

Das Normenhandbuch „EC 7 Teil 1“

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

Zusammenfassung

Um den Eurocode EC 7-1: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik Teil 1: Allgemeine Regeln (DIN EN 1997-1:2009-09) in Deutschland für die Ingenieurpraxis anwendbar zu machen, war es erforderlich den Eurocode mit den speziellen deutschen Erfahrungen und Erfordernissen zu ergänzen, die z.B. in der z. Z. noch bauaufsichtlich eingeführten DIN 1054:2005-01 enthalten sind und für die nun zwischenzeitlich Erfahrungen bei der Anwendung des Teilsicherheitskonzeptes in der Geotechnik vorliegen. Dies geschieht in Form eines Normenhandbuchs, das den vollständigen Text des Eurocodes und die Neufassung der DIN 1054:2010-12: Ergänzende Regelungen zur DIN EN 1997-1 sowie den nationalen Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010-12 enthält. Die Neubearbeitung der DIN 1054:2010 in Verbindung mit dem Eurocode EC 7-1 betrifft z. B. den aufnehmbaren Sohldruck in einfachen Fällen, den Nachweis von Flächengründungen bei stark exzentrischer Belastung, Pfahlgründungen, Verankerungen und hydraulisch verursachtes Versagen. Außerdem werden Anpassungen an die DIN EN 1990:2002: Grundlagen der Tragwerksplanung vorgenommen, z. B. der Ersatz der Lastfälle durch Bemessungssituationen und die Einführung von Kombinationsbeiwerten für geotechnische Nachweise in möglichst vereinfachter Form

Hinweis: Im Folgenden sind maßgebliche Textteile der Literatur SCHUPPENER (2010) entnommen.

Quelle: RuhrGeo Tag 2011: Eurocode 7, Einführung in Deutschland; Schriftenreihe Lehrstuhl Baugrund-Grundbau der Technischen Universität Dortmund, Heft 30

1. Entwicklung der neuen nationalen und europäischen Normen

1.1 Allgemeines

Im Zuge der Vereinheitlichung europäischer Normen für den Bausektor wurden seit 1989 europäische Regelwerke erarbeitet (Eurocode – EC), welche für die beteiligten Nationen verbindliche Standards festlegen sollen.

Dabei ist zu unterscheiden zwischen

- Bemessungsnormen,
- Ausführungsnormen und
- Bauprodukten.

Bei den früheren nationalen Normen in der Geotechnik waren i.d.R. Berechnung, Bemessung und Ausführung in einer Norm zusammengefasst, z.B. DIN 4014 (Bohrpfähle). Nun liegt zwischen Bemessung und Ausführung eine klare Trennung vor.

Von besonderer Bedeutung für die praktische Handhabung und Umsetzung des Konzeptes ist der Umstand, dass insbesondere die europäischen Bemessungsnormen häufig sehr unverbindlich und inhomogen sind und damit eine unmittelbare Anwendung nur bedingt möglich ist. Gleichzeitig sollte dabei vom Globalsicherheits- auf das Teilsicherheitskonzept umgestellt werden.

Die derzeit bauaufsichtlich eingeführte geotechnische Bemessungsnorm ist die

- DIN 1054:2005-01: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau.

Im Zuge der weiteren Entwicklung werden dann die bemessungsrelevanten Eurocodes bauaufsichtlich eingeführt, wobei eine nationale Ergänzung, Spezifizierung und Präzisierung durch Festlegungen im nationalen Anhang und in nationalen Ergänzungsnormen vorgenommen sind und werden.

Mit der Harmonisierung der europäischen Baunormen müssen die nationalen Normen

an die Eurocodes angepasst und mit ihnen verbunden werden, denn die Richtlinien der EU über das öffentliche Beschaffungswesen sehen vor, dass im Bauwesen in ganz Europa in Zukunft in allen öffentlichen Ausschreibungen und Verträgen die Eurocodes zu Grunde zu legen sind. Bei der praktischen Umsetzung der Harmonisierung der nationalen und europäischen Normen gelten folgende Grundsätze:

- die Eurocodes sind von allen Mitgliedsstaaten einzuführen,
- nationale Normen sind weiterhin zulässig, sie dürfen aber weder europäischen Normen widersprechen noch mit ihnen konkurrieren, und
- nationale Normen, für die es europäische Normen gibt, sind nach einer Übergangsfrist zurückzuziehen.

In Deutschland liegen zur Bemessung in der Geotechnik als neuester Stand vor dem Hintergrund der Umstellung auf Eurocodes folgende Normen vor:

- DIN EN 1997-1:2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln,
- DIN 1054:2010-12: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1,
- 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.

Der größte Teil der Regelungen von DIN EN 1997-1 (Eurocode EC 7-1) und DIN 1054:2005-01 ist gleich wie z. B. die grundlegenden Definitionen der Grenzzustände und des Teilsicherheitskonzepts. Daneben gibt es eine Reihe von Festlegungen in der DIN EN 1997-1, die nicht in der DIN 1054 enthalten sind. Dazu gehören z. B. die Nachweisverfahren, die in Deutschland nicht angewendet werden und die informativen Anhänge mit erdstatischen Berechnungsverfahren, für die es deutsche Normen gibt. Als letzter ist der Bereich der DIN 1054 zu erwähnen, der nicht in der DIN EN 1997-1 enthalten ist. Er ist unverzichtbar und umfasst alle speziellen deutschen Erfahrungen, die natürlich auch in Zukunft weiter genutzt werden sollen, wie z. B. die bisherigen Tabellen für Sohldruckspannungen für Flachgründungen.

1.2 DIN 1054 und Nationaler Anhang zum EC 7-1

Um die DIN EN 1997-1 (EC 7-1) in den europäischen Mitgliedsländern praktisch anwendbar zu machen und sie mit den nationalen Normen zu verbinden, ist ein so genannter Nationaler Anhang erforderlich. Der Nationale Anhang, der als gesondertes Dokument DIN EN 1997-1/NA erschienen ist, enthält dazu folgende Regelungen, siehe dazu DIBt (2002):

- die Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte,
- die Vorgaben über die anzuwendenden Nachweisverfahren,
- die Vorgaben bezüglich der Anwendung informativer Anhänge der DIN EN 1997-1 und
- Verweise auf nicht widersprechende zusätzliche Angaben, die dem Anwender beim Umgang mit dem Eurocode helfen.

Der Nationale Anhang selbst darf also keine zusätzlichen nationalen normativen Regelungen enthalten, vielmehr ist gegebenenfalls im Nationalen Anhang auf nationale Normen zu verweisen.

Am einfachsten wäre es gewesen, wenn man nur auf die DIN 1054:2005-01 oder eine überarbeitete Ausgabe hätte verweisen können. Dies war allerdings nicht möglich, da die DIN 1054:2005-01 und die DIN EN 1997-1 zum großen Teil inhaltlich gleich sind bzw. gleiche Themen regelt. Die DIN 1054:2005-01 ist daher eine mit der DIN EN 1997-1 konkurrierende nationale Norm, die in ihrer jetzigen Form nach einer Übergangsfrist zurück gezogen werden muss. Um die speziellen deutschen Erfahrungen der DIN 1054:2005-01 zu erhalten, musste sie also überarbeitet werden, indem alle Regelungen gestrichen wurden, die schon im Eurocode enthalten sind. Die so überarbeitete DIN 1054:2010-12 mit dem o.g. Titel (... – Ergänzende Regelungen ...) stellt keine Konkurrenz mehr zur DIN EN 1997-1 dar. Sie ist eine nationale Ergänzung der DIN EN 1997-1.

In Zukunft wird es damit folgende Normenhierarchie für die Bemessung im Bauwesen geben, siehe Abb. 1. An der Spitze der europäischen Baunormen stehen die „DIN EN 1990: Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung“ und „DIN EN 1991: Eurocode 1:

Einwirkungen auf Bauwerke“ mit mehreren Teilen und Anhängen. Sie sind Grundlage für die Bemessung im gesamten Bauwesen Europas. Auf diese beiden Grundnormen beziehen sich alle anderen Eurocodes. Die Nationalen Anhänge stellen die Verbindung zwischen den Eurocodes und den nationalen Normen her, wie z. B. der DIN 4084 und weiteren Berechnungsnormen, der EAU, EAB oder der EA-Pfähle bzw. Merkplättern.

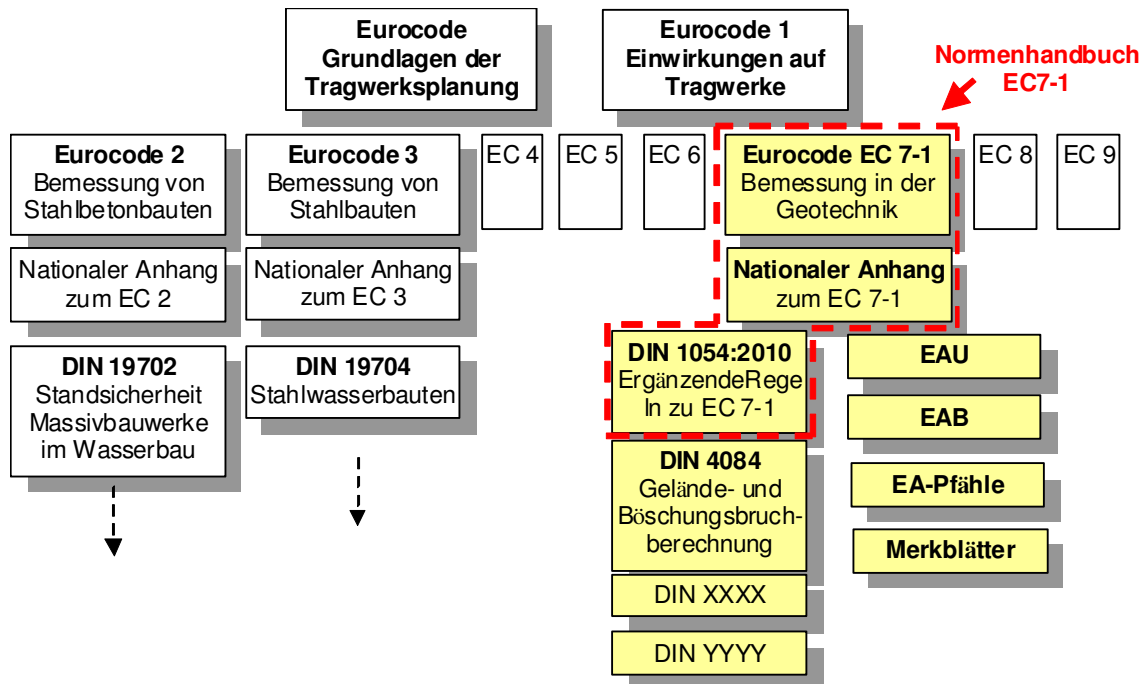


Abb. 1: Zukünftige europäische Hierarchie der Bemessungsnormen

1.3 Struktur des Normenhandbuch EC 7-1

Die drei Normen DIN EN 1997-1 [1], der Nationale Anhang und die DIN 1054:2010 sind jeweils für sich alles andere als anwenderfreundlich, denn der Nutzer muss bei der Arbeit immer zwischen drei Papieren hin- und herblättern. Deshalb hat sich der Ausschuss Erarbeitung des Nationalen Anhangs zu DIN EN 1997-1 entschlossen, zusätzlich alle drei Normen zusammenzufassen. Die Zusammenfassung eines Eurocodes mit dem Nationalen Anhang und den ergänzenden deutschen Normen wird Normenhandbuch genannt. Solche Normenhandbücher wird es auch für die anderen Fachbereiche des Bauingenieurwesens geben.

Die Zusammenfassung der drei Normen sieht so aus, dass in den Text der grundlegen-

den DIN EN 1997-1 an den entsprechenden Stellen die Festlegungen des Nationalen Anhangs und die ergänzenden deutschen Regelungen [DIN 1054] eingefügt sind. Durch entsprechende Kennzeichnungen oder eine unterschiedliche Drucktechnik wird dabei deutlich, welche Regelung aus welcher Norm stammt.

Die DIN EN 1997-1/NA:2010-12: Nationaler Anhang zu DIN EN 1997-1 und die DIN 1054:2010-12: Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1 wurden wie alle Normen zunächst als Entwurf veröffentlicht. Einsprüche dazu wurden beraten, sodass die jetzigen Fassungen als Weißdrücke vorliegen. Mitte des Jahres 2011 ist geplant, das Normenhandbuch herauszugeben.

Im Folgenden werden die wesentlichen technischen Inhalte und Neuerungen der im Normenhandbuch zusammengefassten einzelnen Abschnitte der drei Normen dargestellt und begründet.

1.4 Bauaufsichtliche Einführung der 3 Normen

Bezüglich der bauaufsichtlichen Einführung der drei Normen ist folgende Vorgehensweise und Termingestaltung nach einem Schreiben des Vorsitzenden der Fachkommission Bautechnik zu erwarten:

- Ein sinnvolles Gesamtpaket aus den Eurocodes EC 0 bis EC 5 sowie EC 7-1 und EC 9 sollen zusammen mit einer Stichtagslösung voraussichtlich zum 01.07.2012 eingeführt werden.
- Die Fachkommission hat unter bestimmten Voraussetzungen (Vorliegen aller Teile, usw.) keine Bedenken vor der offiziellen bauaufsichtlichen Einführung des EC-Paketes zusammen mit den nationalen Ergänzungen bereits in 2011/12 anzuwenden, was allerdings eine projektbezogene Vereinbarung insbesondere mit den Prüfinstanzen bedarf.

2. Grundlagen der geotechnischen Bemessung

2.1 Geotechnische Kategorien

Nach DIN EN 1997-1, Abschnitt 2.1, Absatz (8)P muss die Komplexität jeder Gründungsmaßnahme im Zusammenhang mit den damit verbundenen Risiken gesehen werden, um daraus Mindestanforderungen an Umfang und Qualität der geotechnischen Untersuchungen, der Berechnungen und der Bauüberwachung ableiten zu können.

Die Angaben zu den Geotechnischen Kategorien sind für die DIN 1054 und für die DIN 4020 gleichermaßen von Bedeutung. Da sie aber nur in DIN EN 1997-1 behandelt werden, wären normative Angaben in DIN 4020 mit unzulässigen Doppelfestlegungen verbunden gewesen. Nach Absprache mit dem Arbeitsausschuss DIN 4020 enthält nur die DIN 1054:2010-12 detaillierte Angaben zu den Geotechnischen Kategorien und einen abgestimmten Anhang A „Beispiele für Merkmale zur Einstufung in die Geotechnischen Kategorien“, auf die in der überarbeiteten DIN 4020 mit dem Titel Erkundung und Untersuchung des Baugrunds – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2 verwiesen wird. Die DIN EN 1997-2 ist der „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“.

2.2 Bemessungssituationen

DIN EN 1990 regelt die Grundlagen der Tragwerksplanung und unterscheidet dabei verschiedene Bemessungssituationen: ständige (persistent), vorübergehende (transient), außergewöhnliche (accidental) und bei Erdbeben (earthquake). Die Bemessung hinsichtlich der Zuverlässigkeit des Bauwerks wird von diesen Situationen abhängig gemacht. Innerhalb der Bemessungssituationen sind die kritischen Lastfälle zu bestimmen, das sind z. B. Anordnungen variabler Lasten und Berücksichtigung von Imperfektionen und Verformungen, die gleichzeitig mit den ständigen Lasten und den veränderlichen Lasten anzusetzen sind.

Die DIN 1054:2010-12 verzichtet auf den in der Geotechnik zuvor jahrzehntelange gepflegten und anders als in DIN EN 1990 definierten Begriff Lastfall. Stattdessen wird zukünftig die Größe von Teilsicherheitsbeiwerten für die vier Bemessungssituationen BS-P, BS-T, BS-A und BS-E angegeben, welche den bisherigen drei Lastfällen weitgehend entsprechen. Inhaltlich sind die Bemessungssituationen etwa wie folgt zuzuordnen.

BS-P: Ständige Situationen, die den üblichen Nutzungsbedingungen des Tragwerks entsprechen. Hierbei werden ständige und während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen berücksichtigt.

BS-T: Vorübergehenden Situationen, die sich auf zeitlich begrenzte Zustände beziehen, z. B.

- Bauzustände bei der Herstellung eines Bauwerks,
- Bauzustände an einem bestehenden Bauwerk, z. B. bei Reparaturen oder infolge von Aufgrabungs- oder Unterfangungsarbeiten,
- Baumaßnahmen für vorübergehende Zwecke, z. B. Baugrubenböschungen und Baugrubenkonstruktionen, soweit z. B. für Steifen, Anker und Mikropfähle nichts anderes festgelegt ist.

BS-A: Situationen, die sich auf außergewöhnliche Bedingungen des Tragwerks oder seiner Umgebung beziehen, z.B. auf Feuer oder Brand, Explosion, Anprall, extremes Hochwasser oder Ankerausfall, wird die Bemessungssituation BS-A zugeordnet. Hierbei werden neben den außergewöhnlichen Einwirkungen ständige und regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen wie bei den Bemessungssituationen BS-P und BS-T berücksichtigt. Eine außergewöhnliche Situation ist auch dann gegeben, wenn gleichzeitig mehrere voneinander unabhängige seltene, z. B. ungewöhnlich große, planmäßig einmalig oder möglicherweise nie auf tretende Einwirkungen zu berücksichtigen sind.

BS-E: Situation infolge von Erdbebenbeanspruchungen.

2.3 Bemessungswerte von Einwirkungen mit Kombinationsbeiwerten

DIN EN 1990:2002 enthält allgemeine Kombinationsregeln zur Ermittlung der Bemessungswerte von Einwirkungen, die bisher in der Geotechnik nicht weiter berücksichtigt wurden, was im Zuge der Anwendung vom Normenhandbuch EC 7-1 nicht mehr möglich ist. Da in der deutschen Geotechnik so weit wie möglich das Konzept verfolgt wird, bei einer erdstatischen Berechnung zunächst alle Beanspruchungen als charakteristische Werte zu ermitteln, und erst am Ende von Berechnungen mit Hilfe der Teilsicherheitsbeiwerte daraus Bemessungswerte zu errechnen Verfahren 2*, muss auch die Anwendung der Kombinationsregeln mit Kombinationsbeiwerten darauf abgestellt werden.

Im Regelfall, bei vorausgesetzter Gültigkeit des Superpositionsprinzips, können auf Grundlage der charakteristischen Einwirkungen G_k (ständige Einwirkungen), P_k (Einwirkungen aus Vorspannung) und Q_k (veränderliche Einwirkungen) die entsprechenden Beanspruchungen E einzeln errechnet und der Bemessungswert E_d der Gesamtbeanspruchung unter Anwendung der Kombinationsregeln mit den Kombinationsbeiwerten $\psi_{0,i}$ weiterhin am Ende einer Berechnung ermittelt werden – beispielhaft für die Bemessungssituationen BS-P und BS-T entsprechend der Gleichung

$$E_d = \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot E(G_{k,j}) + \gamma_P \cdot E(P_k) + \gamma_{Q,1} \cdot E(Q_{k,1}) + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot E(Q_{k,i})$$

In besonderen Fällen, bei denen das Superpositionsprinzip nicht gilt, müssen Bemessungswerte der Beanspruchungen E_d aus den Bemessungswerten der Einwirkungen, die nach den Regeln der DIN EN 1990 aus charakteristischen Einwirkungen verknüpft mit Teilsicherheitsbeiwerten γ und Kombinationsbeiwerten ψ entstehen, ermittelt werden – z. B. wieder für die Bemessungssituationen BS-P und BS-T nach der formalen Gleichung

$$E_d = E \left(\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} \text{ "+" } \gamma_P \cdot P_k \text{ "+" } \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \right)$$

Hierin bedeutet "+" "in Verbindung mit". Um den maßgebenden Wert der Bemessungsbeanspruchung festzustellen, müssen bei mehreren unabhängigen veränderlichen charakteristischen Einwirkungen $Q_{k,i}$ gegebenenfalls mehrere Kombinationen untersucht

werden. Dabei ist fallweise jeweils eine der unabhängigen veränderlichen Einwirkungen als Leiteinwirkung $Q_{k,1}$ anzusetzen und die anderen unabhängigen veränderlichen Einwirkungen – dann als zugehörige Begleiteinwirkungen bezeichnet – können gleichzeitig je mit einem Kombinationswert $\psi_{0,i}$ abgemindert werden, dessen Größe von der Art der Einwirkung abhängig ist.

Bei den Bemessungssituationen BS-A und BS-E sind zum Teil keine Teilsicherheitsbeiwerte vorgesehen und es werden statt des Kombinationsbeiwerts ψ_0 für begleitende veränderliche Einwirkungen die kleineren Zahlenwerte der Kombinationsbeiwerte zum Festlegen des häufigen Werts der veränderlichen Leiteinwirkung ψ_1 bzw. des quasi ständigen Werts einer veränderlichen Einwirkung ψ_2 verwendet, um die geringere Wahrscheinlichkeit der Gleichzeitigkeit mehrerer veränderlicher Einwirkungen im Fall des außergewöhnlichen Ereignisses bzw. Erdbebens zu berücksichtigen.

In DIN EN 1990 bzw. in der in Deutschland eingeführten DIN 1055-100 sind Kombinationsbeiwerte für den Hochbau festgelegt. Sie sollen auch für Anwendungen in der Geotechnik gelten. Für in den Tabellen für den Hochbau nicht erfasste sonstige veränderliche Einwirkungen sind die Kombinationsbeiwerte $\psi_0 = 0,8$, $\psi_1 = 0,7$ und $\psi_2 = 0,5$ zu verwenden.

Nach DIN 1054:2010-12 darf vereinfacht für übliche geotechnische Situationen bei Vorhandensein von mehreren unabhängigen veränderlichen charakteristischen Einwirkungen $Q_{k,i}$ fallweise jeweils eine der unabhängigen Einwirkungen als Leiteinwirkung $Q_{k,1}$ angesetzt werden, sodass sich daraus die repräsentative veränderliche Einwirkung wie folgt ergibt.

$$Q_{\text{rep}} = Q_{k,1} + \sum \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Dabei hat die Zeichenkombination "=" die Bedeutung "ergibt sich aus".

2.4 Nachweisverfahren, Grenzzustände und Grenzzustandsbedingungen

Der folgende Text wurde aus EA-PFÄHLE (2011) entnommen. Der Begriff „Grenzzu-

stand“ wird allgemein 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.

Dabei werden im Sinne des Teilsicherheitskonzeptes 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.
- 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.

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 zuständigen ergänzenden Regelungen der DIN 1054 stützen sich bis auf eine Ausnahme 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 als Nachweisverfahren 2* bezeichnet, siehe auch DIN

1054:2010-12, zu 2.4.7.3.4.3.

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 des Bodens oder des Gesteins 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“.

In die Terminologie des EC 7-1 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* nach EC 7-1.
- 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 Berücksichtigung konstruktiver Elemente, z. B. Anker, Pfähle. Der Grenzzustand GEO-3 beinhaltet das Nachweisverfahren 3

nach EC 7-1.

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).

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

Maßgebend ist die Grenzzustandsbedingung

$$F_d = F_k \cdot \gamma_{dst} \leq G_k \cdot \gamma_{stb} = G_d$$

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 $\gamma_{stb} < 1,0$.

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

$$E_d = E_k \cdot \gamma_F \leq R_k / \gamma_R = R_d$$

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 .

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

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

Maßgebend ist immer die Grenzzustandsbedingung

$$E_d \leq R_d$$

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

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

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

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.

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. Er liegt dem Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zugrunde, d. h. dass die zu erwartenden Verschiebungen und Verformungen mit dem Zweck des Bauwerks vereinbar sind.

2.5 Teilsicherheitsbeiwerte

Die national anzusetzenden Teilsicherheitsbeiwerte finden sich in DIN 1054:2010-12 und sind nachfolgend wiedergegeben.

Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_F^{1)}$ bzw. $\gamma_E^{2)}$ für Einwirkungen und Beanspruchungen nach DIN 1054:2010-12, Tabelle A 2.1

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen				
Destabilisierende ständige Einwirkungen ^a	$\gamma_{G,dst}$	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 Untergrund	γ_H	1,35	1,30	1,20
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	1,80	1,60	1,35
EQU: Grenzzustand des Verlusts der Lagesicherheit				
Ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,10	1,05	1,00
Günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,90	0,90	0,95
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,25	1,00
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein ^a	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen ^b	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruhedruck	$\gamma_{G,E0}$	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
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Ständige Einwirkungen ^a	γ_G	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00
SLS: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit				
$\gamma_G = 1,00$ für ständige Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				
$\gamma_Q = 1,00$ für veränderliche Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				
^a einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck.				
^b nur im Sonderfall nach 7.6.3.1 A (3).				

1) Der Beiwert γ_F ist Oberbegriff für die jeweils auf den Einzelfall der Einwirkungen F bezogenen Teilsi-

cherheitsbeiwerte.

- 2) Der Beiwerte γ_E ist Oberbegriff für die jeweils auf den Einzelfall der Beanspruchungen E bezogenen Teilsicherheitsbeiwerte.

Anmerkung 1: Abweichend von DIN EN 1990 sind die Teilsicherheitsbeiwerte γ_G und γ_Q für Beanspruchungen aus ständigen und ungünstigen veränderlichen Einwirkungen für die Bemessungssituation BSA von $\gamma_G = \gamma_Q = 1,00$ auf $\gamma_G = \gamma_Q = 1,10$ angehoben worden, um das bisher bewährte Sicherheitsniveau beizubehalten.

Anmerkung 2: Die Teilsicherheitsbeiwerte $\gamma_{G,E0}$ sind gegenüber den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G herabgesetzt worden, weil der Erdruchdruck bereits bei geringen Entspannungsbewegungen auf einen geringeren Erddruck, im Grenzfall auf den wesentlich kleineren aktiven Erddruck absinkt.

Anmerkung 3: In der Bemessungssituation BS-E werden nach DIN EN 1990 keine Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt

Teilsicherheitsbeiwerte für geotechnische Kenngrößen und Widerstände nach DIN 1054: 2010-12, Tabelle A 2.2 und A 2.3

Tabelle A 2.2: Teilsicherheitsbeiwerte γ_M ³⁾ für geotechnische Kenngrößen

Bodenkenngröße	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,00	1,00	1,00
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,00	1,00	1,00
GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,00	1,00	1,00
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,00	1,00	1,00
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens und Reibungsbeiwert $\tan \varphi_u$ des undränierten Bodens	$\gamma_{\varphi'}, \gamma_{\varphi_u}$	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	$\gamma_{c'}, \gamma_{c_u}$	1,25	1,15	1,10

- 3) Der Beiwert γ_M ist ein Oberbegriff für die jeweils auf den Einzelfall bezogenen Teilsicherheitsbeiwerte.

Anmerkung: In der Bemessungssituation BS-E werden nach DIN EN 1990 keine Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt.

Tabelle A2.3 Teilsicherheitsbeiwerte γ_R ⁴⁾ für Widerstände

Widerstand	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Bodenwiderstände				
— Erdwiderstand und Grundbruchwiderstand	$\gamma_{R,e}, \gamma_{R,v}$	1,40	1,30	1,20
— Gleitwiderstand	$\gamma_{R,h}$	1,10	1,10	1,10
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
Herausziehwiderstände				
— Boden- bzw. Felsnägel	γ_a	1,40	1,30	1,20
— Verpresskörper von Verpressankern	γ_a	1,10	1,10	1,10
— Flexible Bewehrungselemente	γ_a	1,40	1,30	1,20
GEO-3: Grenzzustand des Versagens durch Verlust der Gesamtstandsicherheit				
Scherfestigkeit				
— Siehe Tabelle A 2.2				
Herausziehwiderstände				
— Siehe STR und GEO-2				

3) Der Beiwert γ_R ist ein Oberbegriff für die jeweils auf den Einzelfall des Widerstands bezogenen Teilsicherheitsbeiwerte.

Anmerkung 1: Der Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand des Stahlzugglieds aus Spannstahl und Betonstahl ist für die Grenzzustände GEO-2 und GEO-3 in DIN EN 1992-1-1 mit $\gamma_M = 1,15$ angegeben.

Anmerkung 2: Der Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand von flexiblen Bewehrungselementen ist für die Grenzzustände GEO-2 und GEO-3 in EBGEO (2010) angegeben.

Anmerkung 3: In der Bemessungssituation BS-E werden nach DIN EN 1990 keine Teilsicherheitsbeiwerte angesetzt.

3. Normenhandbuch Abschnitt 6: Flachgründungen

3.1 Besonderheiten zum Nachweis von exzentrisch beanspruchten Fundamenten

Die exzentrische Beanspruchung einer Gründung wirkt sich beim traditionellen Nachweis der Begrenzung der klaffenden Fuge aus und auch der Grundbruchnachweis ist stark von der Exzentrizität der Belastung abhängig. Der Nachweis der klaffenden Fuge ist in Eurocode EC 7-1 nicht vorgesehen, soll in Deutschland aber nicht zuletzt im Zusammenhang mit dem gewählten Berechnungsverfahren DA 2* beibehalten werden. Er wird mit charakteristischen Beanspruchungen geführt und in DIN 1054:2010-12 als Gebrauchstauglichkeitsnachweis gefordert. Ziele sind z. B. eine Begrenzung der Schiefstellungen exzentrisch belasteter Gründungen.

Bei einer Gründungsebene auf Fels und zunehmend gesteigerter Momentenbeanspruchung käme es zu einem Kippen entsprechender Fundamente um die Fundamentaußenkante. Das Zulassen einer klaffenden Fuge bis zum Zentrum eines rechteckförmigen Fundamentes entspricht einem Globalsicherheitsfaktor von $\eta = 1,50$ zwischen dem zugehörigen Moment und dem zum Kippen führenden Moment. Untersucht man den Grenzzustand der Lagesicherheit EQU, hier des Kippens, für den Fall der ständigen Bemessungssituation BS-P, so sind die Teilsicherheitsbeiwerte für eine (veränderliche) destabilisierende Momentenbeanspruchung $\gamma_{Q, \text{dst}} = 1,50$ und für eine günstig wirkende, ständige stabilisierende Momentenbeanspruchung $\gamma_{G, \text{stb}} = 0,90$. Der Quotient dieser beiden Teilsicherheitsfaktoren führt zu einer zugehörigen Globalsicherheit von $\eta = 1,67$. Der Grenzzustandsnachweis EQU kann somit für die erforderliche Fundamentabmessung maßgebend werden. Er muss gegebenenfalls im Zusammenhang mit den Regeln der Massivbaubemessung für die Fuge zwischen dem bewehrten Fundament und dem

unbewehrten Unterbeton (Sauberkeitsschicht) geführt werden. Entsprechend der Vereinbarung, dass die Außenabmessungen von Fundamenten aus dem geotechnischen Regelwerk resultieren, ist in DIN 1054:2010-12 die Festlegung aufgenommen worden, dass der Grenzzustandsnachweis EQU auch für Fundamente, die nicht auf Fels stehen, geführt werden muss. Dabei werden die Bemessungswerte der Momentenbeanspruchungen näherungsweise auf eine fiktive Kippkante am Fundamentrand bezogen, auch wenn tatsächlich eine Drehachse innerhalb des Fundamentes zu erwarten ist. Für die vorübergehende Bemessungssituation BS-T eines Bau- oder Revisionszustandes wurden die Teilsicherheitsbeiwerte zu $\gamma_{G,dst} = 1,05$, $\gamma_{G,stb} = 0,90$ und $\gamma_{Q,dst} = 1,25$ angenommen, während für die außergewöhnliche Bemessungssituation BS A wieder die Teilsicherheitsbeiwerte der DIN 1055-100 mit $\gamma_{G,dst} = 1,00$, $\gamma_{G,stb} = 0,95$ und $\gamma_{Q,dst} = 1,00$ beibehalten wurden. Bei Flachgründungen, die ins Grundwasser reichen, ist beim Nachweis der Lagesicherheit EQU der Sohlwasserdruck je nach seiner Verteilung als ungünstige, destabilisierende oder günstige, stabilisierende Einwirkung anzusetzen.

Statt über eine Vergrößerung der Fundamentabmessungen im Grundriss kann die Aufnahmefähigkeit eines Fundamentes zur Abtragung großer Momente auch durch eine größere Einbindetiefe erreicht werden. Dazu darf ein Kräftepaar aus beidseitigen Bodenreaktionen angesetzt werden (siehe Bild A 6.1 in DIN 1054:2010-12).

3.2 Vereinfachter Nachweis in Regelfällen mit Sohlwiderstandstabellen

Seit vielen Jahrzehnten enthält die DIN 1054 in ihren bisherigen Fassungen Tabellen mit zulässigen Sohldruckspannungen (Bodenpressungen), die bei den Tragwerksplanern häufig Verwendung gefunden haben und in der bisher gültigen DIN 1054:2005-01 den charakteristischen Beanspruchungen gegenüber gestellt werden konnten, womit sich Einzelnachweise der Grundbruchsicherheit und von Fundamentsetzungen erübrigten. Zulässige Sohldruckspannungen passen nicht zum Teilsicherheitskonzept und waren auch in anderen Ländern nicht üblich, weswegen sich dazu keine Regelungen in Eurocode EC 7-1 finden.

Somit wurde im Normenhandbuch / DIN 1054:2010-12 national die bekannten vereinfachten Nachweise für Regelfälle wieder aufgenommen. Dabei wird allerdings der Tragwerksplaner, der regelgerecht mit dem Teilsicherheitskonzept arbeitet, Bemessungswerte der Fundamentbeanspruchung ermitteln, die auch für die Nachweise der inneren Tragfähigkeit der Fundamente benötigt werden. Die DIN 1054:2010-12 enthält daher nunmehr Tabellen mit Bemessungswerten des Sohlwiderstandes $\sigma_{R,d}$, mit denen die Bemessungswerte der Beanspruchung verglichen werden können. Sie gelten für die Bemessungssituation BS-P – auf der sicheren Seite liegend damit auch für die anderen Bemessungssituationen – und sind aus den bisherigen Tabellen durch Multiplikation mit dem Faktor 1,4 abgeleitet worden, welcher als gewichteter Mittelwert für die Teilsicherheitsbeiwerte auf die Einwirkungen bzw. Beanspruchungen $\gamma_G = 1,35$ und $\gamma_Q = 1,50$ gewählt wurde. Die Voraussetzungen zur Anwendung der Tabellen haben sich gegenüber den Vorgängerversionen der DIN 1054:2005-01 nicht geändert.

Aufgenommen wurden Bemessungswerte des Sohlwiderstandes für Fundamente auf Fels, die jetzt nur noch in einer statt in bisher 4 Grafiken dargestellt werden. Zugehörige Voraussetzung ist, dass der Fels als beständig eingestuft werden kann (mindestens poröse Raumauffüllung, mindestens mäßige Kornbindung und im Wasser nicht veränderlich). Ihre Größe ist abhängig von der einaxialen Druckfestigkeit des Gesteins und dem Abstand der Trennflächen im Gebirge.

4. Normenhandbuch Abschnitt 7: Pfahlgründungen

4.1 Axiales Pfahltragverhalten

4.1.1 Grundgleichungen

Der Nachweis für den Pfahl ist erfüllt, wenn die Grenzzustandsbedingungen

$$F_d \leq R_{d,F}$$

jeweils für den Zustand der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit eingehalten ist.

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

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

mit γ_t oder γ_{st} nach DIN 1054:2010-12, Tabelle A2.3, die Bemessungswerte der Pfahlwiderstände im Grenzzustand der Tragfähigkeit. Die Teilsicherheitsbeiwerte erfassen dabei gleichermaßen den Fuß- und den Mantelwiderstand. Dabei ist zunächst zu beachten, dass nach DIN 1054:2010-12, Tabelle A2.3 die Teilsicherheitsbeiwerte niedriger sind, was nachfolgend noch weiter erläutert ist.

Bei geneigten Mikropfählen auf Zug sind die Teilsicherheitsfaktoren zur Ermittlung der Bemessungswerte um einen Modellfaktor bis zu $\eta_M = 1,25$ zu erhöhen, um für diese etwa das bisherige Sicherheitsniveau beizubehalten.

4.1.2 Statische Pfahlprobelastungen

Der charakteristische Pfahlwiderstand $R_{c,k}$ bzw. $R_{t,k}$ ist aus den Messwerten der statischen Pfahlprobelastungen durch Division mit den Streuungsfaktoren ξ_1 nach Tabelle A 7.1 der DIN 1054:2010-12 zu ermitteln. 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.

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

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.

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 Einzelpfählen 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.

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

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

4.1.3 Dynamische Pfahlprobelastungen

Der charakteristische Pfahlwiderstand $R_{c,k}$ ist aus den Messwerten von dynamischen Pfahlprobelastungen 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 zu verwenden.

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.

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

ξ_5 und ξ_6 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, wobei die o.g. Regelungen zur Berücksichtigung von „weichen“ bzw. „steifen“ Druckpfählen analog gelten.

4.1.4 Bewertung der Regelungen bei Pfahlprobelastungen

Die national modifizierten Streuungsfaktoren in DIN 1054, A(8), Tabelle A 7.1 führen insgesamt bei den nationalen Regelungen, wie in KEMPFERT et al. (2008) belegt, zu 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 Probelastungen, wodurch der Aufwand, mehrere Probelastungen durchzuführen „belohnt“ wird. Gleichzeitig ergeben sich bei dieser Herangehensweise 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 Probelastungen 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).

4.1.5 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 Pfahlprobelastungen ist, findet sich in DIN 1054, A Anmerkung zu A(1)P zunächst eine Klarstellung, was national unter der in EC 7-1, (1)P geregelten Vorgehensweise zu verstehen ist. Im Normenhandbuch finden sich keine Angaben für charakteristische Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten mehr. DIN 1054 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), Anmerkung erläutert, dass bei dieser nationalen Vorgehensweise nach EA-PFÄHLE (2007), (2011) gemäß DIN 1054, Tabelle A2.3 mit einem erhöhten Teilsicherheitsbeiwert γ_t auf der widerstehenden Seite ge-

rechnet 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, 7.6.2.2, A(8), Tabelle A 7.1 ist und damit das bisher übliche Sicherheitsniveau für Pfahltragfähigkeiten auf der Grundlage von Erfahrungswerten wiedergibt.

4.2 Kombinierte Pfahl-Plattengründungen

Erstmalig werden im Normenhandbuch mit der DIN 1054 in der deutschen geotechnischen Normung Kombinierte Pfahl-Plattengründungen angesprochen. Im Wesentlichen wird 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 Teilsicherheitsbeiwert für den Grundbruchwiderstand. Es wird geregelt, dass ein Nachweis der Einzelemente Sohlplatte oder Einzelpfähle im Grenzzustand GEO-2 entfallen darf.

4.3 Pfahlwiderstände bei zyklischen, dynamischen und stoßartigen Einwirkungen

Die für das Pfahltragverhalten gegenüber quasistatischen Einwirkungen wichtigen zyklischen, dynamischen und stoßartigen Einwirkungen sind im Abschnitt 7 von EC 7-1 nur an sehr wenigen Stellen erwähnt. Mit Bezug auf EC 7-1, (3) wird dazu inhaltlich in DIN 1054, A(3a) bis A(3e) weitere differenzierte Regelungen getroffen. Diese Einwirkungen auf Pfähle sind z.B. aus Eisenbahnverkehrslasten bei aufgeständerten Festen Fahrbahnen oder 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.

5. Normenhandbuch Abschnitt 8: Verankerungen

Der Eurocode EC 7-1 gilt für alle Ankertypen (außer Bodennägel). Daher musste der Abschnitt 9 „Verankerungen mit Verpressankern“ der DIN 1054:2005-01 in der Form für DIN 1054:2010-12 überarbeitet werden, da mit der Kapitelüberschrift „Verankerungen“ auch Regelungen zur Prüfung von Schraubankern und zur Bemessung von Ankerplatten und Ankerwänden, die denen der EAU (2004) entsprechen, mit enthalten sind.

Überarbeitet wurde auch die Festlegung der Prüfkraft für die Eignungs- und Abnahmeprüfungen, deren Höhe jetzt auch von der Bemessungssituation bestimmt wird und für Dauer- und Kurzzeitanker einheitlich zu $P_p = 1,1 \cdot P_d$ festgelegt wurde (P_d ist der Bemessungswert der Ankerbeanspruchung). Von der DIN 4125:1990 „Verpressanker“, die nach der Einführung der DIN EN 1537 „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Verpressanker“ mit Fachbericht bzw. DIN SPEC zurückgezogen wird, wurden die Regelungen für Ankergruppenprüfungen übernommen. Dem entsprechend verweist die DIN 1054 auf DIN EN 1537 im Hinblick auf Einzelheiten der Durchführung von Eignungs- und Abnahmeprüfungen.

6. Normenhandbuch Abschnitt 9: Stützbauwerke

6.1 Allgemeines

Der Abschnitt 9 "Stützbauwerke" von Eurocode EC 7-1 ist relativ ausführlich gestaltet. Viele Regelungen der DIN 1054:2005 konnten damit entfallen. Alle darüber hinausgehenden Regelungen der DIN 1054:2005 wurden in die neue Fassung übernommen. An

einigen Stellen wurden Verbesserungen und Ergänzungen eingebracht. Nachfolgend wird dazu auf einige eingegangen.

6.2 Ansatz von Wasserdrücken

Eine deutliche Verschärfung der Sicherheitsanforderungen bringt das Normenhandbuch mit DIN 1054:2010-12, wenn durch bauliche Maßnahmen eine Verminderung bzw. Begrenzung des Wasserdrucks z. B. durch Dichtungen, Dräns oder Entspannungsbrennen bewirkt wird. Eine solche Verminderung darf nur dann in Standsicherheitsnachweisen berücksichtigt werden, wenn

- ihre Wirkung dauerhaft sichergestellt ist oder
- ihre Wirkung laufend überwacht wird und ohne wesentliche Einschränkungen des Betriebes wieder hergestellt werden kann oder
- zusätzliche Flutungs- bzw. Ballastierungsmaßnahmen vorgesehen werden.

Außerdem ist bereits beim Entwurf festzulegen, wie gegebenenfalls die Entspannungseinrichtungen wieder hergestellt werden können bzw. wie automatisch eine Flutung oder Ballastierung eingeleitet wird. Selbst wenn eine Überwachung vorgesehen wird, ist mit den Teilsicherheitsbeiwerten der Bemessungssituation BS-A eine ausreichende Standsicherheit für den Fall nach zuweisen, dass die Entspannungseinrichtung versagt.

6.3 Versagen bodengestützter Wände durch Vertikalbewegungen

Die Regelungen in DIN 1054:2005 zum Nachweis der Sicherheit gegen Versinken von vertikalen Wänden waren unvollständig und konnten missverstanden werden. Folgende Klarstellungen wurden in DIN 1054:2010-12, Abschnitt 9.7.5 vorgenommen:

- Wird bei der Ermittlung des aktiven Erddrucks ein negativer Erddruckneigungswinkel zugrunde gelegt, dann darf die nach oben gerichtete Vertikalkomponente

$E_{av,k} = E_{ah,k} \cdot \square \tan \delta_a$ von den nach unten gerichteten charakteristischen Vertikalbeanspruchungen abgezogen werden. Zur Begrenzung der zahlenmäßigen Größe des negativen Erddruckneigungswinkels wurden Tabellenwerte angegeben, die sich an den in DIN 4085:2007-10 angegebenen Wandreibungswinkeln orientieren.

- Auf der Innenseite der Wand darf die Reibungskraft $B_{v,k} = B_{h,k} \cdot \square \tan \delta_B$ angesetzt werden. Für den maximal zulässigen Betrag des negativen Winkels δ_B gelten die bereits genannten Tabellenwerte. Es darf somit nicht, wie bisher vielfach angenommen, nur derselbe Wandreibungswinkel angenommen werden, der bei der Ermittlung des Erdwiderstands zugrunde gelegt worden ist.
- Ersatzweise darf an Stelle der Reibungskraft $B_{v,k}$ der Mantelwiderstand $R_{s,k}$ auf der Grundlage von Erfahrungswerten $q_{s,k}$ für die Mantelreibung angesetzt werden.
- Bei der Umrechnung der charakteristischen Werte der Widerstände in Bemessungswerte ist für die Reibungskraft bzw. für den Mantelwiderstand der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{R,e}$ wie bei der Horizontalkomponente des Erdwiderstands nach Tabelle A 2.3 der DIN 1054:2010-12 maßgebend. Beim Ansatz eines charakteristischen Fußwiderstandes $R_{b,k}$ ist der Teilsicherheitsbeiwert γ_b wie bei Pfählen zugrunde zu legen.

7. Normenhandbuch Abschnitt 10: Hydraulisch verursachtes Versagen

In diesem Abschnitt werden

- Versagen durch Aufschwimmen,
- hydraulischer Grundbruch,
- Versagen durch innere Erosion und
- Versagen durch Piping

behandelt, während in der DIN 1054:2005 bisher nur die Nachweise gegen Aufschwimmen und hydraulischen Grundbruch enthalten waren. Bei der inneren Erosion wird im Wesentlichen auf die Filterkriterien verwiesen. Zum Nachweis gegen Piping wird ein indirektes Nachweisverfahren empfohlen, bei dem Bauwerk und Boden daraufhin überprüft werden, ob im Austrittsbereich von Sickerwasser bei ebenem Gelände eine ausreichende Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch vorhanden und bei geneigtem Gelände eine ausreichende lokale Böschungsstandsicherheit sichergestellt ist. Dieses indirekte Verfahren ist im Einzelnen im „Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen“ beschrieben.

In der DIN 1054:2005 wird für alle Bodenarten bei einer vertikalen Durchströmung des Bodens von unten nach oben sowohl der Nachweis gegen Aufschwimmen als auch gegen hydraulischen Grundbruch gefordert. Dies wurde in der Neufassung eingeschränkt: bei homogenen bindigen Bodenschichten, bei denen ein Austrag von einzelnen Bodenpartikeln durch eine ausreichend hohe Kohäsion verhindert wird, ist nur ein Nachweis gegen Aufschwimmen erforderlich. Dies ist insofern von Bedeutung, als z. B. bei einer Bodenschicht mit einer ausreichend hohen Kohäsion an einer Baugrubensohle gegen Aufschwimmen nur eine globale Sicherheit von $\eta_{\text{Global}} = \gamma_{\text{dst}} / \gamma_{\text{stb}} = 1,00 / 0,90 \approx \square 1,10$ erforderlich ist, während bei einem hydraulischen Grundbruch die Sicherheit bei $\eta_{\text{Global}} = \gamma_{\text{H}} / \gamma_{\text{stb}} = 1,35 / 0,90 \approx \square 1,50$ gefordert wird. In den Fällen, wo nicht nur eine Schicht, sondern der gesamte durchströmte Baugrund aus bindigem Boden besteht, muss zur Überprüfung der Gleichgewichtsbedingungen in vertikaler Richtung weiterhin ein Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch geführt werden. Allerdings erlaubt die DIN 1054:2010-12 für diesen Fall bei mindestens steifen bindigen Böden, die günstigen Effekte der Kohäsion oder der Zugfestigkeit an dem untersuchten Bodenblock anzusetzen.

Für den Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch vor dem Fuß einer Stützwand, bei dem nach dem Verfahren von Terzaghi das Gleichgewicht am Bodenkörper zu überprüfen ist, wurde festgelegt, dass bei der Ermittlung der Breite des zu untersuchenden Bodenkörpers die Dicke eines Filters vor einer Stützwand nicht berücksichtigt werden darf.

8. Normenhandbuch Abschnitt 11: Gesamtstandsicherheit und Abschnitt 12: Erddämme

8.1 Gesamtstandsicherheit

Dieser Abschnitt bezieht sich auf die Gesamtstandsicherheit von Hängen, Böschungen, Stützbauwerken, Baugruben, usw. Wie in DIN 1054:2005 ist die Gesamtstandsicherheit nach DIN EN 1997-1 / NA mit dem Nachweisverfahren 3 (GEO-3) und damit über faktorisierte Scherparameter zu führen. Gegenüber Eurocode EC 7-1 wurde in DIN 1054:2010-12, A 11.5.4 detaillierte ergänzende Regelungen für Konstruktive Böschungssicherungen eingeführt.

8.2 Erddämme

Bezüglich der Standsicherheit von Erddämmen wird auf Abschnitt 11 verwiesen. DIN 1054:2010 listet Dammsituationen auf, für die eine Einordnung in die jeweilige geotechnische Kategorie vorzunehmen ist.

9. Zusammenfassung und weitere Hinweise

Das Normenhandbuch zu EC 7-1 und DIN 1054 ist die Verbindung des Eurocode EC 7-1: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln mit der Neufassung der zusätzlich geltenden DIN 1054:2010-12: Ergänzende Regelungen zur DIN EN 1997-1 sowie dem Nationalen Anhang DIN EN 1997-1 / NA. Die Überarbeitung der DIN 1054 betrifft z. B. den aufnehmbaren Sohldruck in einfachen Fällen, den Nachweis von Flächengründungen bei stark exzentrischer Belastung, Pfahlgründungen, Verankerungen und hydraulisch verursachtes Versagen. Außerdem werden

Anpassungen an die DIN EN 1990:2002 Grundlagen der Tragwerksplanung vorgenommen, z. B. der Ersatz der Lastfälle durch Bemessungssituationen und die Einführung von Kombinationsbeiwerten für geotechnische Nachweise. Mit dem Normenhandbuch wird der Eurocode EC 7-1 in Deutschland für die Ingenieurpraxis auf dem für nationale Verhältnisse üblichen Standard anwendbar gemacht.

Nachteilig mit der damit verbundenen Regelungsdichte ist sicherlich der extrem große Umfang der Texte.

In der 2. Jahreshälfte 2011 wird von den Autoren der einzelnen Bearbeitungsteile (Abschnitte) der DIN 1054:2010 zusätzlich ein Kommentar zum gesamten Normenhandbuch mit erläuternden Hinweisen und Berechnungsbeispielen veröffentlicht.

Literatur

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (2005): Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK DIBt (2002): Leitpapier L: Anwendung der Eurocodes, Schriften des Deutschen Instituts für Bautechnik, Reihe LP, Heft L

DIN EN 1997 1:2009-09: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln

DIN 1054:2010-12: Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1

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

DIN EN 1990: Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung

DIN EN 1991: Eurocode 1: Einwirkungen auf Bauwerke

DIN 4020:2003: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds

DIN EN 1997 2:2007-10: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds

DIN 4020:2010: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2

DIN 1055-100:2001-03: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung, Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln

- DIN 4125:1990-10: Verpressanker,
- DIN EN 1537:2001-01: Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezial-tiefbau) – Verpressanker
- DIN 4085:2007-10: Baugrund – Berechnung des Erddrucks
- EA-PFÄHLE (2007): Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, 1. Auflage, Verlag Ernst & Sohn
- EA-PFÄHLE (2011): Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, 2. Auflage, Verlag Ernst & Sohn, in Vorbereitung
- EAU (2004): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, 10. Auflage, Verlag Ernst & Sohn
- EBGEO (2010): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, 2. Auflage, Verlag Ernst & Sohn
- DIN 1054:2005-01: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
- 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
- KPP-RICHTLINIE (2002): Richtlinie für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen. Verlag Ernst & Sohn
- SCHUPPENER, B. (2010): Das Normenhandbuch zu DIN EN 1997-1 und DIN 1054. Tagungsband zum 7. Kolloquium der Technischen Akademie Esslingen, „Bauen in Boden und Fels“