

1 Einleitung und Anwendungsgrundlagen der Empfehlungen

1.1 Nationale und internationale Vorschriften für Pfähle

(1) Mit DIN EN 1997-1:2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln wird in Deutschland die Berechnung und Bemessung von Pfählen im Kapitel 7 dieses Eurocodes EC 7-1 in Verbindung mit DIN 1054:2010-12: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1 und dem nationalen Anhang zum EC 7-1 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 geregelt. Diese drei aufeinander abgestimmten Normen sind textlich zusammengefasst im Handbuch Eurocode 7, Band 1 [44].

Anmerkung: Sofern in den im Handbuch Eurocode 7, Band 1 [44] enthaltenen Normen Änderungen oder Berichtigungen vorgenommen werden, sind diese zugrunde zu legen, auch wenn sie noch nicht in [44] Eingang gefunden haben.

(2) Weiterhin sind für die einzelnen Pfahlsysteme folgende Herstellungsnormen vorhanden:

- DIN EN 1536: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bohrpfähle,
- DIN SPEC 18140: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 1536
- DIN EN 12699: Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verdrängungspfähle,
- DIN SPEC 18538: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 12699,
- DIN EN 14199: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle),
- DIN SPEC 18539: Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 14199,
- DIN EN 12794: Betonfertigteile – Gründungspfähle,
- DIN EN 1993-5: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten – Teil 5: Pfähle und Spundwände.

(3) 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.

(4) Weiterhin werden auch für einige spezielle Themen zu Pfählen ISO Normen erarbeitet, die in Deutschland voraussichtlich aber nicht bauaufsichtlich eingeführt werden. Derzeit liegt vor

DIN EN ISO 22477-1: Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen – Teil 1: Pfahlprobelastungen durch statische axiale Belastungen.

Für die Durchführung von statischen Pfahlprobelastungen sollten national die Regelungen nach Kapitel 9 angewendet werden.

1.2 Nachweisformen und Grenzzustände nach dem Teilsicherheitskonzept

1.2.1 Neue Normengeneration und Anwendung auf Pfahlgründungen

(1) Laut Beschluss der Europäischen Kommission sind bzw. werden die maßgeblichen nationalen Bemessungs- und Ausführungsnormen im Bauwesen durch Europäische Normen ersetzt. Dazu liegen zwischenzeitlich zahlreiche europäische Bemessungs- und Ausführungsnormen für die Geotechnik und den Spezialtiefbau vor.

(2) Die für die Herstellung von Pfählen maßgeblichen europäischen Ausführungsnormen sind in 1.1 aufgeführt.

(3) Die Berechnung und Bemessung von Pfahlgründungen ist europäisch in DIN EN 1997-1: „Entwurf, Bemessung und Berechnung in der Geotechnik“ (Eurocode EC 7-1) in Verbindung mit DIN 1054 und DIN EN 1997-1/NA behandelt, siehe 1.1

(4) Als Übergangslösung bis zur bauaufsichtlichen Einführung der Eurocodes diene eine neue nationale Normengeneration nach dem Teilsicherheitskonzept für alle Gebiete des konstruktiven Ingenieurbaus. Für Pfahlgründungen sind dazu insbesondere folgende Normen maßgebend:

DIN 1055-100:2001-03: Grundlagen der Tragwerksplanung,

DIN 1054:2005-01: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau,

DIN 18800:1990-11: Stahlbauten und

DIN 1045:2001-07: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton.

(5) Die bauaufsichtliche Einführung von Eurocode EC 7-1 in Verbindung mit DIN 1054:2010-12 ist in 2012 voraussichtlich als Stichtagslösung zu erwarten. Eine vorgezogene Anwendung kann in Abstimmung mit den Prüfinstanzen vorgenommen werden.

(6) Die vorliegende Fassung der 2. Auflage der EA-Pfähle beruht auf den vorstehend aufgelisteten Normen nach 1.1 und für die Bemessung besonders Eurocode EC 7-1 in Verbindung mit DIN 1054 und NA nach 1.1 (1).

1.2.2 Einwirkungen, Beanspruchungen und Widerstände

(1) Das ursprüngliche Teilsicherheitskonzept ging aus von der Wahrscheinlichkeitstheorie zur Festlegung der einzuhaltenden Sicherheiten auf probabilistischer Grundlage. Demgegenüber folgt die neue Normengeneration in der Geotechnik ab Einführung der DIN 1054:2005-01 einer pragmatischen Aufspaltung der bisher gebräuchlichen Globalsicherheiten in Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen bzw. Beanspruchungen und Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände.

(2) Grundlage für Standsicherheitsberechnungen sind die charakteristischen Werte für Einwirkungen und Widerstände. Der charakteristische Wert, gekennzeichnet durch den Index „k“, ist ein Wert, von dem angenommen wird, dass er mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit im Bezugszeitraum unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Bauwerks oder der entsprechenden Bemessungssituation nicht über- oder unterschritten wird. In der Regel werden charakteristische Werte aufgrund von Versuchen, Messungen, Rechnungen oder Erfahrungen festgelegt.

(3) Wenn die „innere“ oder „äußere“ Tragfähigkeit von Pfählen nachgewiesen werden muss, werden die Beanspruchungen am Pfahlkopf oder in Schnitten benötigt:

- als Schnittgrößen, z. B. Normalkraft, Querkraft, Biegemoment,
- als Spannungen, z. B. Druck-, Zug-, Biegespannung, Schub- oder Vergleichsspannung.

Darüber hinaus können weitere Auswirkungen von Einwirkungen auftreten:

- als dynamische oder zyklische Beanspruchung,
- als Veränderung am Bauteil, z. B. Dehnung, Verformung oder Rissbreite,
- als Lageveränderung der Einzelpfähle oder der Pfahlgruppe, z. B. Verschiebung, Setzung, Verdrehung.

(4) Bei der Bemessung von Einzelteilen sind der Querschnitt und der innere Widerstand des Materials maßgebend. Dafür sind die einzelnen Bauartnormen zuständig.

(5) Die charakteristischen Werte der Beanspruchungen werden mit Teilsicherheitsbeiwerten multipliziert, die charakteristischen Werte der Widerstände durch Teilsicherheitsbeiwerte dividiert. Die so erhaltenen Größen werden als Bemessungswerte der Beanspruchungen bzw. der Widerstände bezeichnet und durch den Index „d“ gekennzeichnet. Beim Nachweis der Standsicherheit werden unterschiedliche Grenzzustände unterschieden, siehe auch 1.2.3, 1.2.4 und 3.1.1 (4).

(6) Neben den Einwirkungen sind für die Pfahlnachweise, wie bei anderen Bauteilen auch, Bemessungssituationen zu berücksichtigen. Dazu sind die bisherigen Lastfälle LF 1, LF 2 und LF 3 für die Nachweise nach

DIN 1054:2005-01, für die Nachweise nach DIN EN 1997 (EC 7-1) und DIN 1054:2010-12 bzw. DIN EN 1990 in die Bemessungssituationen

- BS-P (Persistent situation),
- BS-T (Transient situation) und,
- BS-A (Accidental situation)

umgewandelt worden. Zusätzlich gibt es die Bemessungssituation infolge Erdbeben BS-E. Weitergehende Hinweise finden sich im Handbuch EC 7-1 [44] und in [133].

1.2.3 Grenzzustände und nationale Anwendung des Handbuchs EC 7-1

(1) Der Begriff „Grenzzustand“ wird in zwei verschiedenen Bedeutungen verwendet:

- a) Als „Grenzzustand des plastischen Fließens“ wird in der Bodenmechanik der Zustand im Boden bezeichnet, in dem in einer ganzen Bodenmasse oder zumindest im Bereich einer Bruchfuge die Verschiebungen der einzelnen Bodenteilchen gegeneinander so groß sind, dass die mögliche Scherfestigkeit ihren Größtwert erreicht, der auch bei einer weiteren Bewegung nicht mehr größer, gegebenenfalls aber kleiner werden kann. Der Grenzzustand des plastischen Fließens kennzeichnet den aktiven Erddruck, den Erdwiderstand, den Grundbruch, das „äußere“ Pfahlversagen sowie den Böschungs- und Geländebruch.
- b) Ein zweiter Grenzzustand im Sinne des neuen Sicherheitskonzeptes ist ein Zustand des Tragwerks, bei dessen Überschreitung die der Tragwerksplanung zugrunde gelegten Anforderungen nicht mehr erfüllt sind.

(2) Im Sinne des Teilsicherheitskonzeptes werden folgende Grenzzustände unterschieden:

- a) Der Grenzzustand der Tragfähigkeit ist ein Zustand des Tragwerks, dessen Überschreitung unmittelbar zu einem rechnerischen Einsturz oder einer anderen Form des Versagens führt. Er wird in EC 7-1 und DIN 1054 als ultimate limit state ULS bezeichnet. Dabei wird eine weitere Unterteilung nach (5) vorgenommen.
- b) Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist ein Zustand des Tragwerks, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind. Er wird in EC 7-1 und DIN 1054 als serviceability limit state (SLS) bezeichnet.

(3) Im Hinblick auf die Nachweise der Sicherheit im Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) bietet der Eurocode EC 7-1 drei Möglichkeiten an. Die für die Anwendung in Deutschland geltenden ergänzenden Regelungen der DIN 1054 stützen sich bis auf eine Ausnahme (siehe (6) und (9)) auf das Nachweisverfahren 2 nach EC 7-1 in der Form, dass die Teilsicherheitsbeiwerte auf die

Beanspruchungen und auf die Widerstände angewendet werden. Zur Unterscheidung zu der ebenfalls zugelassenen Variante, bei der die Teilsicherheitsbeiwerte nicht auf die Beanspruchungen, sondern auf die Einwirkungen angewendet werden, wird dieses Verfahren in [133] als Nachweisverfahren 2* bezeichnet, siehe auch Handbuch EC 7-1 [44].

(4) Der Nationale Anhang zu EC 7-1 und die DIN 1054 sind ein formales Bindeglied zwischen dem EC 7-1 und dem nationalen Normenwerk, siehe Handbuch EC 7-1 [44]. In DIN 1054 und dem Nationalen Anhang wird angegeben, welches der zur Auswahl gestellten Nachweisverfahren und welche Teilsicherheitsbeiwerte im nationalen Bereich maßgebend sind. Weiterhin darf angegeben werden, welche nationalen Regelwerke ergänzend anzuwenden sind. Die ergänzenden nationalen Regelungen dürfen dem EC 7-1 nicht widersprechen. Darüber hinaus soll der Nationale Anhang und DIN 1054 keine Angaben wiederholen, die bereits im EC 7-1 enthalten sind.

(5) Eurocode EC 7-1 gliedert den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS) auf in folgende Grenzzustände:

- a) EQU: Gleichgewichtsverlust des als starrer Körper angesehenen Tragwerks oder des Baugrundes. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „equilibrium“.
- b) STR: Inneres Versagen oder sehr große Verformungen des Tragwerks oder seiner Bauteile, wobei die Festigkeit der Baustoffe für den Widerstand entscheidend ist. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „structure failure“.
- c) GEO: Versagen oder sehr große Verformung des Tragwerks oder des Baugrundes, wobei die Festigkeit von Boden oder Fels für den Widerstand entscheidend ist. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „geotechnic failure“.
- d) UPL: Gleichgewichtsverlust des Bauwerks oder Baugrundes infolge von Auftrieb oder Wasserdruck. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „uplift“.
- e) HYD: Hydraulischer Grundbruch, innere Erosion oder „Piping“ im Boden, verursacht durch Strömungsgradienten. Die Bezeichnung ist abgeleitet von „hydraulic failure“.

(6) In der Terminologie des Handbuchs EC 7-1 [44] wird der Grenzzustand GEO aufgeteilt in GEO-2 und GEO-3:

- a) GEO-2: Versagen oder sehr große Verformung des Baugrundes im Zusammenhang mit der Ermittlung der Schnittgrößen und der Abmessungen, d. h. bei der Inanspruchnahme der Scherfestigkeit beim Erdwiderstand, beim Gleitwiderstand, beim Grundbruchwiderstand und beim Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge sowie bei Spitzendruck und Mantelreibung bei Pfahlgründungen. Der Grenzzustand GEO-2 beinhaltet das Nachweisverfahren 2*, siehe (3), nach Handbuch EC 7-1 [44].
- b) GEO-3: Versagen oder sehr große Verformung des Baugrundes im Zusammenhang mit dem Nachweis der Gesamtstandsicherheit, d. h. bei der Inanspruchnahme der Scherfestigkeit beim Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch und Geländebruch sowie in der Regel beim Nachweis der Standsicherheit von konstruktiven Böschungssicherungen, auch unter Be-

rücksichtigung konstruktiver Elemente, z. B. Anker, Pfähle. Der Grenzzustand GEO-3 beinhaltet das Nachweisverfahren 3 nach Handbuch EC 7-1 [44].

(7) Die Grenzzustände EQU, UPL und HYD beschreiben den Verlust der Lagesicherheit. Dazu gehören:

- a) der Nachweis der Sicherheit gegen Umkippen (EQU),
- b) der Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen oder Abheben, z. B. bei einer Zugpfahlgruppe (UPL),
- c) der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch (HYD).

(8) Bei den Grenzzuständen EQU, UPL und HYD gibt es nur Einwirkungen, keine Widerstände.

Maßgebend ist die Grenzzustandsbedingung

$$F_d = F_k \cdot \gamma_{dst} \leq G_k \cdot \gamma_{stb} = G_d \quad (1.1)$$

d. h. die destabilisierenden Einwirkungen F_k multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{dst} \geq 1,0$ dürfen höchstens so groß werden wie die stabilisierende Einwirkung G_k multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{stb} < 1,0$.

(9) Der Grenzzustand GEO-2 beschreibt das Versagen von Bauwerken und Bauteilen bzw. das Versagen des Baugrundes. Dazu gehören:

- a) der Nachweis der Tragfähigkeit von Bauwerken und von Bauteilen, die durch den Baugrund belastet bzw. durch den Baugrund gestützt werden,
- b) der Nachweis, dass die Tragfähigkeit des Baugrundes, z. B. in Form von Erdwiderstand, Grundbruchwiderstand, Pfahlwiderstand oder Gleitwiderstand, nicht überschritten wird.

Dabei wird der Nachweis, dass die Tragfähigkeit des Baugrundes nicht überschritten wird, genau so geführt wie bei jedem anderen Baumaterial. Maßgebend ist immer die Grenzzustandsbedingung

$$E_d = E_k \cdot \gamma_F \leq R_k / \gamma_R = R_d \quad (1.2)$$

d. h. die charakteristische Beanspruchung E_k , multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F für Einwirkungen bzw. Beanspruchungen, darf höchstens so groß werden wie der charakteristische Widerstand R_k dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_R .

(10) Der Grenzzustand GEO-3 ist eine Besonderheit des Erd- und Grundbaus. Er beschreibt den Verlust der Gesamtstandsicherheit. Dazu gehören:

- a) der Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch,
- b) der Nachweis der Sicherheit gegen Geländebruch.

Maßgebend ist immer die Grenzzustandsbedingung

$$E_d \leq R_d \quad (1.3)$$

d. h. der Bemessungswert E_d der Beanspruchungen darf höchstens so groß werden wie der Bemessungswert R_d des Widerstandes. Hierbei werden die geotechnischen Einwirkungen und Widerstände mit den Bemessungswerten

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi \quad \text{und} \quad c'_d = c'_k / \gamma_c \quad \text{bzw.} \quad (1.4a)$$

$$\tan \varphi_{u,d} = \tan \varphi_{u,k} / \gamma_\varphi \quad \text{und} \quad c_{u,d} = c_{u,k} / \gamma_c \quad (1.4b)$$

der Scherfestigkeiten ermittelt, d. h. die Reibung $\tan \varphi$ und die Kohäsion c werden von vornherein mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_φ und γ_c abgemindert.

(11) Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS) beschreibt den Zustand des Bauwerks oder Bauteils, bei dem die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind, ohne dass seine Tragfähigkeit verloren geht. Dem Nachweis liegt zugrunde, dass die zu erwartenden Verschiebungen und Verformungen mit dem Zweck des Bauwerks vereinbar sind.

1.2.4 Übergangsregelungen zur Anwendung der EA-Pfähle im Zusammenhang mit dem Handbuch EC 7-1

(1) Die vorliegende 2. Auflage der EA-Pfähle beruht auf den Festlegungen des Handbuchs EC 7-1 [44].

(2) Eine maßgeblich andere Festlegung im Handbuch EC 7-1 [44] gegenüber DIN 1054:2005-01 für Pfahlgründungen sind andere Teilsicherheitsbeiwerte γ_p (niedriger) und Streuungsfaktoren ξ (höher). In der Summe ergeben sich aber aus γ_p und ξ vergleichbare Größenordnungen auf der widerstehenden Seite wie nach DIN 1054:2005-01, siehe [59].

(3) Die bisherigen Grenzzustände nach DIN 1054:2005-01 werden im Handbuch EC 7-1 [44] wie folgt ersetzt:

- a) Dem bisherigen Grenzzustand GZ 1A nach DIN 1054:2005-01 entsprechen ohne Einschränkung die Grenzzustände EQU, UPL und HYD nach Handbuch EC 7-1 [44].
- b) Dem bisherigen Grenzzustand GZ 1B nach DIN 1054:2005-01 entspricht ohne Einschränkung der Grenzzustand STR nach Handbuch EC 7-1 [44] als „innere“ Pfahltragfähigkeit (Materialfestigkeit). Hinzu kommt der Grenzzustand GEO-2 nach Handbuch EC 7-1 [44] im Zusammenhang mit der „äußeren“ Bemessung der Gründungselemente, z. B. „äußere“ Pfahltragfähigkeit.
- c) Dem bisherigen Grenzzustand GZ 1C nach DIN 1054:2005-01 entspricht der Grenzzustand GEO-3 nach Handbuch EC 7-1 [44] im Zusammenhang mit dem Nachweis der Gesamtstandsicherheit, d. h. bei Inanspruchnahme der Scherfestigkeit beim Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch und Geländebruch.

1.3 Planung und Prüfung von Pfahlgründungen

- (1) In der EA-Pfähle werden in Anlehnung an Handbuch EC 7-1 [44] und Handbuch EC 7-2 [45] die Begriffe „Entwurfsverfasser“ (Planverfasser) verwendet.
- (2) Der Entwurfsverfasser sollte einen Fachplaner für Pfahlgründungen hinzuziehen, wenn er nicht die erforderliche Sachkunde und Erfahrung für die Planung der Pfahlgründung besitzt.
- (3) Für Pfahlgründungen ist gemäß Handbuch EC 7-1 [44] ein Geotechnischer Entwurfsbericht zu verfassen, in dem auf den Geotechnischen Untersuchungsbericht nach Handbuch EC 7-2 [45] Bezug zu nehmen ist.
- (4) Pfahlgründungen sind entweder in die Geotechnische Kategorie GK 2 oder GK 3 einzustufen. Einstufungskriterien siehe 3.2 und Handbuch EC 7-1 [44].
- (5) Bei Pfahlgründungen, die in die Geotechnische Kategorie GK3 einzustufen sind, ist ein Sachverständiger für Geotechnik mit entsprechenden Erfahrungen in die bautechnische Prüfung des Geotechnischen Untersuchungsberichtes und des Geotechnischen Entwurfsberichtes einzubinden. Der Sachverständige für Geotechnik sollte insbesondere das Baugrundmodell, die Bodenkenngrößen und das Bemessungskonzept überprüfen sowie in Abstimmung mit dem Prüfingenieur Vergleichsrechnungen durchführen.
- (6) Die Ausführung von Pfahlgründungen sollte durch einen Fachplaner bzw. Sachverständigen für Geotechnik überwacht werden, der über entsprechende Erfahrungen und Sachkunde mit Pfahlgründungsarbeiten verfügt. Bei Pfahlgründungen, die in die Geotechnische Kategorie GK3 einzustufen sind, ist der in (5) genannte Sachverständige auch zur Prüfung der Ausführungsplanung und bei der Überwachung der Pfahlausführungsarbeiten hinzuzuziehen.