

Neue Pfahlnormen für die Bemessung und Ausführung einschließlich EA-Pfähle 2012

Prof. (em.) Dr.-Ing. Hans-Georg Kempfert, Hamburg

1 Aktuelle Pfahlnormen und Empfehlungen

Die derzeit für Pfahlgründungen gültigen nationalen und europäischen Normen sowie Empfehlungen sind nachfolgend zusammengestellt.

a) Berechnung und Bemessung

- DIN EN 1997-1:2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Kapitel 7
- DIN EN 1997-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter - Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln; Kapitel 7
- DIN 1054:2010-12: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1; Kapitel 7
- DIN 1054/A1:2012-08: Berichtigungsblatt A1; Kapitel 7

Vorstehende 3 Normen zusammengefasst im Handbuch EC 7-1 (2011): Kapitel 7

- DIN 12794: Betonfertigteile – Gründungspfähle
- DIN EN 1993-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 5: Pfähle und Spundwände
- DGGT-Empfehlung, AK 2.1: EA-Pfähle (2012), 2. Auflage: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“

b) Bauartspezifische Ausführungsnormen

- DIN EN 1536:2010-12: Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Bohrspfähle
- DIN SPEC 18140:2012-02: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 1536:2010-12
- DIN EN 12699:2001-05: Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verdrängungspfähle
- DIN EN 12699:2010-11: Berichtigung 1: Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verdrängungspfähle
- DIN SPEC 18538:2012-02: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 12699
- DIN EN 14199:2012-01: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)
- DIN SPEC 18539:2012-02: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 14199

Die bauartspezifischen Normen sind Ausführungsnormen, welche die Ausführung, Herstellung und konstruktive Durchbildung für die einzelnen Pfahlarten beschreiben. In der DGGT-Empfehlung, AK 2.1: EA-Pfähle (2012), 2. Auflage, finden sich ebenfalls ausführungstechnische Hinweise insbesondere zu den Pfahlsystemen und zur Qualitätssicherung.

Da auch Schlitzwandelemente oftmals im Sinne von Pfahlgründungen angewendet werden, ist als Herstellungsnorm

- DIN EN 1538: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Schlitzwände,

in Verbindung mit

- DIN 4126: Nachweis der Standsicherheit von Schlitzwänden

zu beachten.

2 Standsicherheit und Bemessung axial belasteter Pfähle

2.1 Nachweis der Tragfähigkeit

Die aus der aufgehenden Konstruktion resultierenden charakteristischen Einwirkungen F_k auf die Pfähle oder Beanspruchungen E_k sind nach Handbuch EC 7-1 (2011) für den Nachweis der Tragfähigkeit im Grenzzustand GEO-2 nach Gl. (1) und (2) mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Handbuch EC 7-1 (2011), Tabelle A 2.1 in Bemessungswerte umzurechnen.

$$F_d = F_{G,k} \cdot \gamma_G + F_{Q,rep} \cdot \gamma_Q \quad (1)$$

$$E_d = E_{G,k} \cdot \gamma_G + E_{Q,rep} \cdot \gamma_Q \quad (2)$$

Die Bemessungswerte der Pfahlwiderstände ergeben sich nach Gl. (3) zu

$$R_{c,d} = R_{c,k} / \gamma_t \quad \text{für Druckpfahlwiderstand} \quad (3a)$$

$$R_{t,d} = R_{t,k} / \gamma_{s,t} \quad \text{für Zugpfahlwiderstand} \quad (3b)$$

mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_t oder $\gamma_{s,t}$ nach Handbuch EC 7-1 (2011), Tabelle A 2.3, s.a. Abschnitt 2.3.

Für verpresste Zugpfahlsysteme (verpresste Mikropfähle nach DIN EN 14199 und verpresste Verdrängungspfähle nach DIN EN 12699) wird nach Handbuch EC 7-1 (2011) für den Bemessungswert die Gl. (3b) unter Berücksichtigung eines Modellfaktors η_M zu

$$R_{t,d} = R_{t,k} / (\gamma_{s,t} \cdot \eta_M) \quad (3c)$$

Der Modellfaktor beträgt unabhängig von der Pfahlneigung $\eta_M = 1,25$. Die Gl. (3c) gilt auch, wenn in begründeten Ausnahmefällen keine Pfahlprobelastungen vorliegen und die Pfahlwiderstände von verpressten Pfahlsystemen aus Erfahrungswerten abgeleitet werden.

Zum Nachweis der ausreichenden Sicherheit gegen Versagen eines axial belasteten Einzelpfahles durch Bruch des Bodens in der Pfahlumgebung (GEO-2) ist die Grenzzustandsbedingung nach Gl. (4) zu erfüllen:

$$F_{c,d} \leq R_{c,d} \quad \text{bzw.} \quad \sum F_{c,d} \leq \sum R_{c,d} \quad \text{für Druckpfahlwiderstände} \quad (4a)$$

$$F_{t,d} \leq R_{t,d} \quad \text{bzw.} \quad \sum F_{t,d} \leq \sum R_{t,d} \quad \text{für Zugpfahlwiderstände} \quad (4b)$$

Anmerkung: Neben den in Gl. (4) für den Bruchzustand der Pfähle nach Vorgabe des Handbuchs EC 7-1 (2011) verwendeten Bezeichnungen finden sich in der EA-Pfähle (2012) auch Abkürzungen je nach Zusammenhang von $R_g = R_{ult} = R(ULS)$.

Während nach Handbuch EC 7-1 (2011) bei der Ermittlung der Bemessungswerte der Zugbeanspruchung eine gleichzeitig wirkende charakteristische Druckbeanspruchung aus günstigen ständigen Einwirkungen nur mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{G,inf}$ zu berücksichtigen ist, so ist bei Druckpfählen mit gleichzeitig wirkender Zugbelastung so vorzugehen wie bei allen Gründungskörpern im Verfahren GEO-2. Alle charakteristischen Lasten werden mit ihren Vorzeichen (Druck und Zug) aufsummiert und dann die daraus resultierenden, um den Zuglastanteil verminderten charakteristischen Drucklasten mit den Teilsicherheitsbeiwerten für die Einwirkungen γ_G und γ_Q in Bemessungswerte überführt.

Das Eigengewicht der Pfähle darf bei Druckbelastung vernachlässigt werden. Bei Zugbelastung darf das Pfahleigengewicht als gleichzeitig günstig wirkende Druckbeanspruchung angesetzt werden.

Bezüglich eines veränderten Pfahltragverhaltens unter zyklischen Einwirkungen siehe EA-Pfähle (2012) und Abschnitt 5.

Bei teilweise freistehenden Pfählen und bei Pfählen in weichen Böden mit der Scherfestigkeit $c_{u,k} \leq 10 \text{ kN/m}^2$ muss die Knicksicherheit nachgewiesen werden. Im Handbuch EC 7-1 (2011) wird ergänzend darauf hingewiesen, dass bei Mikropfählen ein Knicken auch in Böden mit einer Scherfestigkeit $c_{u,k} > 10 \text{ kN/m}^2$ auftreten kann. Weitere detaillierte Hinweise und Verfahren siehe EA-Pfähle (2012).

Die Nachweise von Zugpfahlgruppen, z. B. für auftriebsbelastete Baugrubensohlen, haben sich im Handbuch EC 7-1 (2011) gegenüber der DIN 1054:2005-01 nicht geändert. Es sind zwei Nachweise zu führen: Einzelzugpfahlnachweis im Grenzzustand GEO-2 und Nachweis des zusammengefassten Bodenblocks im Grenzzustand UPL.

2.1 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit

Ergibt eine entsprechende Prüfung, dass die Verformungen der Pfahlgründung für das Gesamttragwerk von Bedeutung sind, dann ist eine ausreichende Sicherheit gegen Verlust der Gebrauchstauglichkeit (SLS) nachzuweisen. Der Nachweis ist erbracht, wenn die Bedingung erfüllt ist:

$$F_k \leq R(\text{SLS}) \quad (5a)$$

mit

F_k :	charakteristischer Wert der Druck- oder Zugeinwirkung auf den Pfahl
$R(\text{SLS})$:	charakteristischer Wert des Pfahlwiderstandes im Gebrauchslastbereich

Der Nachweis darf auch über aus der Tragwerksplanung vorzugebende zulässige Setzungen s_k unter charakteristischen Beanspruchungen der Pfahlgründung im Gebrauchszustand nach Gl. (5 b) geführt werden:

$$\text{vorh } s_k \leq \text{zul } s_k \quad (5b)$$

Anmerkung: Bei Verwendung von Pfahlsystemen, die im Gebrauchslastbereich nur geringe Setzungen aufweisen, kann der Gebrauchstauglichkeitsnachweis pauschal durch den Nachweis der Tragfähigkeit mit abgedeckt werden.

2.3 Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände haben sich gegenüber den Regelungen aus DIN 1054:2005-01 maßgeblich geändert und müssen im Zusammenhang mit den Streuungsfaktoren bei Pfahlprobelastungen gesehen werden.

Tabelle 1: Tabelle A 2.3 aus Handbuch EC 7-1(2011): Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände

Widerstand	Formel- zeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Pfahlwiderstände aus statischen und dynamischen Pfahlprobelastungen				
— Fußwiderstand	γ_b	1,10	1,10	1,10
— Mantelwiderstand (Druck)	γ_s	1,10	1,10	1,10
— Gesamtwiderstand (Druck)	γ_t	1,10	1,10	1,10
— Mantelwiderstand (Zug)	$\gamma_{s,t}$	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 in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50

2.4 Ableitung der charakteristischen axialen Pfahlwiderstände aus statischen Pfahlprobelastungen

Der charakteristische Pfahlwiderstand $R_{c,k}$ bzw. $R_{t,k}$ ist aus den Messwerten der statischen Pfahlprobelastungen durch Division mit den Streuungsfaktoren ξ_i nach Tabelle A 7.1 der DIN 1054:2010-12 bzw. Handbuch EC 7-1 (2011) zu ermitteln, siehe Tabelle 2. Bei Tragwerken, die nicht imstande sind, Lasten von „weichen“ zu „steifen“ Pfählen auf Druck umzulagern, muss folgende Gleichung für den charakteristischen Grenzwert des Druckwiderstandes erfüllt werden.

$$R_{c,k} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{c,m})_{\text{mitt}}}{\xi_1}, \frac{(R_{c,m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\} \quad (6a)$$

ξ_1 und ξ_2 sind von der Anzahl durchgeführter Pfahlprobelastungen abhängige Streuungsfaktoren, die auf den Mittelwert $(R_{c,m})_{\text{mitt}}$ bzw. den kleinsten Wert $(R_{c,m})_{\text{min}}$ von $R_{c,m}$ angewendet werden, siehe Tabelle 2.

Sofern Tragwerke eine ausreichende Steifigkeit haben, um Lasten von „weichen“ zu „steifen“ Druckpfählen umzulagern, dürfen die Zahlenwerte von ξ_1 und ξ_2 durch 1,1 dividiert werden, vorausgesetzt, dass ξ_1 niemals kleiner 1 wird. „Weiche“ Druckpfähle sind z. B. bei unabhängig voneinander wirkenden Einzelfpfählen gegeben und „steife“ Druckpfähle sofern die Bauwerkslasten z. B. über eine steife Kopfplatte auf mehrere Pfähle verteilt werden können.

Für den charakteristischen Grenzwert des Herauszieh-Widerstandes eines Zugpfahls gilt folgende Gleichung analog zu derjenigen wie bei Druckpfählen.

$$R_{t,k} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{t,m})_{\text{mitt}}}{\xi_1}, \frac{(R_{t,m})_{\text{min}}}{\xi_2} \right\} \quad (6b)$$

Eine Unterscheidung zwischen „weichen“ und „steifen“ Pfählen wie bei Druckpfählen wird bei Zugpfählen nicht vorgenommen.

Tabelle 2: Streuungsfaktoren ξ_i zur Ableitung charakteristischer Pfahlwiderstände aus statischen Pfahlprobebelastungen bei Druck- und Zugpfählen aus Handbuch EC 7-1 (2011), Tabelle A7.1

n	1	2	3	4	≥ 5
ξ_1	1,35	1,25	1,15	1,05	1,00
ξ_2	1,35	1,15	1,00	1,00	1,00
n ist die Anzahl der probebelasteten Pfähle.					

2.5 Ableitung der charakteristischen axialen Pfahlwiderstände aus dynamischen Pfahlprobebelastungen

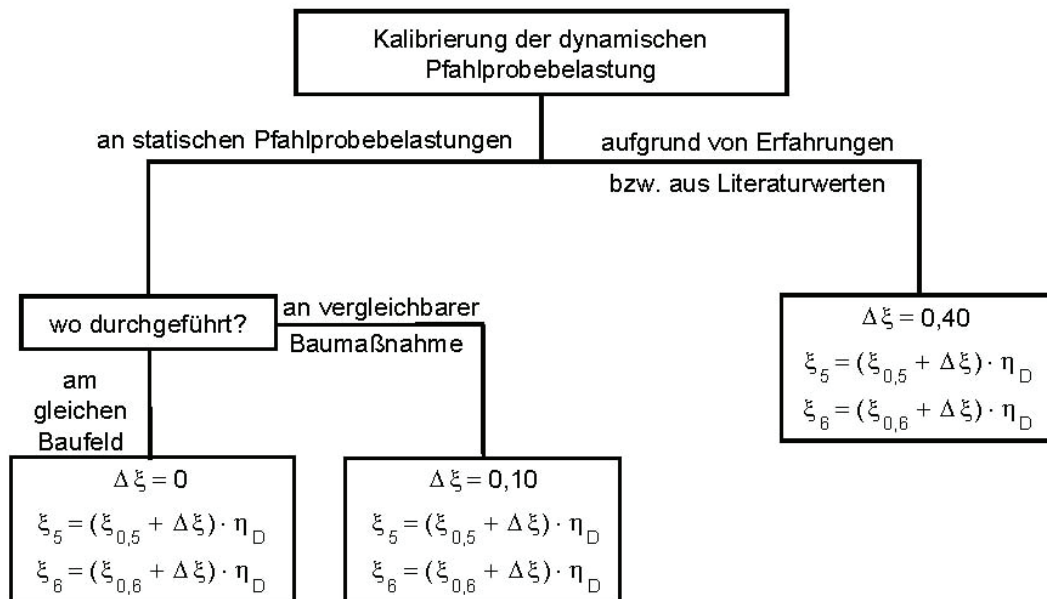
Der charakteristische Pfahlwiderstand $R_{c,k}$ ist aus den Messwerten von dynamischen Pfahlprobebelastungen durch Division mit den Streuungsfaktoren ξ_i zu ermitteln. Zur Berechnung der Streuungsfaktoren ξ_i sind die Grundwerte der Streuungsfaktoren $\xi_{0,i}$ mit den zugehörigen Erhöhungswerten $\Delta\xi$ und Modellfaktoren η_D nach Tabelle A 7.2 und Bild A 7.1 der DIN 1054:2010-12 bzw. Handbuch EC 7-1 (2011) zu verwenden, siehe Tabelle 3 und Bild 1.

Bei Tragwerken, die nicht imstande sind, Lasten von „weichen“ zu „steifen“ Pfählen auf Druck umzulagern, gilt die folgende Gleichung für den Grenzwert des charakteristischen Druckwiderstandes.

$$R_{c,k} = \text{MIN} \left\{ \frac{(R_{c,m})_{\text{mitt}}}{\xi_5}, \frac{(R_{c,m})_{\text{min}}}{\xi_6} \right\} \quad (7)$$

ξ_5 und ξ_6 sind von der Anzahl durchgeführter Pfahlprobebelastungen abhängige Streuungsfaktoren, die auf den Mittelwert $(R_{c,m})_{\text{mitt}}$ bzw. den kleinsten Wert $(R_{c,m})_{\text{min}}$ von $R_{c,m}$ angewendet werden, wobei die o.g. Regelungen zur Berücksichtigung von „weichen“ bzw. „steifen“ Druckpfählen analog gelten.

Die nach Gl. (7) abzuleitenden Streuungsfaktoren und die dabei zu beachtenden Randbedingungen finden sich in Tabelle 3 und Bild 1.



- Für den Modellfaktor gilt:
 - $\eta_D = 1,00$ für das direkte Verfahren,
 - $\eta_D = 0,85$ für das erweiterte Verfahren mit vollständiger Modellbildung,
 - $\eta_D = 1,05 / 1,10 / 1,20$ bei Anwendung von Rammformeln entsprechend Tabelle 3, Fußnote e
- Bei Tragwerken, die Lasten von "weichen" zu "steifen" Pfählen umlagern können, darf ξ_5 bzw. ξ_6 durch 1,10 dividiert werden.

Bild 1: Diagramm zum Vorgehen bei der Ableitung der Streuungsfaktoren ξ_5 und ξ_6 in Abhängigkeit von der Kalibrierung nach Tabelle 3, aus Handbuch EC 7-1 (2011), Bild A7.1

Tabelle 3: Grundwerte $\xi_{0,i}$ mit zugehörigen Erhöhungswerten und Modellfaktoren für Streuungsfaktoren ξ_5 und ξ_6 zur Ableitung charakteristischer Werte aus Stoßversuchen oder dynamischen Pfahlprobebelastungen, aus EA-Pfähle (2012)

$\xi_{0,i}$ für $n =$	2	5	10	15	≥ 20
$\xi_{0,5}$	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
$\xi_{0,6}$	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

- n ist die Anzahl der probebelasteten Pfähle;
- Zwischenwerte von $\xi_{0,5}$ und $\xi_{0,6}$ für $n = 2$ bis 20 dürfen linear interpoliert werden;

a) Zur Berechnung der Streuungsfaktoren ξ_i gilt: $\xi_i = (\xi_{0,i} + \Delta\xi) \cdot \eta_D$, siehe auch Bild 1

b) Für den Erhöhungswert $\Delta\xi$ gilt:
→ $\Delta\xi = 0$: für die Kalibrierung dynamischer Auswerteverfahren an statischen Pfahlprobebelastungsergebnissen auf dem gleichen Baufeld;
→ $\Delta\xi = 0,10$: für die Kalibrierung dynamischer Auswerteverfahren an statischen Pfahlprobebelastungsergebnissen an einer vergleichbaren Baumaßnahme;
→ $\Delta\xi = 0,40$: für die Kalibrierung dynamischer Auswerteverfahren aufgrund belegbarer oder allgemeiner Erfahrungswerte für Pfahlwiderstände. Die Anwendung des direkten Verfahrens, wie z. B. Case- oder TNO-Verfahren ist nicht zulässig.

c) Für den Modellfaktor η_D zur Berücksichtigung des Auswerteverfahrens gilt:
→ $\eta_D = 1,00$: bei direkten Auswerteverfahren;
→ $\eta_D = 0,85$: bei erweiterten Verfahren mit vollständiger Modellbildung.

d) Wenn Tragwerke eine ausreichende Steifigkeit und Festigkeit haben, um Lasten von „weichen“ zu „steifen“ Pfählen umzulagern, dürfen die Zahlenwerte von ξ_5 und ξ_6 durch 1,1 dividiert werden.

e) Für den Modellfaktor η_D zur Berücksichtigung von Rammformeln gilt:
→ $\eta_D = 1,05$: bei Anwendung der Wellengleichungsmethode;
→ $\eta_D = 1,10$: bei Anwendung einer Rammformel mit Messung der quasi-elastischen Pfahlkopfbewegung beim Rammschlag;
→ $\eta_D = 1,20$: bei Anwendung einer Rammformel ohne Messung der quasi-elastischen Pfahlkopfbewegung beim Rammschlag.

f) Wenn unterschiedliche Pfähle in der Gründung vorhanden sind, sollten bei der Wahl der Anzahl n von Versuchspfählen Gruppen gleichartiger Pfähle getrennt berücksichtigt werden. Dies gilt auch für Bereiche gleichartiger Baugrundverhältnisse innerhalb eines Baufeldes.

2.6 Bewertung der Regelungen bei Pfahlprobelbelastungen

Die national modifizierten Streuungsfaktoren in DIN 1054, A(8), Tabelle A 7.1 bzw. Handbuch EC 7-1 (2011) führen insgesamt bei den nationalen Regelungen, wie in Kempfert et al. (2008) belegt, zu weitgehend etwa vergleichbaren Resultaten wie die bisherige DIN 1054:2005-01. Die Vorzüge des Verfahrens nach Eurocode EC 7-1 liegen in der konsequenten Verringerung der Streuungsfaktoren mit zunehmender Anzahl der Probelbelastungen, wodurch der Aufwand, mehrere Probelbelastungen durchzuführen „belohnt“ wird. Gleichzeitig ergeben sich bei dieser Herangehensweise i. d. R. keine technisch unplausiblen Sprünge bei den berechneten zulässigen Einwirkungen $zul. F_k$, wie dies in den bisherigen Regelungen der DIN 1054:2005-01 und der DIN 1054:1976-11 der Fall war. Die maximale Anzahl der in DIN 1054:2005-01 berücksichtigten Probelbelastungen ist mit $n = 2$ kleiner als $n = 5$ bei Eurocode EC 7-1. Für $n = 2$ ergeben sich nach Eurocode EC 7-1, nationale Festlegungen, leicht geringfügigere zulässige (charakteristische) Tragfähigkeiten als nach DIN 1054:2005-01. Für $n = 5$ ergeben sich nach Eurocode EC 7-1, nationale Regelung im Vergleich zur DIN 1054:2005-01 höhere charakteristische Tragfähigkeiten, was so auch gewünscht ist. Weitere Ergebnisbeispiele und Interpretationen finden sich auch in Kempfert (2009).

2.7 Grenzwert des Druckwiderstands aus den Ergebnissen von Baugrundversuchen

Da nach wie vor die national übliche Vorgehensweise bei der Ermittlung von Pfahlwiderständen eine empirische auf der Grundlage von vergleichbaren Pfahlprobelbelastungen ist, findet sich in DIN 1054:2010-12, A Anmerkung zu A(1)P bzw. Handbuch EC 7-1 (2011) zunächst eine Klarstellung, was national unter der in EC 7-1, (1)P geregelten Vorgehensweise zu verstehen ist. Im Handbuch EC 7-1 (2011) finden sich keine Angaben für charakteristische Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten mehr. DIN 1054:2010-12 verweist dazu auf die Erfahrungswerte aus EA-Pfähle (2007), (2011) als nationale Vorgehensweise.

DIN EN 1997-1/NA:2010-12, NDP Zu 7.6.2.3 (8) bzw. Handbuch EC 7-1 (2011), Anmerkung erläutert, dass bei dieser nationalen Vorgehensweise nach EA-Pfähle (2007), (2011) gemäß DIN 1054, Tabelle A 2.3 mit einem erhöhten Teilsicherheitsbeiwert γ_t auf der widerstehenden Seite gerechnet werden muss, in den bereits ein Modellfaktor von $\eta_E \approx 1,3$ eingerechnet ist, der etwa vergleichbar mit den Streuungsfaktoren $\xi_{1,2}$ nach DIN 1054:2010-12, 7.6.2.2, A(8), Tabelle A 7.1 (siehe Tabelle 2) ist und damit das bisher übliche Sicherheitsniveau für Pfahltragfähigkeiten auf der Grundlage von Erfahrungswerten wiedergibt.

2.8 Mikropfähle als Verankerungselemente

Hinweise zur Verwendung von Mikropfählen als Verankerungselemente finden sich im Themenblock „Verankerungen“ (E. Dornecker).

3 Standsicherheit und Bemessung quer zur Pfahlachse

Gegenüber den Regelungen der bisherigen DIN 1054:2005-01 wurden im Handbuch EC 7-1 (2011) keine wesentlichen Änderungen vorgenommen.

4 Kombinierte-Pfahlplattengründungen

Das Handbuch EC 7-1 (2011) enthält in der DIN 1054 auch konkrete Hinweise zur Nachweisführung für Kombinierte Pfahl-Plattengründungen. Im Wesentlichen wird dabei zunächst auf die KPP-Richtlinie (2002) hingewiesen. Weiterhin bleibt gültig, dass die Anwendbarkeit einer KPP durch einen bauaufsichtlichen Verwendbarkeitsnachweis, z. B. eine Zustimmung im Einzelfall, nachzuweisen ist.

Gefordert wird, dass das verwendete Berechnungsverfahren zur Ermittlung des charakteristischen Gesamtwiderstands $R_{c,tot,k}$ die Interaktion zwischen Baugrund, Sohlplatte und Pfählen in ausreichender Weise berücksichtigen muss. Der Teilsicherheitsbeiwert, der für die Widerstandsseite anzuwenden ist, um den zugehörigen Bemessungswert des Gesamtwiderstands $R_{c,tot,d}$ zu ermitteln, entspricht dem Teilsicher-

heitsbeiwert für den Grundbruchwiderstand. Es wird geregelt, dass ein Nachweis der Einzelelemente Sohlplatte oder Einzelpfähle im Grenzzustand GEO-2 entfallen darf.

5 Pfahlwiderstände bei zyklischen, dynamischen und stoßartigen Einwirkungen

Die für das Pfahltragverhalten gegenüber quasistatischen Einwirkungen wichtigen zyklischen, dynamischen und stoßartigen Einwirkungen sind im Handbuch EC 7-1 (2011), Abschnitt 7 nur an sehr wenigen Stellen erwähnt. Mit Bezug auf EC 7-1, Abschnitt 7.5.1 (3) werden dazu inhaltlich in DIN 1054, A(3a) bis A(3e) weitere differenzierte Regelungen getroffen. Diese Einwirkungen auf Pfähle sind z. B. bei Maschinenfundamenten oder aus Eisenbahnverkehrslasten bei aufgeständerten Festen Fahrbahnen sowie Windkraftanlagen besonders im Offshore-Bereich vorhanden. Dazu finden sich detaillierte Hinweise und weitergehende Regelungen in der EA-Pfähle (2007), (2011), auf die DIN 1054 verweist.

6 Bauartspezifische Pfahl-Ausführungsnormen

Wie bereits in Abschnitt 1 aufgelistet, wurden die europäischen bauartspezifischen Pfahlausführungsnormen durch national zusätzliche Festlegungen (Specifications: DIN SPEC's) für die bauaufsichtliche Einführung in Deutschland ergänzt. Dabei werden z. B. die Verbundspannungen in DIN SPEC 18538 für die verpressten Verdrängungspfähle nach DIN EN 12699 ergänzend geregelt usw.

7 EA-Pfähle der DGGT

7.1 Zielsetzung

Als deutlich wurde, dass mit der bauaufsichtlichen Einführung der DIN EN 1997-1 (Eurocode EC 7-1) nur noch geringe Möglichkeiten vorhanden sind, spezielle nationale technische Vorstellungen und Erfahrungen in die europäische Normung einzubringen, hatte der Arbeitskreis AK 2.1 „Pfähle“ der DGGT, der in Personalunion auch Normenausschuss NA005-05-07 „Pfähle“ ist, beschlossen, die europäische und nationale Situation der Normung für die Pfahlthematik zum Anlass zu nehmen, analog zu EAB, EAU, EB-GEO usw. die maßgeblichen besonders national geprägten Erfahrungen und Festlegungen verstreut in unterschiedlichen Publikationen in Form einer DGGT-Empfehlung unter dem Titel „EA-Pfähle“ zusammenzufassen. Die Empfehlungen wurden in 2007 im Verlag Ernst & Sohn, Berlin, als Sammelband in 1. Auflage veröffentlicht und liegen zwischenzeitlich als 2. Auflage auf der Grundlage von Eurocode EC-1 / DIN 1054:2010-12 vor.

7.2 Gliederung und Inhalte

Die Hauptabschnitte der DGGT-Empfehlung EA-PFÄHLE sind folgende:

- 1 Einleitung und Anwendungsgrundlagen der Empfehlungen
- 2 Pfahlsysteme
- 3 Grundsätze zu Entwurf und Berechnung von Pfahlgründungen
- 4 Einwirkungen und Beanspruchungen
- 5 Tragverhalten und Widerstände von Einzelpfählen
- 6 Standsicherheitsnachweise
- 7 Berechnung von Pfahlrosten
- 8 Berechnung und Nachweise von Pfahlgruppen
- 9 Statische Pfahlprobelbelastungen
- 10 Dynamische Pfahlprobelbelastungen
- 11 Qualitätssicherung bei der Bauausführung
- 12 Pfahl-Integritätsprüfungen
- 13 Tragverhalten und Nachweise für Pfähle unter zyklischen, dynamischen und stoßartigen Einwirkungen

Anhang A: Begriffe, Teilsicherheitsbeiwerte und Berechnungsgrundlagen

Anhang B: 13 Berechnung- und Auswertungsbeispiele

- Anhang C: 6 Fallbeispiele zur dynamischen Pfahlprobelastung und Integritätsprüfung
 Anhang D: Berechnungsverfahren und –beispiele für zyklisch belastete Pfähle (informativ)

7.3 Angaben zur Pfahltragfähigkeit aufgrund von Erfahrungswerten

Das Handbuch EC 7-1 (2011) (Eurocode EC 7-1 / DIN 1054:2010-12) enthält keine zahlenmäßigen Angaben mehr über charakteristische Werte von Pfahlspitzendruck und Mantelreibung, siehe Abschnitt 2.7. Diese finden sich nunmehr in der EA-Pfähle, worauf die DIN 1054:2010-12 auch hinweist. Für die in der EA-Pfähle enthaltenen zahlreichen Tabellenwerten liegen umfangreiche statistische Auswertungen von durchgeführten Pfahlprobelastungen zugrunde, siehe z. B. Kempfert, H.-G./Becker, P. (2007). Die durchgeführten Untersuchungen liefern empirisch weitgehend abgesicherte Spannen von Erfahrungswerten für den Pfahlspitzenwiderstand und die Pfahlmantelreibung in Abhängigkeit der Baugrundverhältnisse für die derzeit überwiegend in der Baupraxis zur Ausführung kommenden Pfahlsysteme. Die vergleichende statistische Auswertung von Probelastungen ermöglicht eine einheitliche Beurteilung des Tragverhaltens der verschiedenen Pfahlsysteme und somit eine sichere und je nach Aufwand für die geotechnischen Voruntersuchungen auch wirtschaftliche Ableitung der Pfahltragfähigkeiten. Dabei wird allerdings die Unsicherheit größer, je stärker die Herstellungseinflüsse auf die Tragfähigkeit sind, z. B. verpresste Mikropfähle.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass die in EA-Pfähle aufgeführten Bedingungen für die Anwendung der Spannen der Erfahrungswerte der Pfahltragfähigkeiten sorgfältig eingehalten werden sollten und regionale Erfahrungen mit zu berücksichtigen sind. Dazu empfiehlt sich i. d. R. immer die Einschaltung eines Sachverständigen für Geotechnik.

7.4 Formale Hinweise in Handbuch EC 7-1 (2011) auf die EA-Pfähle

Im Handbuch EC 7-1 (2011) (Eurocode EC 7-1 / DIN 1054:2010-12) finden sich, wie bereits ausgeführt, zahlreiche Hinweise auf die EA-Pfähle zu weitergehenden Regelungen für Pfahlgründungen. Aus formalen Gründen wurde im Handbuch EC 7-1 (2011) auf die 1. Auflage der EA-Pfähle (2007) verwiesen, da zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der DIN 1054:2010-12 die 2. Auflage der EA-Pfähle noch nicht vorlag. Dies ist aber inhaltlich unglücklich, da die EA-Pfähle (2007) sich auf DIN 1054:2005-01 bezieht und erst die 2. Auflage der EA-Pfähle (2012) mit dem Handbuch EC 7-1 (2011) inhaltlich und mit dem Sicherheitskonzept konform geht. Dieser Widerspruch wird mit Berichtigungen zur DIN 1054:2010-12 zeitnah korrigiert. In der praktischen Arbeit muss aber die 2. Auflage der EA-Pfähle (2012) zusammen mit dem Handbuch EC 7-1 (2011) inhaltlich zugrunde gelegt werden.

Literatur

- EA-Pfähle (2012): Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, 2. Auflage, Verlag Ernst & Sohn
 Kempfert, H.-G., Hörtkorn, F. Becker, P. (2008): Ableitung von Streuungsfaktoren und Teilsicherheitsbeiwerten für Pfahlwiderstände aus Ergebnissen von Probelastungen und Erfahrungswerten für den Eurocode EC 7-1 – Kalibrierung am bisherigen deutschen Sicherheitsstandard –. Forschungsbericht Universität Kassel für das DIBt, IRB Verlag, Stuttgart
 Kempfert, H.-G. (2009): 3.2 Pfahlgründungen. In: Grundbau-Taschenbuch, Teil 3, 7. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, S. 73–277
 Kempfert, H.-G. / Becker, P. (2007): Grundlagen und Ergebnisse der Ableitung von axialen Pfahlwiderständen aus Erfahrungswerten für die EA-Pfähle. Bautechnik 84 (2007), Heft 7, S. 441–449.
 Kempfert, H.-G. (2012): Kapitel B 7 „Pfahlgründungen“ und C 7 Beispiele zu Abschnitt 7 „Pfahlgründungen“. In: Kommentar zum Handbuch Eurocode 7 – Geotechnische Bemessung, Allgemeine Regeln. Verlag Ernst & Sohn Berlin, S. 111 - 124 und S. 205 - 220
 KPP-Richtlinie (2002): Richtlinie für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen. Verlag Ernst & Sohn