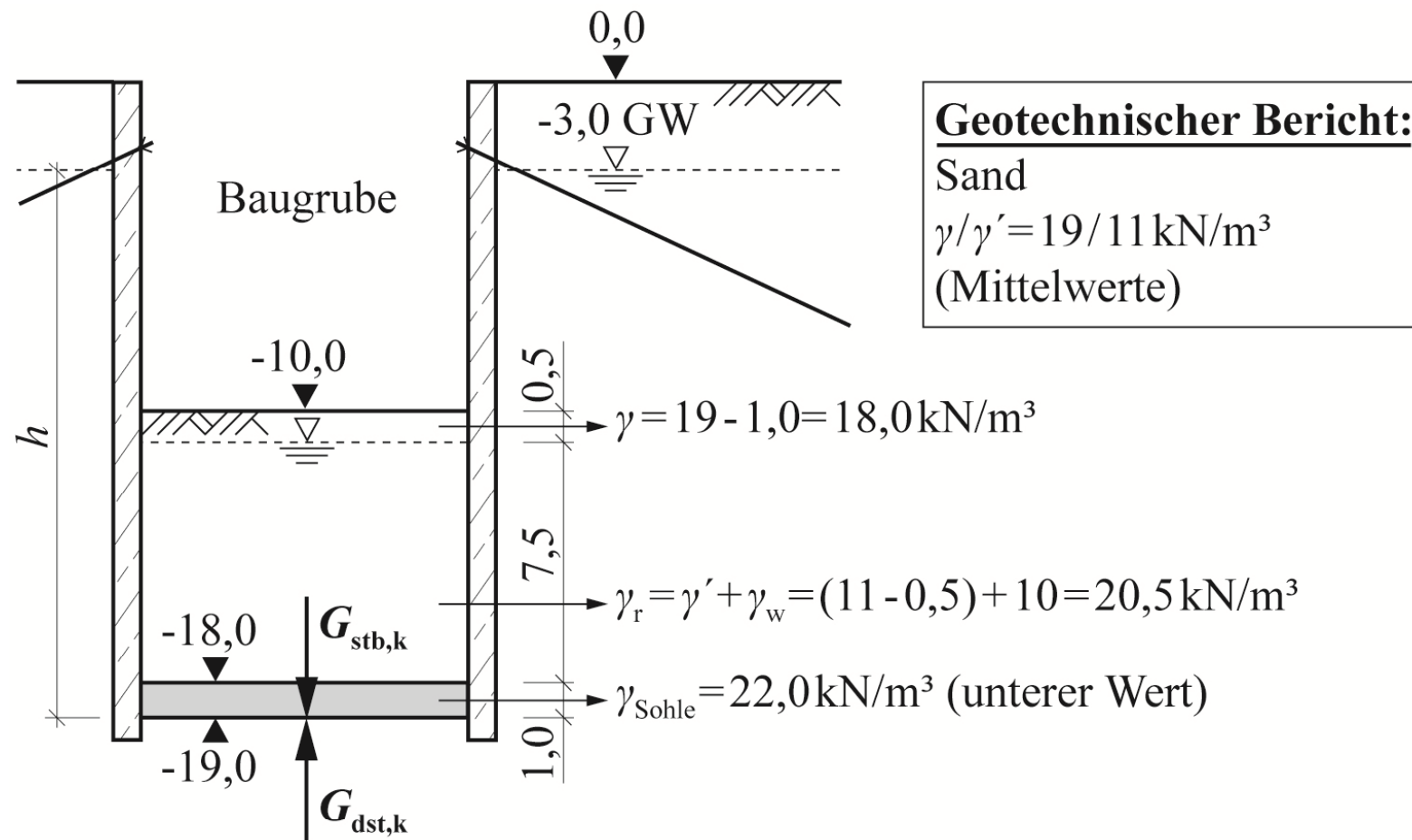
Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formel- zeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<i>HYD und UPL: Hydraulischer Grundbruch und Aufschwimmen</i>				
Destabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stb}$	0	0	0
Strömungskraft bei günstigem Baugrund	γ_H	1,45	1,45	1,25
Strömungskraft bei ungünstigem Baugrund	γ_H	1,90	1,90	1,45

Anwendungsbeispiel 2 - Dichtsohle



$$G_{\text{dst},k} = 16 \text{ m} \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot A_{\text{Baugrube}} = 160 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{Baugrube}}$$

Anwendungsbeispiel 2 - Dichtsohle



$$G_{\text{stb},k} = (0,5 \cdot 18 + 7,5 \cdot 20,5 + 1,0 \cdot 22) \cdot A_{\text{Baugrube}} = 184,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot A_{\text{Baugrube}}$$

Anwendungsbeispiel 2 - Dichtsohle



- **Nachweis:**

$$G_{dst,k} \cdot \gamma_{G,dst} \leq G_{stb,k} \cdot \gamma_{G,stb}$$

$$160 \frac{kN}{m^2} \cdot A_{Baugrube} \cdot 1,05 \leq 184,8 \frac{kN}{m^2} \cdot A_{Baugrube} \cdot 0,95$$

$$168,0 \frac{kN}{m^2} < 175,6 \frac{kN}{m^2}$$

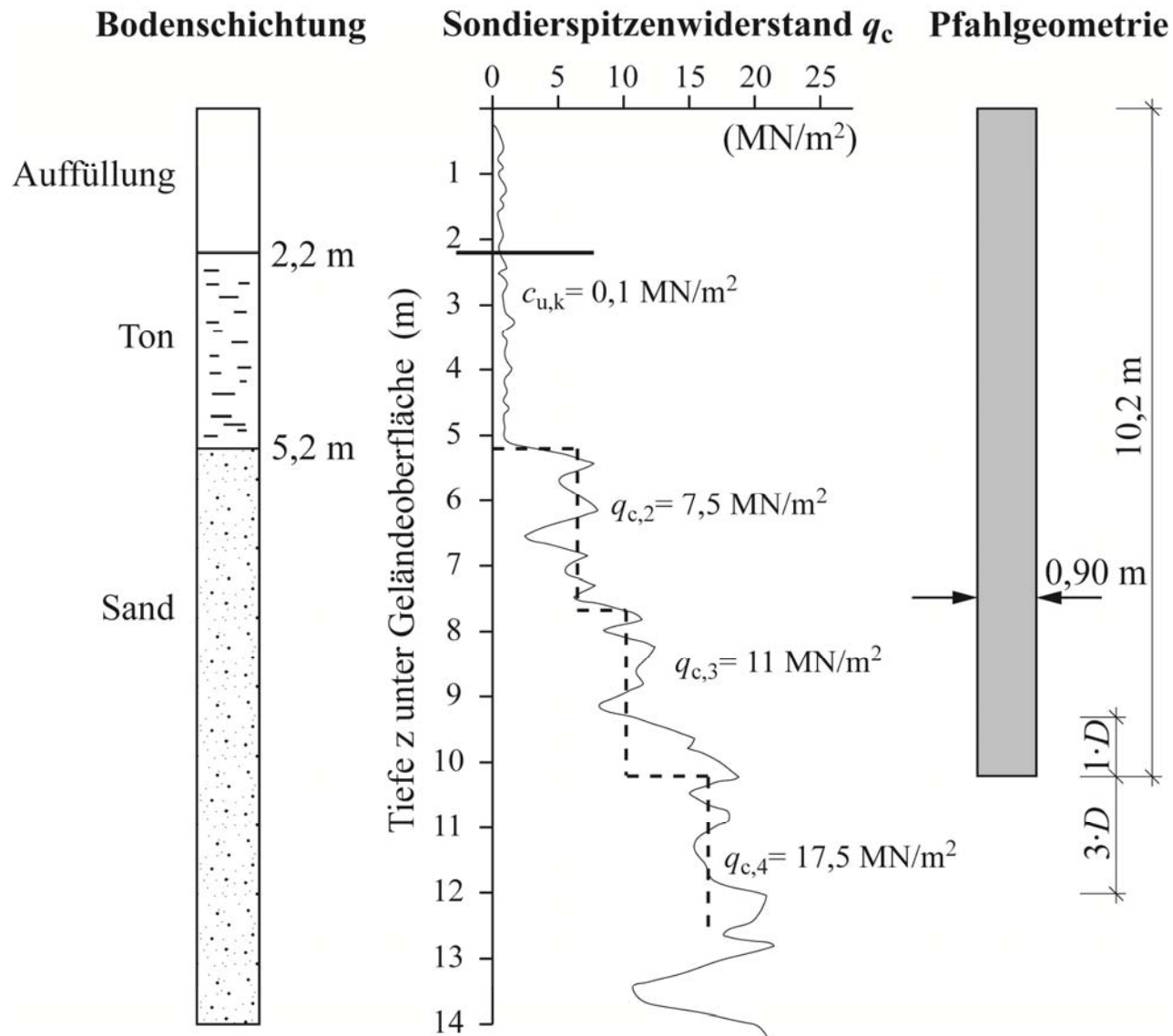
Nachweis erfüllt !

- **Ausnutzungsgrad:**

$$\mu = \frac{G_{dst,d}}{G_{stb,d}} = \frac{168,0}{175,6} = 0,96 < 1,0$$

- Einführung: Aktuelle Normung in der Geotechnik
- Bemessungskonzept nach EC7
- **Anwendungsbeispiele**
 - Flachgründung
 - Auftriebsnachweis einer Dichtsohle
 - Bemessung eines Bohrpfahls
- Ausblick

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrspfahl



Pfahl:

verrohrt hergestellter
Bohrpfahl
nach DIN EN 1536

Länge $L = 10,2 \text{ m}$

Pfahlschaftdurchmesser
 $D_s = 0,90 \text{ m}$

Baugrund:

3 Schichten
- Auffüllung
- Ton
- Sand

Baugrundfestigkeit aus
Sondierdiagramm
abgeleitet

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- **Bemessungsgrundlagen EC7**
 - Geotechnischer Bericht
 - ➔ Baugrund- und Grundwassersituation
 - Geotechnische Kategorie: GK2
 - ➔ Mittlerer Schwierigkeitsgrad
 - Grenzzustand: GEO-2
 - ➔ Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund
 - Bemessungssituation: BS-P (engl. *persistent*)
 - ➔ Pfahl für ständige Nutzung

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- Nachweis nach EC7:

$$E_{G,k} \cdot \gamma_G + E_{Q,k} \cdot \gamma_Q \leq \frac{R_{c,k}}{\gamma_{b/s/t}}$$

$E_{G,k} / E_{Q,k}$ ständige / veränderliche Einwirkungen (charakt.)

γ_G / γ_Q Teilsicherheitsbeiwert ständig / veränderlich

$R_{c,k}$ Pfahlwiderstand gesamt (charakt.)

$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$ Teilsicherheitsbeiwert Pfahlfuß-, Pfahlmantel und Pfahlgesamtwiderstand

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- Ermittlung des Pfahlwiderstands:

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

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

- Pfahlmantelwiderstand: $R_{s,k}(s) = \sum A_{s,i} \cdot q_{s,i,k}$

$q_{b,k}$ und $q_{s,i,k}$ aus Erfahrungswerten → EA Pfähle

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl

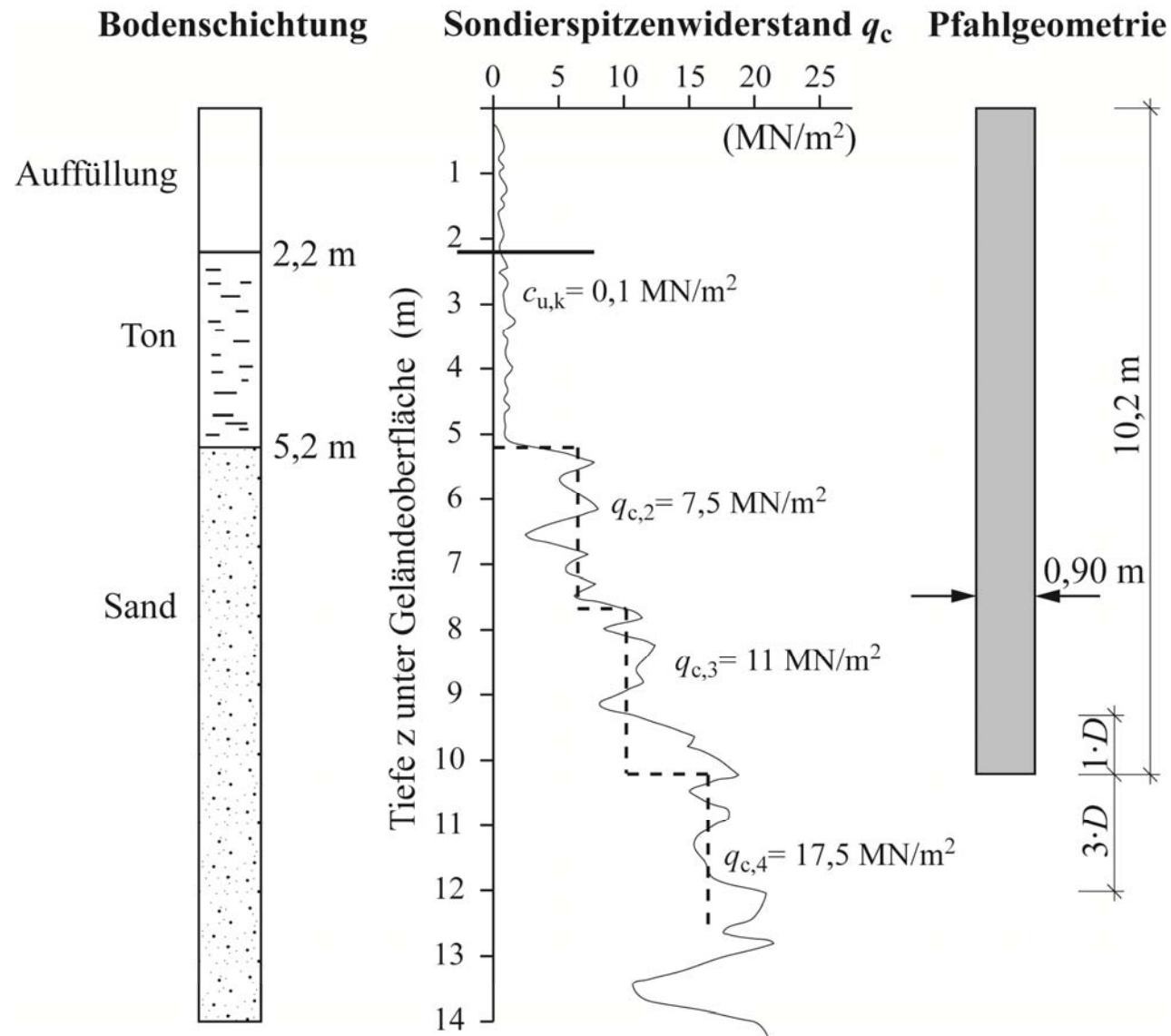


- **Erfahrungswerte aus EA Pfähle für charakteristische axiale Widerstände bei Bohrpfählen**

Voraussetzungen für die Anwendung (EA Pfähle, Abs. 5.4.6.2):

- D_s bzw. $D_b = 0,3\text{m}$ bis $3,0\text{m}$ **HIER: 0,90m → erfüllt !**
- Mindesteinbindung $2,5\text{m}$ in tragfähige Schicht **HIER: 5,0m → erfüllt !**
- Verrohrte oder unverrohrte Herstellung mit Stützflüssigkeit **HIER: verrohrt → erfüllt !**
- Werte für Pfahlspitzenwiderstand:
unterhalb Pfahlfußfläche $\geq 1,5\text{m}$ **HIER: $> 3 \cdot D_b$ → erfüllt !**
und $\geq 3 \cdot D_b$ tragfähige Schicht vorhanden,
mit Bodeneigenschaften: **→ erfüllt !**
 $q_c \geq 7,5\text{MN/m}^2$ bzw. $c_u \geq 0,10\text{MN/m}^2$ **HIER: $q_c > 17,5\text{MN/m}^2$**

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrspfahl



Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- Erfahrungswerte für den Pfahlspitzendruck für nichtbindige Böden

Bezogene Pfahlkopfsetzung s/D_s bzw. s/D_b	Pfahlspitzendruck $q_{b,k}$ [kN/m ²]		
	bei einem mittleren Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde [MN/m ²]		
	7,5	15	25
0,02	550–800	1.050–1.400	1.750–2.300
0,03	700–1.050	1.350–1.800	2.250–2.950
0,10 ($\hat{=}$ s_g)	1.600–2.300	3.000–4.000	4.000–5.300
Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden. Bei Bohrpfählen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75 % abzumindern.			

Quelle: EA Pfähle, 2.Aufl. Tabelle 5.12

Pfahlfuß: $q_{b,k} = 17,5 \frac{kN}{m^2}$ → **Interpolation**

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- **Ermittlung des Pfahlsitzenwiderstands**

Pfahlfußfläche $A_b = 0,25 \cdot \pi \cdot (D_b)^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot (0,9\text{m})^2 = 0,64\text{m}^2$

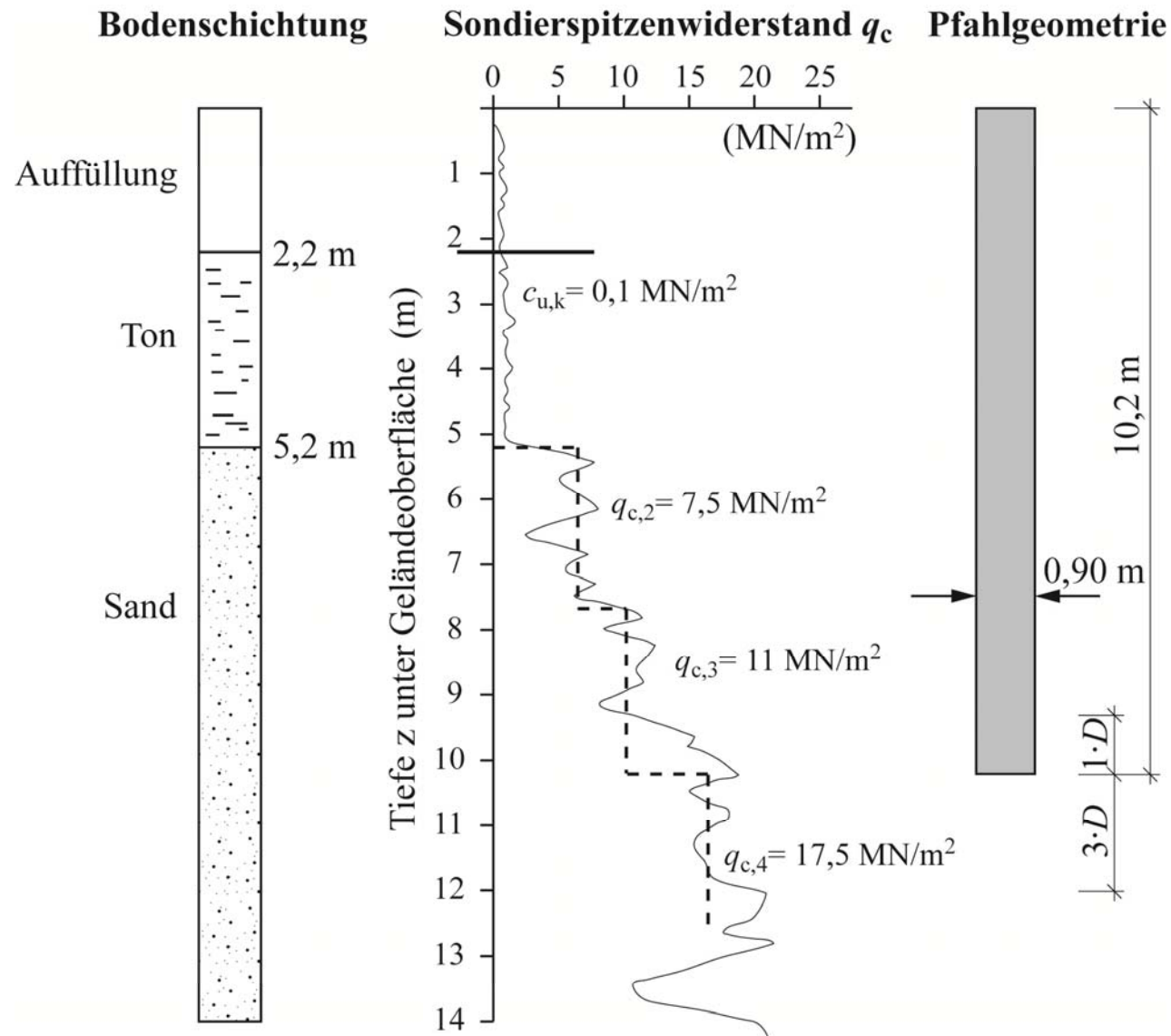
Grenzwert des setzungsabhängigen Pfahlfußwiderstandes $R_{b,k}(s)$ wird erreicht bei einer Grenzsetzung s_g :

$$s_g = 0,1 \cdot D_b = 0,1 \cdot 0,9\text{m} = 0,09\text{m} = 9\text{cm}$$

s/D_b	s in cm	q_c in MN/m ²	$q_{b,k}^*$ in MN/m ²	$R_{b,k}(s) = q_{b,k} \cdot A_b$ in MN
0,02	1,8	17,5	1,225	0,779
0,03	2,7	17,5	1,575	1,002
0,10	9,0	17,5	3,250	2,067

* unterer Wert für $q_{b,k}$ aus Erfahrungswerten interpoliert

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrspfahl



Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



■ Erfahrungswerte für die Pfahlmantelreibung für bindige Böden

Scherfestigkeit $c_{u,k}$ des undränierten Bodens [kN/m ²]	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantelreibung [kN/m ²]
60	30–40
150	50–65
≥ 250	65–85
Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.	

Quelle: EA Pfähle, 2.Aufl. Tabelle 5.15

Bereich 1: Ton $c_{u,k} = 0,10 \frac{MN}{m^2}$ ➔ **Interpolation**

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- Erfahrungswerte für die Pfahlmantelreibung für nichtbindige Böden

Mittlerer Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde [MN/m^2]	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantelreibung [kN/m^2]
7,5	55–80
15	105–140
≥ 25	130–170
Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.	

Quelle: EA Pfähle, 2.Aufl. Tabelle 5.13

Bereich 2: Sand $q_{c,2} = 7,5 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$ ➔ **Ablesung**

Bereich 3: Sand $q_{c,3} = 11 \frac{\text{MN}}{\text{m}^2}$ ➔ **Interpolation**

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfehl



■ Zusammenfassung der Anteile aus Mantelreibung

Kote in m	$c_{u,i,k}$ bzw. $q_{c,i}$ in MN/m ²	$q_{s,i,k}$ in MN/m ²	$A_{s,i} = \pi \cdot D_{s,i} \cdot L_{s,i}$ in m ²	$R_{s,i,k}(s) = q_{s,i,k} \cdot A_{s,i}$ in MN
Ton -2,2 bis -5,2	0,10	0,038 *)	8,48	0,331
Sand -5,2 bis -7,7	7,50	0,055	7,07	0,389
Sand -7,7 bis -10,2	11,00	0,078 *)	7,07	0,551

*) lineare Interpolation zwischen den unteren Tabellenwerten

$$R_{s,k}(s) = \sum q_{s,i,k} \cdot A_{s,i} = 1,271 \text{ kN}$$

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- **Grenzsetzung**

Die volle Mobilisierung des Pfahlmantelwiderstandes $R_{s,k}$ erfolgt bei folgender Pfahlkopfverschiebung (Grenzsetzung) s_{sg} :

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

$$s_{sg} = 0,50 \cdot 1,271MN + 0,50 = 1,1cm \leq 3,0cm$$

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- Zusammenstellung aller Widerstandswerte

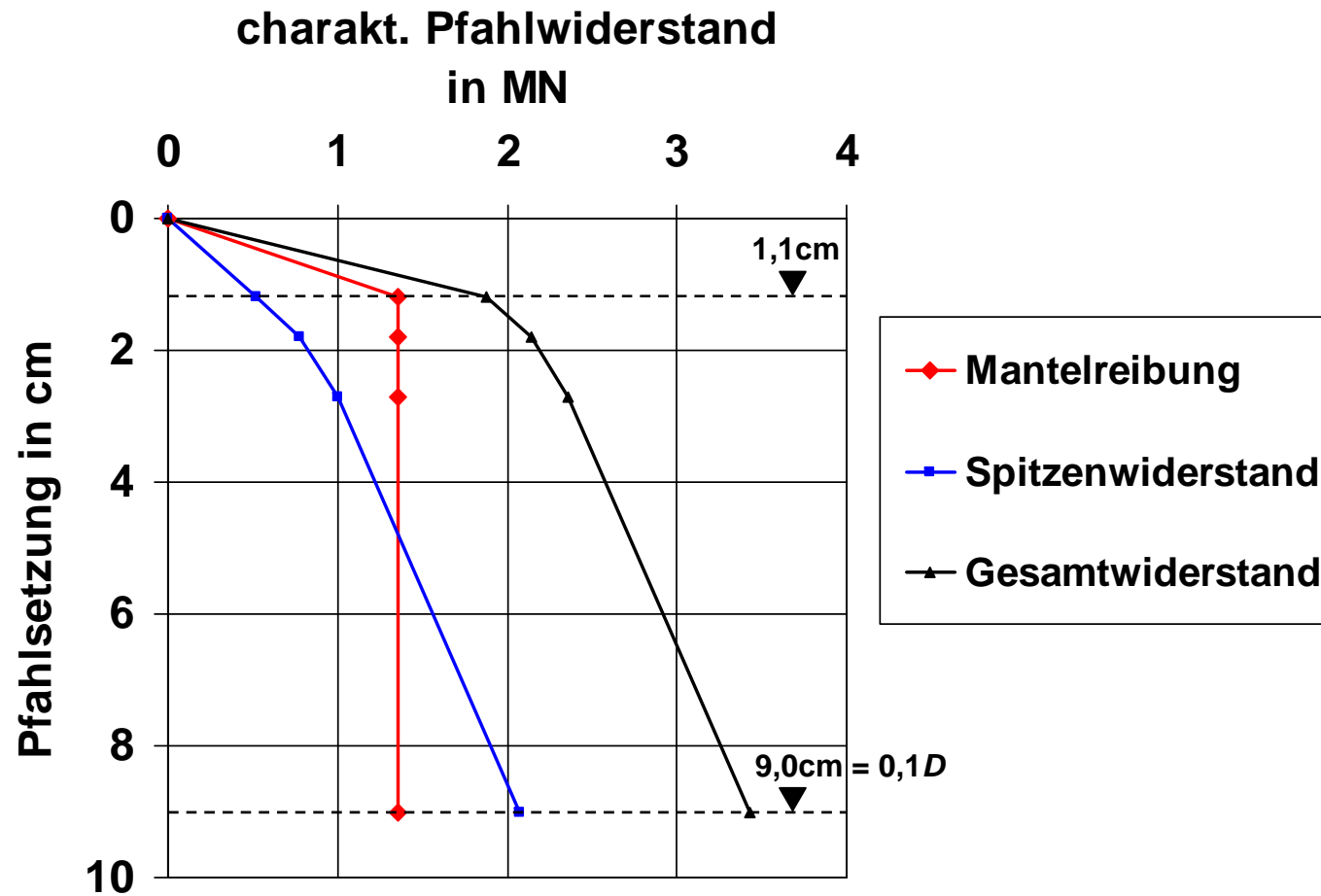
s in cm	$R_{s,k}(s)$ in MN	$R_{b,k}(s)$ in MN	$R_k(s) = R_{s,k}(s) + R_{b,k}(s)$ in MN
1,1	1,271	0,476 *)	1,747
1,8	1,271	0,779	2,050
2,7	1,271	1,002	2,273
9,0	1,271	2,067	3,338

*) Extrapolation: $R_{b,k}(s=1,1\text{cm}) = R_{b,k}(s=1,8\text{cm}) * 1,1/1,8 = 0,779 * 1,1/1,8 = 0,476 \text{ MN}$

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



■ Widerstands-Setzung-Linie



Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- **Nachweis der Tragfähigkeit (ULS):** $E_{G,k} \cdot \gamma_G + E_{Q,k} \cdot \gamma_Q \leq \frac{R_{c,k}}{\gamma_{b/s/t}}$

- Einwirkungen

Angaben vom Tragwerksplaner Hochbau:

$$V_{G,k} = 1,15\text{MN}, V_{Q,k} = 0,52\text{MN}$$

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formel- zeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<i>GEO-2: Versagen von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund</i>				
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruchedruck	$\gamma_{G,E0}$	1,20	1,10	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,10
Beanspruchungen aus günstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	0	0	0

Quelle: DIN1054

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formel- zeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<i>GEO-2: Versagen von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund</i>				
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruchedruck	$\gamma_{G,E0}$	1,20	1,10	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,10
Beanspruchungen aus günstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	0	0	0

Quelle: DIN1054

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- **Nachweis der Tragfähigkeit (ULS):** $E_{G,k} \cdot \gamma_G + E_{Q,k} \cdot \gamma_Q \leq \frac{R_{c,k}}{\gamma_{b/s/t}}$

- Einwirkungen

Angaben vom Tragwerksplaner Hochbau:

$$V_{G,k} = 1,15\text{MN}, V_{Q,k} = 0,52\text{MN}$$

$$E_d = 1,15\text{MN} \cdot 1,35 + 0,52\text{MN} \cdot 1,50 = 2,33\text{MN}$$

- Widerstände (bei $s = 9\text{cm}$)

$$R_{c,d} = (1,271 + 2,067) / \gamma_t =$$

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



Widerstand	Formel- zeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<i>STR und GEO-2: Versagen von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund</i>				
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobebelastungen				
Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,10	1,10	1,10
Zugpfähle (Mantelwiderstand)	γ_s	1,15	1,15	1,15
Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten				
Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur Ausnahmefälle)	γ_s	1,50	1,50	1,50

Quelle: DIN1054

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



Widerstand	Formel- zeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
<i>STR und GEO-2: Versagen von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund</i>				
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobebelastungen				
Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,10	1,10	1,10
Zugpfähle (Mantelwiderstand)	γ_s	1,15	1,15	1,15
Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten				
Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_s, \gamma_t$	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur Ausnahmefälle)	γ_s	1,50	1,50	1,50

Quelle: DIN1054

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- **Nachweis der Tragfähigkeit (ULS):** $E_{G,k} \cdot \gamma_G + E_{Q,k} \cdot \gamma_Q \leq \frac{R_{c,k}}{\gamma_{b/s/t}}$

- Einwirkungen

Angaben vom Tragwerksplaner Hochbau:

$$V_{G,k} = 1,15\text{MN}, V_{Q,k} = 0,52\text{MN}$$

$$E_d = 1,15\text{MN} \cdot 1,35 + 0,52\text{MN} \cdot 1,50 = 2,33\text{MN}$$

- Widerstände

$$R_{c,d} = (1,271 + 2,067) / \gamma_t = 3,338\text{MN} / 1,4 = 2,38\text{MN} \text{ (bei } s = 9\text{cm)}$$

Nachweis: $E_d = 2,33\text{MN} < 2,38\text{MN} = R_{c,d}$

Ausnutzungsgrad: $\mu = \frac{E_d}{R_{c,d}} = \frac{2,33}{2,38} = 0,98 < 1,0$

Nachweis erfüllt !

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl

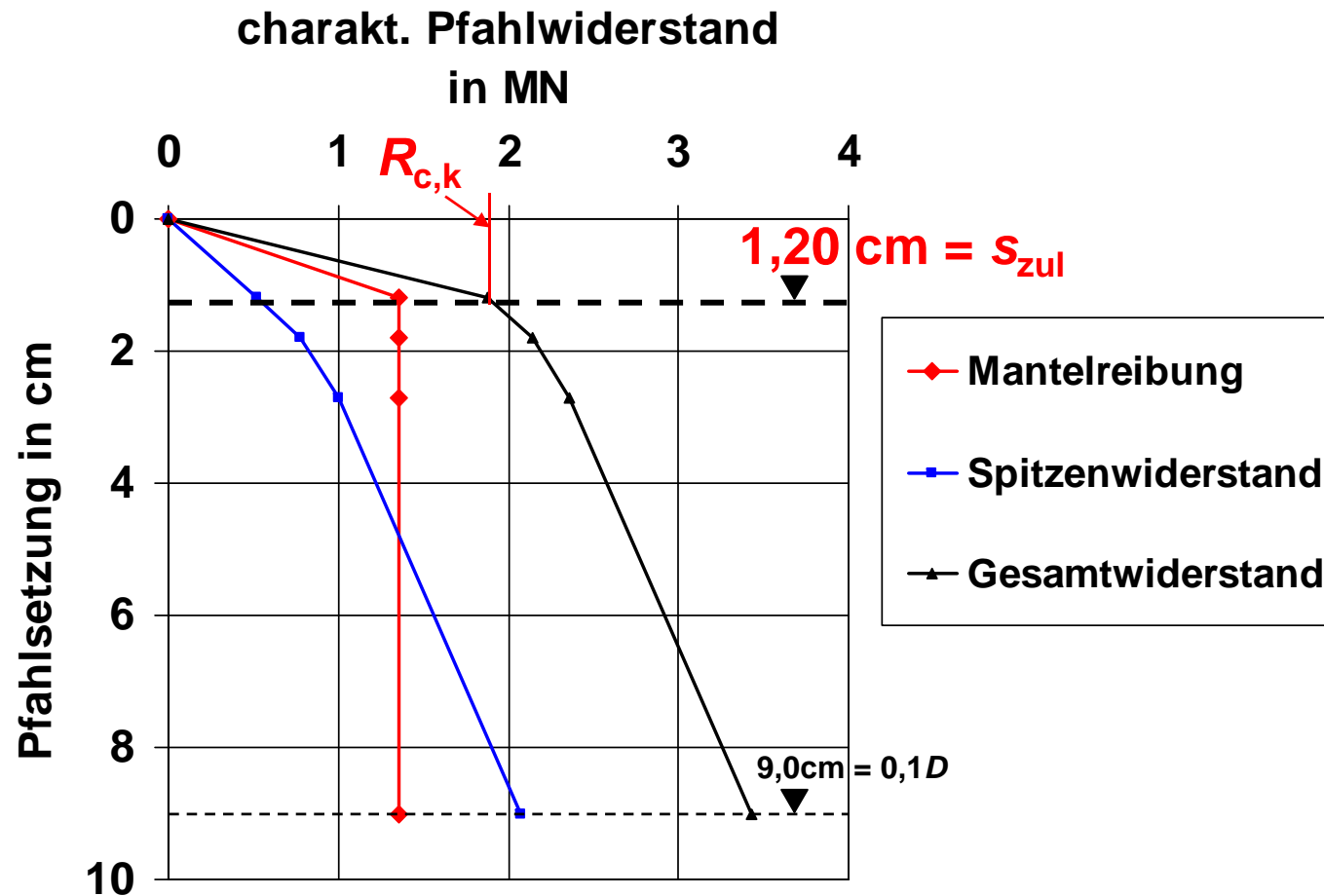


- **Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS):** $E_{G,k} + E_{Q,k} \leq R_{c,k}$
 - Zulässige vertikale Verformung: $s_{zul} = 1,2\text{cm}$ (z.B. Bauherr)
 - Einwirkungen: $E_k = 1,15 + 0,52 = 1,67\text{MN}$
 - Widerstände: aus der Widerstand-Setzungs-Linie für s_{zul}

Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



■ Widerstands-Setzung-Linie



Anwendungsbeispiel 3 - Bohrpfahl



- **Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (SLS):** $E_{G,k} + E_{Q,k} \leq R_{c,k}$
 - Zulässige vertikale Verformung: $s_{zul} = 1,2\text{cm}$ (z.B. Bauherr)
 - Einwirkungen: $E_k = 1,15 + 0,52 = 1,67\text{MN}$
 - Widerstände: aus der Widerstand-Setzungs-Linie für s_{zul}
 $R_{b,k}(s_{zul}=1,2\text{cm}) = 0,519\text{MN}$ $R_{s,k}(s_{zul}=1,2\text{cm}) = 1,271\text{MN}$
 $R_{c,k}(s_{zul}=1,2\text{cm}) = 0,519 + 1,271 = 1,79\text{MN}$

Nachweis: $E_k = 1,67\text{MN} < 1,79\text{MN} = R_{c,k}$

Ausnutzungsgrad: $\mu = \frac{E_k}{R_{c,k}} = \frac{1,67}{1,79} = 0,93 < 1,0$

Nachweis erfüllt !

- Einführung: Aktuelle Normung in der Geotechnik
- Bemessungskonzept nach EC7
- Anwendungsbeispiele
 - Flachgründung
 - Auftriebsnachweis einer Dichtsohle
 - Bemessung eines Bohrpfahls
- **Ausblick**

- **Kritik an 1.Generation Eurocodes**
 - 58 Normen mit 5.200 Seiten
 - zusätzlich nationale Anhänge und Normen
 - ➔ nutzerunfreundlich, teilweise zu unübersichtlich
- **Initiative PraxisRegelnBau e.V. (PRB)**
 - Verbesserung und Straffung der Eurocodes
 - Speziell für Eurocode 7: Geotechnische Bemessung:
 - Reduzierung von Wiederholungen
 - Reduzierung der Optionen für die Nachweisverfahren (bisher 3)
 - Überarbeitung gemeinsam mit nationalem Anhang und nationalen Normen

■ Ergebnis der Straffung bei EC7-1

Abschnitt	Zahl der Worte		Straffung um %
	Original	Überarbeitet	
2. Grundsätze geot. Bemessung	13.300	8.400	35
3. Geotechnische Unterlagen	2.950	970	70
4. Bauüberwachung ...			gestrichen
5. Schüttungen ...			gestrichen
6. Flächengründungen	8.400	2.790	67
7. Pfähle	11.800	6.300	45
8. Anker	2.300	1.500	35
9. Stützwände	8.100	3.300	60
10. Hydraulisches Versagen	2.400	1.800	25
11. Gesamtstandsicherheit	3.200	570	75
12. Erddämme	1.750	860	50

Quelle: Schuppener et al. (2014)

■ Zeitplan

- Überarbeitung bis 2020 ➡ 2.Generation Eurocodes

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit**