

1.1 Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau

Martin Ziegler

1 Einführung

1.1 Allgemeines

Die Aufgabe des entwerfenden Ingenieurs liegt darin, ein Bauwerk so zu konzipieren, dass es sicher und gebrauchstauglich ist sowie wirtschaftlich erstellt und betrieben werden kann. Daneben sind die Umweltverträglichkeit und eine mögliche Beeinträchtigung der Umgebung während des Baus, aber auch über den gesamten Lebenszyklus des Bauwerks zu beachten. Für die Realisierung dieser Aufgabe gibt es keine eindeutige Lösung. Einige der genannten Anforderungen konkurrieren unmittelbar miteinander und werden von den am Projekt Beteiligten durchaus auch unterschiedlich gesehen und bewertet (Bild 1). So wird beispielsweise der Investor die kostenoptimierte Errichtung eines Bauwerks mit eher billigen und kurzlebigen Elementen verfolgen, während der Betreiber im Hinblick auf die Instandhaltung und Wartung stärker an einer höherwertigen Erstausrüstung interessiert ist.

Ähnliche Spannungsfelder ergeben sich auch zwischen Investor und Bauausführendem, Betreiber und Nutzer, aber auch im Verhältnis zur allgemeinen Öffentlichkeit. Konflikte treten in diesem Zusammenhang insbesondere im Hinblick auf die Bewertung der Sicherheitsanforderungen an ein Bauwerk auf. Die Allgemeinheit fordert schnell die Einhaltung höchster Sicherheitsvorkehrungen, muss dafür aber zumindest vordergründig meistens nicht direkt ins finanzielle Obligo bei der Umsetzung treten. Dabei ist die Verbesserung eines bereits hohen Sicherheitsniveaus ungleich schwieriger und vor allem kostspieliger als ein entsprechender Sicherheitszuwachs von geringerem Niveau

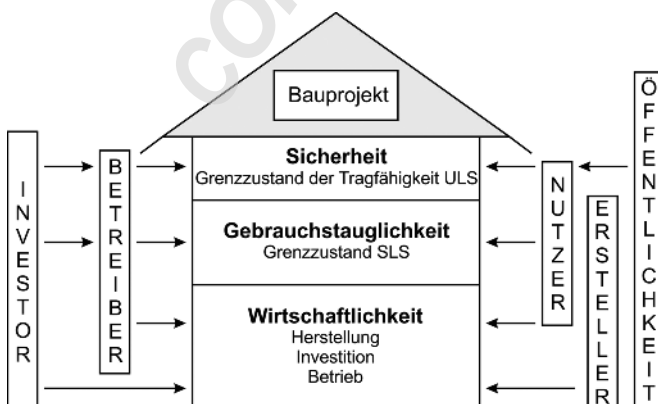


Bild 1 Anforderungen und Beteiligte bei einem Bauprojekt

aus. Es liegt daher in der Natur der Sache, dass die Einschätzungen darüber, wie viel Sicherheit notwendig ist und die Einschätzungen darüber, was realisierbar ist, zwischen den Projektbeteiligten einerseits und im Verhältnis zur Allgemeinheit andererseits durchaus divergieren.

Man muss sich auch darüber im Klaren sein, dass es unabhängig von der unterschiedlichen subjektiven Sicht der Dinge objektiv keine hundertprozentige Sicherheit geben kann. Denn unsere Modelle zur Abbildung des Tragverhaltens einer Konstruktion bleiben immer unvollständig und unvollkommen. Dies resultiert zum einen aus der mit Unschärfen behafteten Einschätzung der Einwirkungen und der ihnen entgegenwirkenden Widerstände, sowie den zwangsläufigen Vereinfachungen bei der Abbildung des physikalischen und geometrischen Modells und den Einschränkungen bei dem verwendeten Rechenmodell.

Die Unsicherheit bei der Bestimmung der Einwirkungen umfasst insbesondere die außergewöhnlichen Einwirkungen, da es geradezu Kennzeichen außergewöhnlicher Einwirkungen ist, dass sie nicht vollständig vorhersehbar sind. Viele Schadensfälle lassen sich im Nachhinein durch das unglückliche Zusammentreffen mehrerer gleichzeitig aufgetretener außergewöhnlicher Einwirkungen erklären, was so nicht erwartet wurde. Und oft ist es menschliches Versagen, was dabei letztlich zum entscheidenden Auslöser wurde.

Besonderheiten ergeben sich zudem im Bereich der Geotechnik bei der Festlegung der den Einwirkungen entgegenwirkenden Widerstände im Boden. Die Besonderheit gegenüber dem sonstigen konstruktiven Ingenieurbau liegt darin begründet, dass die Widerstände in vielen Fällen auch von den Einwirkungen abhängen. Eine lineare Abhängigkeit zwischen diesen beiden Größen ergibt sich immer dann, wenn auf der Widerstandsseite Reibungskräfte wirken, da diese immer mit einer Normalkraft gekoppelt sind, die ihrerseits aus den Einwirkungen resultiert. Aber auch nichtlineare Abhängigkeiten treten auf, so z.B. bei in der Bestimmungsgleichung für den Grundbruchwiderstand nach DIN 4017, in die die von den Einwirkungen abhängige Lastneigung nichtlinear eingeht. Des Weiteren können Materialkennwerte wie der Reibungswinkel und die Kohäsion des Bodens sowohl die Größe der Einwirkungen als auch diejenige der Widerstände bestimmen. Prominente Beispiele hierfür sind der aktive und der passive Erddruck.

Auf der Widerstandsseite ergibt sich eine weitere Besonderheit aus dem Boden selbst, dem Baustoff des Geotechnikers. Dieser ist mit Ausnahme nachträglich hergestellter Erdbauwerke der gewachsene Baugrund, der sich aufgrund seiner Entstehungsgeschichte mehr oder minder inhomogen mit wechselnden Eigenschaften darstellt. Diese können auch bei sorgfältiger und den Regeln der Technik genügender Erkundung niemals vollständig für jede Stelle mit letzter Sicherheit bestimmt werden, da die direkte Erkundung des Baugrunds immer nur punktwise durch Bohrungen und Schürfe erfolgt. So heißt es auch in DIN 4020:2010-12, 2.1.1 A(2a): *Aufschlüsse in Boden und Fels sind als Stichprobe zu bewerten. Sie lassen für zwischenliegende Bereiche nur Wahrscheinlichkeitsaussagen zu, sodass ein Baugrundrisiko verbleibt.*

Sondierungen und geophysikalische Methoden können zwar dazu beitragen, die Informationen über den Baugrund zwischen den Erkundungsstellen zu verdichten, es handelt sich dabei aber um indirekte Methoden, die andere Bodenparameter wie z. B. die elektrische Leitfähigkeit messen, als diejenigen, die direkt in die Standsicherheits- oder Verformungsberechnungen eingehen. Es bleibt daher immer noch die Schwierigkeit und Unsicherheit bei der Interpretation und Umrechnung.

Und nicht zuletzt liegt die besondere Schwierigkeit im Bereich der Geotechnik im komplexen Verhalten des Baustoffs Boden selbst. Aufgrund seines nichtlinearen und bei bindigen Erdstoffen auch zeitabhängigen Verhaltens ist es bislang nicht gelungen und wird es auch in absehbarer Zeit kaum gelingen, ein für alle denkbaren Belastungspfade allgemeingültiges Stoffgesetz für die Beziehung zwischen Spannungen und Verzerrungen bzw. deren Änderungen (Raten) anzugeben. Hinzu kommt das Problem bei der Bestimmung der Stoffparameter. Während Grenzzustände der Tragfähigkeit durch Vorgabe einer meist nur vom aktuellen Spannungszustand abhängigen Grenzbedingung noch relativ gut erfassbar sind, können Verformungsparameter nur an wenigen Versuchspfaden kalibriert werden, die dann aber im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit für unterschiedlichste Be- und Entlastungspfade verwendet werden. Man muss sich daher im Klaren sein, dass jede von den Randbedingungen und der Diskretisierung her noch so realitätsnah aufgebaute Finite-Elemente-Berechnung nicht besser sein kann als die Qualität des dabei verwendeten Stoffgesetzes und der darin verwendeten Stoffparameter.

Lässt sich aufgrund der genannten Schwierigkeiten dann überhaupt verlässlich die Sicherheit eines Bauwerks angeben und reicht dafür die Angabe einer einzigen Zahl? Und besteht nicht die Gefahr, dass der entwerfende Ingenieur sich der Verantwortung für seinen Entwurf und seine Berechnungen dadurch zu entledigen versucht, dass er nur noch detailgetreu den Vorschriften einer Norm folgt und nicht mehr seinen Ingenieursachverstand zur oberen Richtschnur seines Handelns macht? Diese Gefahr besteht zweifelsohne und ihr muss entschieden begegnet werden. Aber man muss auch sehen, dass Ingenieursachverstand keine eindeutig objektivierbare Größe darstellt, sondern dass der Wissenshintergrund und die Erfahrung von zwei verschiedenen Menschen unterschiedlich ausgeprägt sind, sodass die gleiche Aufgabe möglicherweise unterschiedlich, aber dennoch zielerfüllend gelöst wird.

Und genau hieraus begründet sich die Notwendigkeit von Normen. Denn Normen vereinheitlichen Annahmen, Berechnungsansätze und die Vorgehensweise bei der Bestimmung von Sicherheiten. Normen werden unter Beteiligung vieler verschiedener Gruppen des Bauwesens erstellt. Sie spiegeln daher mit ihren Vorgaben und Vorschriften auch die über Jahrzehnte gesammelte Erfahrung der Fachwelt wider.

In diesem Sinn ist der für die Bemessung maßgebende Eurocode EC 7, Teil 1, der in der deutschen Übersetzung als DIN EN 1997-1 firmiert, zusammen mit dem nationalen Anhang DIN EN 1997-1/NA und den ergänzenden nationalen Regelungen in DIN 1054 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“ zu verstehen. Wer sich näher mit dem genannten Normenwerk beschäftigt, wird feststellen, dass der Sinn nicht darin liegt, anhand der normativen Vorgaben einen bestimmten Zahlenwert für die Sicherheit abzuleiten. Aufgabe des entwerfenden Ingenieurs ist es vielmehr nachzuweisen, dass gegenüber den verschiedenen Grenzzuständen ein ausreichender

Abstand eingehalten wird. Dazu ist es erforderlich, dass in den Grenzzustandsgleichungen die Bemessungswiderstände immer größer bleiben als die Bemessungsbeanspruchungen. Bei den Bemessungsgrößen handelt es sich um Hilfsgrößen, die bei den Widerständen durch eine Verminderung und bei den Einwirkungen bzw. Beanspruchungen durch eine Erhöhung aus den tatsächlich vorhandenen, aber vorsichtig abgeschätzten charakteristischen Größen entstanden sind. Die Norm legt somit nur die Vorgaben zur Bestimmung der Bemessungsgrößen fest und wie diese in den Sicherheitsnachweis einzuführen sind.

Was sie definitiv nicht festlegt, ist ein standardisiertes Verfahren zur Bestimmung der tatsächlichen Zahlenwerte für die charakteristischen Größen und wie das Rechenmodell im Einzelnen aufgebaut wird. Hierfür werden zwar Hinweise gegeben, es bleibt aber die wesentliche Aufgabe des Ingenieurs, die komplexen Verhältnisse eines Projekts in ein möglichst einfaches, aber dennoch ausreichend genaues Modell umzusetzen und dafür die charakteristischen Größen realistisch festzulegen. In diesen Festlegungen steckt ein großer Teil der eigentlichen Sicherheit einer Konstruktion. Die dann nach den vereinheitlichenden Regularien der Norm berechnete Sicherheit ist lediglich ein vergleichbares Maß, welcher rechnerische Sicherheitsabstand zu einem möglichen Grenzzustand besteht.

1.2 Historischer Rückblick

Mit dem Ziel, technische Handelshindernisse in Europa zu beseitigen und eine Harmonisierung der technischen Ausschreibungen herbeizuführen, beschloss die Kommission der Europäischen Gemeinschaft 1975, technische Regeln u. a. für die Entwurfsplanung von Bauvorhaben aufzustellen, die in einer ersten Phase den Mitgliedsstaaten als Alternative zu den bestehenden nationalen Regelungen dienen und sie letzten Endes aber ersetzen sollten.

Mit dieser Aufgabe wurde das Europäische Komitee für Normung CEN (Comité Européen de Normalisation) in Brüssel betraut. Das CEN bildet zur Erarbeitung einer fachspezifischen Normengruppe ein Technisches Komitee (TC), das für bestimmte Teilbereiche Unterkomitees bildet, die ihrerseits weitere Untereinheiten in Form von Arbeitsgruppen und Projektteams einrichten, in denen die konkrete Normungsarbeit vorgenommen wird (Bild 2).

Die für die Sicherheit im Bauwesen maßgebenden Eurocodes werden durch das TC 250 erstellt. In der Reihe der Eurocodes enthält der EC 0 die allgemeinen Grundsätze zum Sicherheitskonzept, der EC 1 die wesentlichen Ausführungen zu den Einwirkungen auf Tragwerke und die Eurocodes EC 2 bis EC 9 die fachspezifischen Regelungen der einzelnen Gewerke. Maßgebend für die Geotechnik ist der EC 7 in Verbindung mit EC 0 und EC 1.

Ein weiteres wichtiges Technisches Komitee für den Bereich der Geotechnik stellt das TC 288 dar, in dem die reinen Ausführungsnormen des Spezialtiefbaus erarbeitet werden, die unter dem gemeinsamen Oberbegriff „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)“ geführt werden. Sie werden durch ergänzende nationale Regelungen vervollständigt, die in der DIN-SPEC-Reihe erscheinen, z. B. DIN SPEC 18537:2016-09 (Entwurf) für Verpressanker.

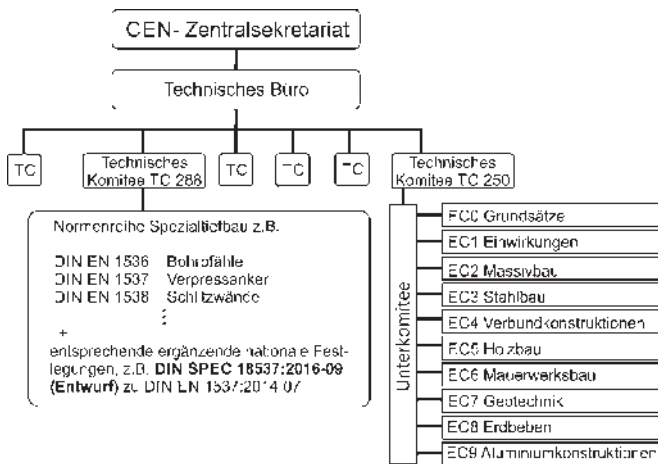


Bild 2 Struktur der europäischen Normung

Im Jahr 1994 erschien die englische Ausgabe des EC 7-1. Zwei Jahre später wurde die deutsche Übersetzung als deutsche und europäische Vor norm unter dem Titel DIN V ENV 1997-1:1996-04 „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln“ herausgegeben. Gleichzeitig wurde DIN V 1054-100:1996-04 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Teil 100: Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten“ zusammen mit den entsprechenden Fachnormen als zugehöriges nationales Anwendungsdokument (NAD) in der Normenreihe mit dem Zusatz -100 ebenfalls als Vor norm veröffentlicht. In der neueren Nomenklatur wird das NAD als Nationaler Anhang (NA) bezeichnet.

Der NA selbst enthält im Wesentlichen nur Verweise auf Nationale Anwendungsregeln. Aufgabe des NA ist es, die zum Teil recht allgemein gehaltenen Grundsätze in den Eurocodes länderspezifisch zu konkretisieren, insbesondere dort, wo die Eurocodes Alternativen zulassen oder bewusst nationale Regelungen vorsehen.

Obwohl DIN V 1054-100 insofern nur eine Ergänzung zu DIN V ENV 1997-1 sein sollte, zeigt der Vergleich der beiden Normenwerke, dass auch inhaltlich große Unterschiede bestanden. Dies liegt im Wesentlichen darin begründet, dass die Art der Nachweisführung in den beiden Regelwerken unterschiedlich vorgenommen wurde. Auf deutscher Seite hatte man darauf bestanden, die überwiegende Anzahl der geotechnischen Nachweise nach dem später noch erläuterten Nachweis konzept DA2* im Konzept Grenzzustand GEO-2 zu führen. Dazu zählen z.B. der Gleit- und Grundbruchnachweis bei Fundamenten oder der Nachweis der Pfahltragfähigkeit. Bei dieser Vorgehensweise werden die Beanspruchungen eines Tragwerks und die mobilisierbaren summarischen geotechnischen Widerstände wie z.B. der Grundbruchwiderstand zur Bildung der Bemessungswerte zunächst mit charakteristischen Größen berechnet. Erst unmittelbar vor der Durchführung des Sicherheitsnachweises werden dann mithilfe von Teilsicherheitsbeiwerten die Beanspruchungen erhöht und die Widerstände vermindert. Die Faktorisierung geschieht somit bei den Beanspruchungen sowie den summarisch gebildeten geotechnischen Widerständen.

Nach DIN V ENV 1997-1 in der Fassung vom April 1996 erfolgen diese Nachweise hingegen nach dem Grenzzustand GEO-3, bei dem vor der eigentlichen Berechnung des Tragwerks bereits Bemessungsgrößen gebildet werden, indem die Scherparameter abgemindert und die Einwirkungen bei den ständigen nur formal und lediglich bei den veränderlichen (Näheres siehe Abschnitt 4.2.5) erhöht werden. Die Faktorisierung zur Bildung der Bemessungsgrößen erfolgt somit im Wesentlichen auf der Materialseite, d. h. den geotechnischen Kenngrößen. Diese Vorgehensweise wurde in Deutschland im Wesentlichen nur für den Nachweis der Geländebruchsicherheit übernommen. Für diesen Fall macht dies auch Sinn, da die Reibungskraft in der Gleitfuge den wesentlichen Widerstand darstellt. Da diese direkt proportional zu der wirkenden Normalkraft ist und diese wiederum linear von den Einwirkungen abhängt, würde eine Faktorisierung der Einwirkungen eine nicht vorhandene Sicherheit vortäuschen. Aufgrund der Tatsache, dass Einwirkungen, wie z. B. der aktive Erddruck, und Widerstände, wie z. B. der Grundbruchwiderstand, aber auch nichtlinear vom Reibungswinkel abhängen, erhält man in diesen Fällen zwangsläufig unterschiedliche Ergebnisse nach den beiden Konzepten. Hätte man durchgehend die Vorgehensweise von DIN V ENV 1997-1 übernommen, wäre das in Deutschland bewährte Sicherheitsniveau aufgegeben worden, wobei sich das Konzept von DIN V ENV 1997-1 im Vergleich zu DIN V 1054-100 je nach den Randbedingungen sowohl als unwirtschaftlich, aber in anderen Fällen auch als unsicher darstellte [4].

Die zuvor genannten Gegensätze führten als Zwischenlösung zur Entwicklung einer eigenständigen DIN 1054, bei der konsequent die von DIN V ENV 1997-1 abweichende Nachweisführung verfolgt wurde, wo dies aus deutscher Sicht sinnvoll war. Sie erschien im Dezember 2000 im Entwurf als E DIN 1054:2000-12. Der Gelbdruck enthielt allerdings noch sehr viele Fehler, die erst im Januar 2003 mit der Veröffentlichung von DIN 1054:2003-01 im Weißdruck bereinigt wurden. Einsprüche der Bauaufsicht, die sich im Wesentlichen auf die Rolle des Sachverständigen für Geotechnik bezogen, erforderten eine Überarbeitung, die zwei Jahre später als DIN 1054:2005-01¹⁾ „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“ publiziert wurde.

Im Gegensatz zur Vorgängernorm aus dem Jahr 1976, die eher als „Gründungsnorm“ bezeichnet werden kann, was auch schon durch den Titel „Zulässige Belastung des Baugrunds“ zum Ausdruck kommt, ist die neue DIN 1054 aus 2005 wesentlich umfassender und kann als übergeordnete Grundsatznorm der Geotechnik betrachtet werden, die erstmals alle relevanten Regelungen zu den Sicherheitsnachweisen im Erd- und Grundbau in sich vereint. In der Fassung von 2005 wurde DIN 1054 dann auch unverzüglich in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen aufgenommen und anschließend von den einzelnen Bundesländern bauaufsichtlich eingeführt. Die Übergangsfrist, innerhalb derer noch die auf dem globalen Sicherheitskonzept beruhende alte DIN 1054 aus dem Jahre 1976 verwendet werden konnte, war mit Ende des Jahres

¹⁾ Im Folgenden wird bei erstmaligem Bezug auf eine Norm oder ein Regelwerk das zugehörige Erscheinungsdatum entweder im Text oder in einer Fußnote angegeben. Alle folgenden Verweise beziehen sich dann auf diese Ausgabe des Regelwerks. Sofern zwischenzeitlich auf eine andere Ausgabe Bezug genommen wird, wird darauf entweder im Text oder in einer Fußnote gesondert hingewiesen. Verweise auf einen bestimmten Absatz eines Regelwerks erscheinen ebenfalls entweder direkt im Text oder als Fußnote.

2007 abgelaufen. Damit wurde das Teilsicherheitskonzept von DIN 1054 für den Anwender in Deutschland verbindlich.

Parallel zur Neufassung von DIN 1054 ging auch die Überarbeitung des EC 7-1 weiter. Die überarbeitete deutsche Fassung wurde im Oktober 2005 als DIN EN 1997-1 veröffentlicht. Im Gegensatz zu früher waren jetzt bei den Sicherheitsnachweisen drei verschiedene Nachweisverfahren erlaubt, die auch die deutsche Methodik berücksichtigen. Damit war DIN 1054:2005-01 zwar weitgehend kompatibel mit DIN EN 1997-1, musste aber in der damaligen Form als konkurrierende nationale Norm nach einer Übergangszeit zurückgezogen werden.

Denn entsprechend der europäischen Gesetzgebung sind neben dem EC 7-1 nur noch ein Nationaler Anhang (NA) mit entsprechenden nationalen Anwendungs- bzw. Ergänzungsregelungen erlaubt. Darin dürfen nur noch Dinge aufgenommen sein, die nicht bereits in DIN EN 1997-1 geregelt sind oder wo explizit nationale Festlegungen vorgesehen sind. Dazu zählen z. B. die Größe der Sicherheitsbeiwerte selbst oder aber Verfahren und Werte, bei denen der Eurocode Alternativen zulässt. Außerdem gehören geografisch und klimatisch bedingte Kenngrößen, wie z. B. Erdbebenstärken oder Schneehöhenwerte zu den national zu regelnden Elementen. Darüber hinaus kann im NA entschieden werden, ob informative Anhänge des EC 7-1 verpflichtend zur Anwendung kommen sollen. Erlaubt sind ferner ergänzende Hinweise zu einzelnen Regelungen, sofern sie dem Inhalt des Eurocode nicht widersprechen. Unter dieser Voraussetzung dürfen auch länderspezifische Erfahrungen mit eingebracht werden, wozu in Deutschland z. B. die Tabellenwerte mit aufnehmbaren Sohldrücken oder die Erfahrungswerte für die Pfahltragfähigkeit zählen.

Dies bedeutete, dass DIN 1054 in der Fassung von 2005 grundlegend überarbeitet werden musste, indem all die Inhalte zu entfernen waren, die bereits im Eurocode geregelt waren. Die Norm ist daher zu einer Rumpfnorm geschrumpft, die nur noch die national zu regelnden Elemente enthält. Diese Umarbeitung hatte an sich während einer zweijährigen Kalibrierungsphase zu erfolgen, der sich eine dreijährige Koexistenzphase anschloss, innerhalb derer konkurrierende nationale Normen noch parallel neben dem Eurocode verwendet werden durften. Anfänglich war die Herausgabe dieser Rumpfnorm nach Ende der 2005 begonnenen zweijährigen Kalibrierungsphase noch im Jahr 2007 geplant. Da aber gleichzeitig auch der EC 7-1 überarbeitet und erst im September 2009 in Deutschland als DIN EN 1997-1:2009-09 veröffentlicht wurde, erschien nach einer Zwischenstufe der Nationale Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010-12 zusammen mit den ergänzenden Regelungen DIN 1054:2010-12 schließlich zum Jahresende 2012. Wenige Monate später erfolgte dann auch die bauaufsichtliche Einführung. Im Jahr 2014 erschien dann noch einmal eine leicht modifizierte Fassung des Eurocodes EC 7-1 als DIN EN 1997-1:2014-03, die in Deutschland jedoch keinen eigenen Nationalen Anhang erhält und auch nicht bauaufsichtlich eingeführt werden wird. Es wird daher in den weiteren Ausführungen nicht auf diese Fassung eingegangen, sondern einzig die bauaufsichtlich eingeführte Version betrachtet.

Der Anwender muss damit drei Regelwerke parallel beachten. Der Eurocode EC 7-1 in Form von DIN EN 1997-1 stellt die Grundnorm dar. An den Stellen, an denen DIN EN 1997-1 eine nationale Regelung vorsieht oder zulässt, findet sich eine entsprechende

Regelung im Nationalen Anhang NA-1 zu DIN EN 1997-1. In wenigen Fällen wird die nähere Spezifizierung schon explizit im NA-1 vorgenommen. Zum überwiegenden Teil besteht sie nur aus einem Verweis auf die entsprechende Anwendungsregel, die ihrerseits meist in der Ergänzungsnorm DIN 1054:2010-12 zu finden ist. Dort finden sich dann gegebenenfalls weitere Verweise auf mitgeltende Berechnungs-Normen, wie z. B. die Grundbruchnorm DIN 4017, oder einschlägige Empfehlungen aus Arbeitskreisen und Ausschüssen, wie z. B. die EAB oder EAU. Um für den Anwender die Handhabung der parallel zu beachtenden drei Regelwerke zu erleichtern, wurden vom Beuth Verlag neben der Einzelveröffentlichung der drei Regelwerke diese auch in einem einzigen Normenhandbuch zusammengefasst (Bild 3). Das Normenhandbuch enthält die Regelungen des EC 7-1 und an den Stellen, an denen eine nationale Regelung vorgesehen ist, die jeweilige Regelung aus dem NA-1. Außerdem werden an diesen Stellen die jeweiligen ergänzenden Regelungen aus DIN 1054 abgedruckt, die zur besseren Unterscheidung grau hinterlegt sind. Durch diese Zusammenfassung in einem Druckwerk wird die Anwendung der neuen Regelungen wesentlich erleichtert. Wenn im Folgenden Bezug auf die Regelungen des EC 7-1 in Zusammenhang mit dem Nationalen Anhang und den ergänzenden Regelungen nach DIN 1054 genommen wird, so wird vereinfacht von den Regelungen des Normenhandbuchs gesprochen.

In ähnlicher Weise wurde mit DIN 4020:2003-09 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke“ verfahren, der auf europäischer Ebene der EC 7-2 „Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“ übergeordnet ist. Im Gegensatz zu DIN 1054 ist DIN 4020 allerdings nicht bauaufsichtlich eingeführt worden, da die oberste Bauaufsichtsbehörde der Meinung war, dass dies aufgrund der zahlreichen Hinweise in DIN 1054 auf DIN 4020 nicht mehr notwendig sei. Nach Erscheinen der deutschen Übersetzung des EC 7-2 als DIN EN 1997-2:2007-10: Eurocode 7 „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“ im Oktober 2007 begann auch hier die zweijährige Kalibrierungsperiode, innerhalb derer der Nationale Anhang DIN EN 1997-2/NA in Verbindung mit einer grundlegend zu überarbeitenden DIN 4020 zu formulieren waren, was dann zum Jahresende 2010 mit DIN EN 1997-2:2010-10 erfolgte. In den ergänzenden Regelungen von DIN 4020:2010-12 werden auch zahlreiche Hinweise auf die bei der Baugrunduntersuchung zu beachtenden Normen wie DIN EN ISO 22476 „Felduntersuchungen“,

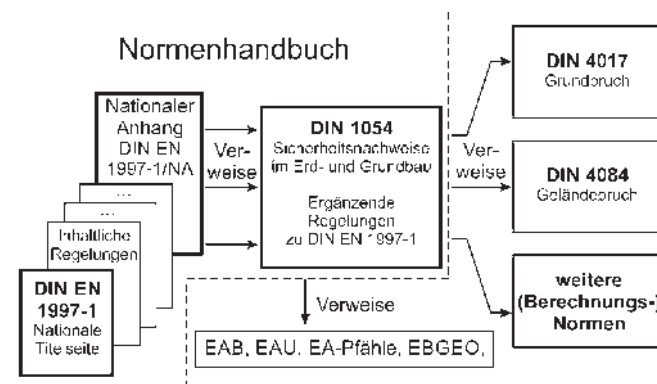


Bild 3 Normenhandbuch für die Anwendung von DIN EN 1997-1 (in Anlehnung an Schuppener und Ruppert [3])

DIN EN ISO 14688-1 „Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden“ und DIN EN ISO 22475 „Probeentnahmeverfahren und Grundwassermessungen“ gegeben. Daneben wird auf die verschiedenen Normen zu den bodenmechanischen Laborversuchen verwiesen. Weitergehende Ausführungen zur Zusammenführung der deutschen und europäischen Normen im Bereich der Erkundung finden sich bei *Schup-pener* und *Ruppert* [3].

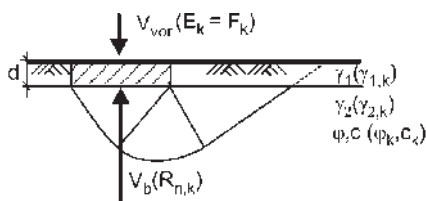
2 Sicherheitskonzepte

2.1 Allgemeines

Bevor in den nachfolgenden Abschnitten ausführlicher auf die einzelnen Regelungen des Normenhandbuchs eingegangen wird, soll zunächst der Unterschied zwischen dem früher in Deutschland angewendeten globalen Sicherheitskonzept und dem mittlerweile anzuwendenden Teilsicherheitskonzept erläutert werden.

2.2 Globales Sicherheitskonzept

Bei dem in DIN 1054:1976-11 verfolgten globalen Sicherheitskonzept werden in einer Grenzbetrachtung die maximal möglichen Widerstände mit den tatsächlich wirkenden Lasten verglichen. In der Nomenklatur des EC 7-1 in Verbindung mit DIN 1054, die nachfolgend noch im Einzelnen erläutert wird, entspricht dies dem Vergleich der charakteristischen Widerstände mit den charakteristischen Einwirkungen bzw. Beanspruchungen. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn das Verhältnis dieser beiden Größen einen ausreichend großen Wert aufweist. Beispielsweise musste beim Grundbruchnachweis gezeigt werden, dass für den Lastfall 1 der mit der bekannten dreigliedrigen Grundbruchformel nach DIN 4017 berechnete vertikale Grundbruchwiderstand um mindestens den Faktor 2 größer war als die vorhandene vertikale Einwirkung. Schematisch ist dies in Bild 4 dargestellt, wobei auch die neuen Bezeichnungen in



Grundbruchwiderstand nach DIN 4017-1:1979-08

$$V_b = a \cdot b \cdot (c \cdot N_c + \gamma_1 \cdot d \cdot N_d + \gamma_2 \cdot b \cdot N_b) = R_{n,k}$$

globale Sicherheit

$$\eta = \frac{V_b}{V_{vor}} = \frac{R_{n,k}}{F_k} > 2,0 \quad \text{(LF1)}$$

Bild 4 Globales Sicherheitskonzept, dargestellt am Beispiel des Grundbruchnachweises

Klammern aufgenommen sind. Eine Differenzierung des Sicherheitsfaktors in die einzelnen Komponenten der Widerstände und Einwirkungen bzw. Beanspruchungen wurde beim globalen Sicherheitskonzept nicht vorgenommen.

Bei der Anwendung des globalen Sicherheitskonzepts zur Bestimmung von noch nicht bekannten Bauteilabmessungen entsteht das Problem, dass bei Verwendung von charakteristischen Größen in der statischen Berechnung ein Gleichgewichtszustand erreicht wird, bei dem die Sicherheit automatisch den Wert 1,0 aufweist, da dabei keine Sicherheitsreserven eingerechnet sind. In der Praxis hat man sich damit beholfen, dass die Widerstände vor dem Eingang in die statische Berechnung abgemindert wurden, z. B. durch Division des Erdwiderstands durch den Faktor $\eta = 1,5$ bei der Bestimmung der Einbindetiefe einer Baugrubenwand²⁾.

2.3 Teilsicherheitskonzept

Beim Teilsicherheitskonzept wird die im System vorhandene Sicherheit auf die Widerstands- und die Einwirkungsseite aufgeteilt. Dadurch hat man die Möglichkeit, die einzelnen Komponenten je nach ihrer Datengüte und Wertigkeit für die Gleichung des Grenzgleichgewichts unterschiedlich zu gewichten. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn die allgemeine Ungleichung erfüllt ist, nach der je nach betrachtetem Grenzzustand die Summe der Bemessungswiderstände R_d zu jeder Zeit größer ist als die Summe der Bemessungsbeanspruchungen E_d :

$$\sum R_d \geq \sum E_d$$

In Bild 5 ist für das Grundbruchbeispiel die nach EC 7-1 in Verbindung mit DIN 1054 für den später noch erläuterten Grenzzustand GEO-2 vorgesehene Vorgehensweise dargestellt, bei der die charakteristische Beanspruchung und der charakteristische Widerstand erst unmittelbar vor dem Einsetzen in den Sicherheitsnachweis zu den sogenannten Bemessungsgrößen verändert werden.

In diesem Fall erhält man die Bemessungsgrößen dadurch, dass der charakteristische vertikale Grundbruchwiderstand $R_{n,k}$ aus der Grundbruchgleichung nach DIN 4017, der sich genauso ergibt wie zuvor beim globalen Sicherheitskonzept, durch einen Teilsicherheitsbeiwert γ_R dividiert und die charakteristische vertikale Beanspruchung E_k (in diesem Fall identisch mit der vertikalen charakteristischen Einwirkung F_k) mit

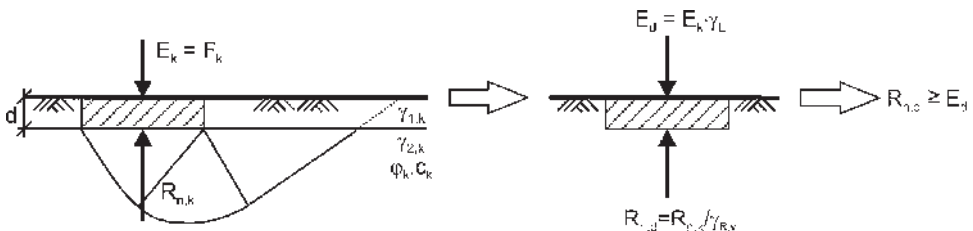


Bild 5 Teilsicherheitskonzept, dargestellt am Beispiel des Grundbruchnachweises

²⁾ EAB:1994, 3. Auflage, EB 19

einem Teilsicherheitsbeiwert γ_E multipliziert wird. Die beiden Teilsicherheitsbeiwerte sind größer als 1,0 und können im Einzelnen den Tabellen A 2-1 und A 2-3 von DIN 1054 bzw. Abschnitt 4.4 dieses Beitrags entnommen werden. Der Sicherheitsnachweis ist erbracht, wenn gezeigt werden kann, dass

$$R_{n,d} \geq E_d$$

ist. Will man wissen, wie viel rechnerische Sicherheit über die Teilsicherheitsbeiwerte hinaus in dem System noch steckt, bestimmt man den Ausnutzungsgrad μ der Widerstände. Dazu werden die Bemessungswiderstände noch so weit abgemindert, dass die Grenzzustandsgleichung gerade identisch erfüllt wird:

$$\mu \cdot R_{n,d} = E_d$$

Während beim globalen Sicherheitskonzept die Sicherheit mit steigendem Sicherheitsfaktor η ansteigt, ist dies definitionsbedingt beim Teilsicherheitskonzept mit sinkendem Ausnutzungsgrad μ der Fall. Bild 6 verdeutlicht noch einmal schematisch die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei Anwendung des globalen Sicherheitskonzepts und des Teilsicherheitskonzepts sowie die Bedeutung des Ausnutzungsgrades der Widerstände.

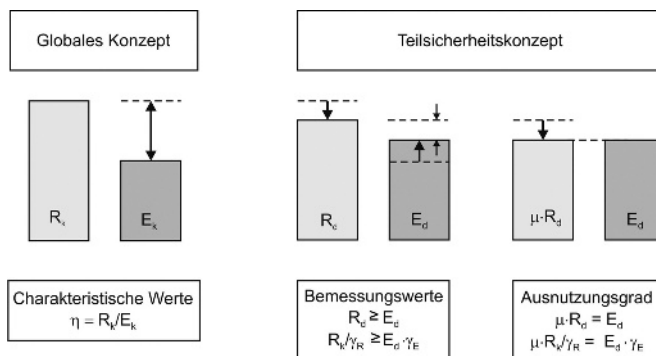


Bild 6 Schematische Darstellung der Vorgehensweise beim globalen Sicherheitskonzept und beim Teilsicherheitskonzept

3 Aufbau und Inhalte des Normenhandbuchs

3.1 Allgemeines

Im Folgenden werden die wesentlichen Inhalte des Normenhandbuchs im Überblick vorgestellt. Einzelheiten zu den verschiedenen Themengebieten wie Flachgründungen, Pfahlgründungen, Baugruben etc. können den Fachbeiträgen im Teil 3 dieses Grundbau-Taschenbuchs entnommen werden. Zusätzliche Erläuterungen und Rechenbeispiele zur Anwendung der neuen Norm finden sich bei Ziegler [5].

3.2 Inhaltsübersicht

EN 1997-1 weist insgesamt 12 Abschnitte und 9 Anhänge A bis J auf, die zum Teil noch weiter untergliedert sind (Anmerkung des Autors: der Buchstabe J wurde vermutlich deshalb anstelle des eigentlich folgenden Buchstabens I gewählt, um Ver-

wechslungen mit der Bezeichnung römisch I auszuschließen). Im Normenhandbuch ist zusätzlich der Anhang AA aus DIN 1054 aufgenommen. Im ersten Abschnitt werden zunächst der Anwendungsbereich erläutert, die normativen Verweise aufgelistet und Begriffe und Formelzeichen definiert. Abschnitt 2 ist mit Grundlagen der geotechnischen Bemessung überschrieben. Er beschäftigt sich mit der Definition der Geotechnischen Kategorien, der wichtigen Festlegung charakteristischer Bodenkenngrößen sowie mit den allgemeinen Regelungen für Sicherheitsnachweise, wobei insbesondere auf die Darstellung der verschiedenen Grenzzustände und die damit verbundenen unterschiedlichen Nachweisführungen eingegangen wird. Abschnitt 3 ist der Baugrunduntersuchung und der dabei vorzunehmenden Festlegung abgeleiteter Bodenkenngrößen gewidmet. Hierbei wird auch auf die verschiedenen Feld- und Laborversuche zur Bestimmung der abgeleiteten Werte eingegangen, wodurch zweifelsfrei eine starke Überschneidung mit dem EC 7-2 und den jeweiligen Versuchsnormen gegeben ist. Neu gegenüber der Fassung von DIN 1054:2005-01 wurden die Abschnitte 4 und 5 „Bauüberwachung, Kontrollmessungen und Instandhaltung“ und „Schüttungen, Wasserhaltung, Bodenverbesserung und Bodenbewehrung“ aufgenommen, die aber keine direkten Bemessungsvorgaben enthalten, sondern sich eher mit der Ausführung und Qualitätssicherung beschäftigen, weshalb im Folgenden darauf auch nicht näher eingegangen wird. Die Abschnitte 6 bis 11 erläutern dann wie bisher auch die Anwendung des Sicherheitskonzepts für die verschiedenen geotechnischen Fragestellungen wie Flach- und Pfahlgründungen, Verankerungen, Stützbauwerke, hydraulisch verursachtes Versagen und die Gesamtstandsicherheit. Neu aufgenommen wurde noch ein Abschnitt über Erddämme.

Der normative Anhang A enthält die im EC 7-1 empfohlenen Teilsicherheitsbeiwerte. Der Nationale Anhang verweist hier jedoch auf die davon zum Teil abweichenden Werte in DIN 1054. Im informativen Anhang B folgen Erläuterungen, wie die Teilsicherheitsbeiwerte in den Grenzzustandsgleichungen der einzelnen Nachweisverfahren anzusetzen sind. Der ebenfalls informative Anhang C enthält Formeln zur Bestimmung des Erddrucks, die in Deutschland in Ergänzung zu DIN 4085 und den EAB angewendet werden dürfen. Keine Verwendung in Deutschland findet der informative Anhang D mit dem Vorschlag einer analytischen Grundbruchformel, da hierfür DIN 4017 anzuwenden ist. In dem sehr kurzen informativen Anhang E wird ein halbempirisches Verfahren zur Abschätzung der Tragfähigkeit einer Flachgründung auf Basis eines Pressiometerversuchs vorgestellt. Die nationale Regelung sieht hier aber eindeutig vor, entweder die Tragfähigkeit nach DIN 4017 zu bestimmen oder sich der Tabellen zum vereinfachten Nachweis in Regelfällen in Abschnitt 6.10 zu bedienen, die auf den bisherigen Tabellen des aufnehmbaren Sohldrucks aufbauen. Der informative Anhang F, in dem Beispiele für Verfahren zur Setzungsermittlung gegeben werden, kommt in Deutschland ebenfalls nicht zur Anwendung, da hierfür DIN 4019 anzuwenden ist. Anhang G enthält informativ ein Verfahren zur Ermittlung von Bemessungssohldrücken für Flächenfundamente auf unterschiedlichen Felsgruppen. Der NA schränkt die Anwendung auf gleichförmigen beständigen Fels ein und verweist dazu auf ein ähnlich aufgebautes Bemessungsdiagramm in Abschnitt A 6.10.4 von DIN 1054. Im informativen Anhang H sind Grenzwerte für Bauwerksverformungen und Fundamentbewegungen angegeben. Anhang J enthält eine Kontrollliste für die Überwachung der

Bauausführung und des fertigen Bauwerks, die in Deutschland auch verwendet werden darf. Lediglich in DIN 1054 und damit auch im Normenhandbuch ist der informative Anhang AA enthalten, in dem Merkmale und Beispiele zur Einstufung in die Geotechnischen Kategorien gegeben werden. Die bisher in den Anhängen B bis D abgedruckten Erfahrungswerte zur Bestimmung der charakteristischen Pfahlwiderstände und die in Anhang E gemachten Angaben zu Einwirkungen und Widerständen bei quer zur Pfahlachse belasteten Pfahlgruppen sind komplett aus dem Normenhandbuch verschwunden und finden sich jetzt in der EA-Pfähle, auf die DIN 1054 ausdrücklich Bezug nimmt.

3.3 Anwendungsbereich

Der Anwendungsbereich von DIN EN 1997-1 ist in Abschnitt 1 der Norm geregelt. Danach stellt DIN EN 1997-1 die „allgemeine Grundlage für die geotechnischen Gesichtspunkte beim Entwurf von Hoch- und Ingenieurbauwerken“ dar. DIN EN 1997-1 ist dabei in Verbindung mit DIN EN 1990 zu sehen, „in der die Grundsätze und Anforderungen für Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit festgelegt sind, die Grundlagen der Planung und der Nachweise beschrieben und Richtlinien für die damit verbundenen Gesichtspunkte der Zuverlässigkeit von Tragwerken angegeben werden“. In DIN EN 1997-1 werden Anforderungen an die Festigkeit, Standsicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit der Bauwerke behandelt, nicht aber andere Anforderungen, wie z. B. der Wärme- oder Schallschutz. Ebenso sind die besonderen Anforderungen aus Erdbebeneinwirkungen ausgenommen und in DIN EN 1998 geregelt. DIN 1054 übernimmt den Anwendungsbereich von DIN EN 1997-1, schließt aber zusätzlich ausdrücklich Braunkohletagebaue aus.

3.4 Geotechnische Planung

3.4.1 Sachverständiger für Geotechnik

Die Herstellung von Gründungen und geotechnischen Bauwerken erfordert eine gründliche Planung und Vorbereitung, zu der auch eine ausreichende Erkundung und Untersuchung des Baugrunds gehört. Der Entwurfsverfasser, dem nach Musterbauordnung (MBO) die Gesamtverantwortung für das ordnungsgemäße Ineinandergreifen aller Fachplanungen obliegt, und die von ihm beteiligten Fachplaner müssen für diese Aufgabe über die nötige Sachkunde und Erfahrung verfügen. Der Entwurfsverfasser entscheidet nach Maßgabe der fachlichen Kompetenz und ggf. im Einvernehmen mit dem Bauherrn über die Einschaltung eines Fachplaners für Geotechnik.

Für die Baugrunduntersuchung wird in der Praxis ein Sachverständiger für Geotechnik beauftragt. Bei ihm wird vorausgesetzt, dass er fachkundig und erfahren auf dem Gebiet der Geotechnik ist. Weitere Anforderungen an das Berufsbild oder den Ausbildungsgang werden nicht verlangt. Insbesondere handelt es sich bei dem Sachverständigen für Geotechnik nicht um einen öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen und auch nicht um den anerkannten Sachverständigen für Erd- und Grundbau nach Bauordnungsrecht [2].

Der Begriff des Sachverständigen für Geotechnik taucht in DIN 1054 mit Ausnahme einer Anmerkung zu Punkt 1.3 von DIN EN 1997-1 überhaupt nicht mehr auf. Dort heißt es allerdings, dass der gegebenenfalls vom verantwortlichen Entwurfsverfasser bei nicht ausreichender Sachkunde einzusetzende Fachplaner für Geotechnik dem Sachverständigen für Geotechnik nach DIN 4020 entspricht. In der Fassung von DIN 4020:2010-12 heißt es dann auch in der Anmerkung A1 zu A 1.5.3.24, dass „der Sachverständige für Geotechnik (ist) der Fachmann (ist), der nach den Bauordnungen der Länder hinzuziehen ist, falls der Entwurfsverfasser nicht selbst über die erforderliche Sachkunde und Erfahrung auf dem Gebiet der Geotechnik verfügt“. Damit wird der Sachverständige für Geotechnik indirekt wieder zur Klärung der geotechnischen Fragestellungen bei einem Bauwerk verpflichtet. Seine Aufgabe besteht darin, die erforderlichen geotechnischen Untersuchungen und Messungen zu planen und die fachgerechte Durchführung der Feld- und Laborarbeiten zu überwachen. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen hat er die charakteristischen Werte für die Baugrundkenngrößen und Grundwasserstände festzulegen, die später Eingang in die Berechnungen zur Überprüfung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit finden. Es ist weiter seine Aufgabe, aus den Ergebnissen der Baugrunduntersuchung Wechselwirkungen zwischen Bauwerk und Boden und daraus resultierende Folgerungen für die Planung und Konstruktion aufzuzeigen und dem Bauherrn und den beteiligten Fachplanern mitzuteilen. Dabei hat er sich an die Vorgaben und Anforderungen von DIN 4020 zu halten, insbesondere was die Abfassung des geotechnischen Berichts angeht.

3.4.2 Geotechnische Kategorien

Die Komplexität einer Gründungsmaßnahme und die damit verbundenen Risiken bestimmen die Mindestanforderungen an Umfang und Qualität der durchzuführenden geotechnischen Untersuchungen, Berechnungen und Überwachungsmaßnahmen. Dafür kann nach DIN EN 1997-1 eine Einteilung in drei Geotechnische Kategorien vorgenommen werden, wobei auch Kriterien für die Zuordnung in die einzelnen Kategorien angegeben werden. Im NA zu DIN EN 1997-1 bzw. DIN 1054 wird die Verwendung von Geotechnischen Kategorien verpflichtend vorgeschrieben. Auch erfolgt dort eine detailliertere Zuordnung und Beschreibung der einzelnen Kategorien, als dies in DIN EN 1997-1 der Fall ist. Insbesondere wird dabei in Anlehnung an DIN 4020 im Anhang AA des Normenhandbuchs eine Tabelle aufgenommen, in der eine Zuordnung in eine der drei Kategorien vorgenommen wird. Kriterien sind dabei der Baugrund, das Grundwasser, das Bauwerk, die Baumaßnahmen, sowie die in den Abschnitten 7 bis 12 behandelten Themen von den Flächengründungen über die Pfahlgründungen bis hin zu den Erddämmen. Die Einordnung einer Baumaßnahme in eine Geotechnische Kategorie muss vor Beginn der geotechnischen Erkundung erfolgen. Eine spätere Änderung aufgrund der beim Bau vorgefundenen Verhältnisse ist möglich und u. U. notwendig. Die nachfolgenden Erläuterungen zu den Geotechnischen Kategorien orientieren sich im Wesentlichen an den in DIN 1054 gegebenen Definitionen.

Geotechnische Kategorie GK 1

Sie umfasst Baumaßnahmen mit geringem Schwierigkeitsgrad hinsichtlich Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit, die mit vereinfachten Verfahren aufgrund von Erfahrungen hinreichend beurteilt werden können.

Geotechnische Kategorie GK 2

Sie umfasst Baumaßnahmen mit mittlerem Schwierigkeitsgrad im Hinblick auf Bauwerke und Baugrund. Sie erfordern eine ingenieurmäßige Bearbeitung und einen rechnerischen Nachweis der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit auf der Grundlage von geotechnischen Kenntnissen und Erfahrungen.

Geotechnische Kategorie GK 3

Sie umfasst Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad im Hinblick auf das Zusammenwirken von Baugrund und Bauwerk. Insbesondere sind Bauwerke, die unter Anwendung der Beobachtungsmethode errichtet werden, in die Geotechnische Kategorie GK 3 einzustufen. Bauwerke der Geotechnischen Kategorie GK 3 erfordern eine ingenieurmäßige Bearbeitung und einen rechnerischen Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit auf der Grundlage von zusätzlichen Untersuchungen und von vertieften Kenntnissen und Erfahrungen auf dem jeweiligen Spezialgebiet.

3.5 Wichtige Begriffe der neuen Sicherheitsnorm**3.5.1 Allgemeines**

Für die nachfolgende Vorstellung einzelner Inhalte des Normenhandbuchs ist es notwendig, einige wichtige Begriffe zu definieren. Dabei muss bei der Definition einzelner Begriffe auf ebenfalls noch zu definierende Begriffe zurückgegriffen werden. Die Begriffsdefinitionen sind daher in ihrer Gesamtheit zu betrachten.

3.5.2 Charakteristischer Wert, repräsentativer Wert, Bemessungswert, Nennwert**Charakteristischer Wert**

Generell ist bei der Bemessung nach dem Teilsicherheitskonzept ein Vergleich zwischen Einwirkungen bzw. Beanspruchungen und Widerständen durchzuführen. Widerstände können zum einen direkt als summarische Bauteilwiderstände angegeben werden. Da die Widerstände aber letztlich auf den Materialeigenschaften der Baustoffe beruhen, können zum anderen diese auch direkt beim Sicherheitsnachweis verwendet werden. In der Geotechnik sind dies die Scherparameter Reibungswinkel und Kohäsion. Folgerichtig muss bei der Definition von charakteristischen Größen zwischen Einwirkungen bzw. Beanspruchungen, Widerständen und Baustoffeigenschaften unterschieden werden.

Bei der Definition eines charakteristischen Werts (Index k) ist zunächst DIN EN 1990 heranzuziehen. Dort wird der charakteristische Wert einer Einwirkung als derjenige Wert definiert, der mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit im Bezugszeitraum unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Bauwerks und der entsprechenden Be-

messungssituation nicht überschritten wird³⁾. Bei einer Baustoffeigenschaft verbindet DIN EN 1990 den charakteristischen Wert mit einer bestimmten Fraktile einer statistischen Verteilung⁴⁾. In der Geotechnik ist aber in den meisten Fällen die Datenbasis für eine seriöse Auswertung auf statistischer Grundlage nicht gegeben. In DIN EN 1997-1 heißt es dann daher auch schon allgemeiner, dass „der charakteristische Wert einer geotechnischen Kenngröße (ist) als eine vorsichtige Schätzung desjenigen Wertes festzulegen (ist), der im Grenzzustand wirkt“⁵⁾.

Während die Einwirkungsseite, zumindest was die aus dem Tragwerk auf die Gründungskonstruktion übertragenen Einwirkungen angeht, relativ zuverlässig eingeschätzt werden kann, zählt entsprechend vorgenannter Definition und den Ausführungen in Kapitel 1 über die Festlegung von Homogenbereichen im Boden die Bestimmung der zugehörigen charakteristischen Bodenkennwerte, aus denen dann sowohl geotechnische Einwirkungen, wie z. B. der aktive Erddruck, als auch Bodenwiderstände, wie z. B. der passive Erddruck oder der Grundbruchwiderstand, abgeleitet werden, zu den schwierigsten Aufgaben in der Geotechnik. In der Regel wird daher ein Sachverständiger für Geotechnik eingeschaltet werden, um die Festlegung der charakteristischen Bodenkennwerte vorzunehmen. Es obliegt dann seinem Wissen und seiner Erfahrung, wie groß er den Abstand, eine Art Vorhaltemaß, zwischen dem von ihm festzulegenden charakteristischen Wert und dem rechnerischen Mittelwert einer Größe wählt, wie das beispielhaft für den Reibungswinkel in der linken Hälfte von Bild 7 gezeigt ist. Einflussparameter auf die Festlegung des charakteristischen Werts sind u. a.:

- Qualität und Quantität der Datenbasis,
- Auswirkung eines Bauwerksversagens auf die Umgebung,
- Empfindlichkeit der Bauwerkskonstruktion im Hinblick auf baugrundbedingte Verformungen,
- Fähigkeit der Konstruktion, bei Annäherung an den Grenzzustand schadlos Kräfte umzulagern (Duktilität).

In Fällen, in denen die Streuung der Messwerte gering ist und der gemessene Parameter wenig Einfluss auf das Gesamtergebnis hat, kann der charakteristische Wert auch mit dem Mittelwert zusammenfallen, wie das beispielhaft für die Wichte des Bodens in Bild 7b gezeigt ist. Ob diese Bedingungen zutreffen, muss im konkreten Anwendungsfall im Einzelnen überprüft werden.

Es kann auch erforderlich werden, obere und untere charakteristische Werte festzulegen und in den Berechnungen jeweils die ungünstigste Kombination auszuwählen. Ein solches Erfordernis kann für die Bodenkennwerte gegeben sein, wenn die Ergebnisse der Labor- und Feldversuche sehr starke Streuungen aufweisen. Ebenso gibt es auf der Einwirkungsseite Problemstellungen, bei denen dies angebracht ist. Ein typisches Beispiel stellt der Ansatz der Betonwichte dar, die beim Nachweis gegen Aufschwim-

³⁾ DIN EN 1990, 1.5.3.14

⁴⁾ DIN EN 1990, 1.5.4.1

⁵⁾ DIN EN 1997-1, 2.4.5.2 (2)P

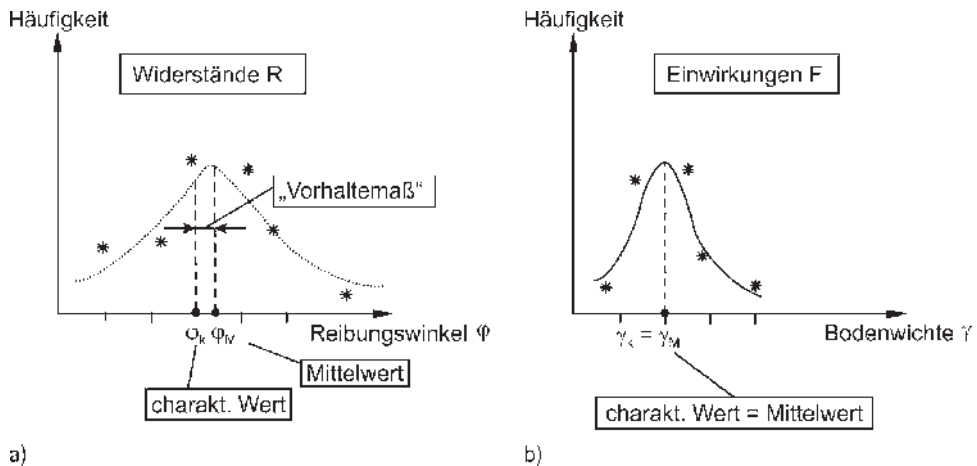


Bild 7 Festlegung charakteristischer Werte am Beispiel des Reibungswinkels φ und der Bodenwichte γ

men mit dem unteren Wert von 24 kN/m^3 und in allen anderen Fällen, bei denen das Betongewicht ungünstig wirkt, mit 25 kN/m^3 angesetzt wird⁶⁾.

Aufgrund der starken Interaktion zwischen Bauwerkskonstruktion und Untergrund sollte der fachliche Austausch zwischen dem Sachverständigen für Geotechnik und dem Tragwerksplaner nicht auf die reine Übergabe von Bodenkennwerten beschränkt bleiben, sondern auch die Diskussion über die damit erhaltenen Ergebnisse einschließen. Da bei komplexen Konstruktionen heute überwiegend Rechenprogramme auf Basis finiter Elemente zum Einsatz kommen, mit denen auch Aussagen über Spannungen und Verformungen im Gebrauchszustand erhalten werden, kommt der Angabe der verformungsbestimmenden Bodenkenngrößen eine große Bedeutung zu. Insbesondere bei verschiebungsempfindlichen Konstruktionen mag der Sachverständige für Geotechnik geneigt sein, zur Sicherstellung der Gebrauchstauglichkeit die entsprechenden verformungsbestimmenden Kenngrößen des Untergrunds wie z. B. die Steifemoduln der einzelnen Bodenschichten möglichst vorsichtig, d. h. niedrig anzusetzen. Dies kann aber bei der Bestimmung der Schnittgrößen zur Abschätzung der Grenztragfähigkeit zu unrealistischen und vor allem auch unsicheren Ergebnissen führen. In solchen Fällen ist eine Rückkopplung zwischen dem Tragwerksplaner und dem Sachverständigen für Geotechnik unerlässlich, um die Berechnungsergebnisse zu bewerten, die vorgegebenen Kennwerte zu bestätigen, ggf. zu korrigieren oder auch zusätzliche Untersuchungen zu veranlassen, mit denen die Schwankungsbreite der erhaltenen Ergebnisse dann weiter eingegrenzt werden kann.

Repräsentativer Wert

Nach DIN EN 1990:2010-12 ist der repräsentative Wert einer Einwirkung als derjenige Wert definiert, der der Nachweisführung in Grenzzuständen zugrunde liegt. Treten nur ständige Einwirkungen auf, entspricht der charakteristische Wert dem repräsentativen Wert. Treten zusätzlich voneinander unabhängige veränderliche Einwirkungen auf, so

⁶⁾ EAB:2006, 4. Auflage, EB 62

stellt der repräsentative Wert einer veränderlichen Einwirkung den sogenannten Begleitwert dar, der sich aus dem charakteristischen Wert durch Multiplikation mit einem Kombinationswert ψ ergibt. Mit dem Kombinationswert ψ wird berücksichtigt, dass nicht alle veränderlichen Einwirkungen gleichzeitig und in voller Höhe auftreten (siehe Abschnitt 3.5.3). Die Größe des ψ_i -Wertes richtet sich nach der Häufigkeit des Auftretens der veränderlichen Einwirkung Q_k . Unterschieden werden nach DIN EN 1990 der Kombinationswert einer veränderlichen Einwirkung, beschrieben durch $\psi_0 \cdot Q_k$, der häufige Wert einer veränderlichen Einwirkung, beschrieben durch $\psi_1 \cdot Q_k$ und der quasi ständige Wert einer veränderlichen Einwirkung, beschrieben durch $\psi_2 \cdot Q_k$. Nähere Angaben hierzu und zur Größe der ψ_i -Werte finden sich in DIN EN 1990⁷⁾.

Während DIN EN 1990 lediglich das Produkt $\psi_i \cdot Q_k$ als repräsentativen Wert bezeichnet, wird in DIN EN 1997-1⁸⁾ die Kombination aus Leiteinwirkung und Begleiteinwirkungen

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

als repräsentative veränderliche Einwirkung bezeichnet. In vorstehendem Ausdruck hat „+“ die Bedeutung „ergibt sich aus“ und „+“ die Bedeutung „in Verbindung mit“.

Die Bildung repräsentativer Werte findet insbesondere bei der Bemessung von Hochbauten statt. In die geotechnische Berechnung fließen sie damit indirekt bei der Übergabe der Gründungslasten ein.

Bemessungswert

Der Bemessungswert (Index d) einer Einwirkung wird dadurch erhalten, dass der repräsentative Wert mit einem Teilsicherheitsfaktor $\gamma_F \geq 1,0$ multipliziert wird:

$$F_d = F_{\text{rep}} \cdot \gamma_F$$

Der Bemessungswert einer Beanspruchung erhält man allgemein aus

$$E_d = E(F_d)$$

Wie die Bemessungsbeanspruchung im Einzelnen in den verschiedenen Bemessungssituationen gebildet wird, wird in Abschnitt 3.5.4 erläutert.

Der Bemessungswert eines Widerstands ergibt sich aus der Division des charakteristischen Widerstands durch einen Teilsicherheitswert $\gamma_R \geq 1,0$:

$$R_d = R_k / \gamma_R$$

Der Bemessungswert einer Baustoffeigenschaft ergibt sich durch Division des charakteristischen Werts durch einen Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_M \geq 1,0$. Im Bereich der Geotechnik bedeutet dies die Abminderung der Scherparameter:

$$\tan \varphi_{d'} = \tan \varphi_k / \gamma_{\varphi'}$$

$$c_{d'} = c_k / \gamma_{c'}$$

$$c_{u,d'} = c_{u,k} / \gamma_{cu'}$$

⁷⁾ DIN EN 1990:2010-12, 4.1.3

⁸⁾ DIN EN 1997-1, A 2.4.6.1.1, A (2a)

3.5.3 Einwirkung, Auswirkung, Beanspruchung, Widerstand

Einwirkung

Die Definition der Einwirkungen ist in der Grundsatznorm DIN EN 1990 gegeben. Zahlenwerte für Einwirkungen können DIN EN 1991-1-1 entnommen werden. Die vielfältigen Einwirkungsarten beschränken sich für die geotechnische Bemessung nach DIN EN 1997-1 auf die in Bild 8 dargestellten drei Hauptgruppen:

- Gründungslasten,
- geotechnische Einwirkungen,
- dynamische Einwirkungen.

Einwirkungen aus Erdbeben sind gesondert nach DIN EN 1998-5 zu betrachten.

Generell sind die Anteile aus ständigen und veränderlichen Einwirkungen getrennt zu behandeln, da diese bei den meisten Nachweisen mit unterschiedlichen Teilsicherheitsfaktoren belegt werden. Bei den veränderlichen Einwirkungen sind wie üblich nur die ungünstigen Einwirkungen zu berücksichtigen. Nach DIN 1054 findet bei den Nachweisen HYD, UPL und EQU eine Differenzierung zwischen günstigen und ungünstigen ständigen Einwirkungen bzw. Beanspruchungen mit unterschiedlich großen Teilsicherheitsbeiwerten statt. Formal wird diese Differenzierung auch für die Grenzzustände STR und GEO-2 vorgenommen. Tatsächlich wird aber nur im Fall von gleichzeitig zug- und druckbelasteten Pfählen mit überwiegender Zugbelastung davon Gebrauch gemacht, indem die günstigen ständigen Einwirkungen mit $\gamma_{G,inf} = 1,0$, die ungünstigen ständigen Einwirkungen aber mit $\gamma_G > 1,0$ beaufschlagt werden. In allen sonstigen Fällen werden sowohl die günstigen als auch die ungünstigen ständigen Einwirkungen mit $\gamma_G > 1,0$ beaufschlagt. In diesem Punkt unterscheidet sich DIN 1054 von der Vorgehensweise im Hochbau und auch von der geotechnischen Bemessung in anderen europäischen Ländern.

Gründungslasten

Gründungslasten⁹⁾ werden nach DIN 1054 als Schnittgrößen (Beanspruchungen) aus der statischen Berechnung des aufliegenden Tragwerks am Übergang zur Gründungskonstruktion definiert. Sie sind als charakteristische bzw. repräsentative Größen für jede kritische Einwirkungskombination in den maßgebenden Bemessungssituationen sowohl

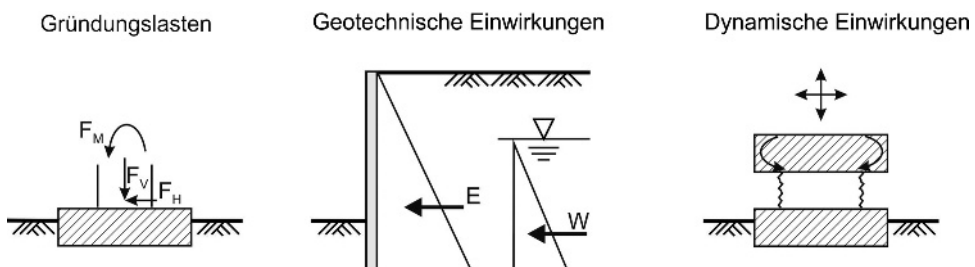


Bild 8 Einteilung der Einwirkungen für die geotechnische Bemessung

⁹⁾ DIN 1054, A 2.4.2.3

für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS = ultimate limit state) als auch für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS = serviceability limit state) anzugeben.

Die Übernahme von charakteristischen bzw. repräsentativen Gründungslasten aus der Tragwerksplanung bedarf einer engen Abstimmung zwischen dem Tragwerksplaner des aufliegenden Tragwerks und dem Planer für die Gründung, da im Konstruktiven Ingenieurbau im Gegensatz zu den meisten Nachweisen der Geotechnik die statische Berechnung meist bereits mit Bemessungswerten durchgeführt wird. Dies bedeutet, dass die charakteristischen Einwirkungen noch vor der Ermittlung der Schnittgrößen (Beanspruchungen) mit den jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerten erhöht werden und zudem die Kopplung von ständigen und verschiedenen veränderlichen Einwirkungen nicht einfach durch Addition, sondern über die beschriebenen Kombinationsbeiwerte $\psi_i < 1,0$ vorgenommen wird. Näheres kann hierzu der Hochbau-Literatur entnommen werden (z. B. [1]). Als Ergebnis der statischen Berechnung werden demnach Bemessungsgrößen erhalten, die für die Angabe der Gründungslasten wieder in charakteristische bzw. repräsentative Größen zurück transformiert werden müssen, was nur bedingt eindeutig gelingt.

Beispielsweise stellt sich die Bemessungsbeanspruchung E_d für ständige und vorübergehende Bemessungssituationen für den Nachweis des Grenzzustands der Tragfähigkeit nach DIN EN 1990¹⁰⁾ wie folgt dar:

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

Darin bedeuten:

„+“ „in Kombination mit“

Σ „Kombination der unabhängigen Einwirkungen infolge von“

$G_{k,j}$ unabhängige ständige Einwirkung, bestehend aus einem oder mehreren charakteristischen Werten ständiger Kraft- oder Verformungsgrößen

P_k unabhängige Einwirkung infolge Vorspannung (charakteristischer Wert einer Vorspannung)

$Q_{k,1}$ vorherrschende unabhängige veränderliche Einwirkung, bestehend aus einem oder mehreren charakteristischen Werten veränderlicher Kraft- oder Verformungsgrößen (Leiteinwirkung)

$Q_{k,i}$ andere unabhängige veränderliche Einwirkungen, bestehend aus einem oder mehreren charakteristischen Werten veränderlicher Kraft- oder Verformungsgrößen (Begleiteinwirkungen)

$\gamma_{G,j}$ Teilsicherheitsbeiwert einer unabhängigen ständigen Einwirkung $G_{k,j}$

γ_P Teilsicherheitsbeiwert einer unabhängigen Einwirkung infolge Vorspannung

$\gamma_{Q,1}$ Teilsicherheitsbeiwert für die vorherrschende unabhängige veränderliche Einwirkung $Q_{k,1}$

$\gamma_{Q,i}$ Teilsicherheitsbeiwert für eine andere unabhängige veränderliche Einwirkung $Q_{k,i}$

$\psi_{Q,i}$ jeweilige Kombinationsbeiwert zur Bestimmung repräsentativer Werte veränderlicher Einwirkungen

¹⁰⁾ DIN EN 1990:2010-12, 6.4.3.2, Gl. (6.9b) in Verbindung mit Gl. (6.10)

Sofern die statische Berechnung auf der Grundlage einer linear-elastischen Berechnung erfolgt und die Auswirkungen infolge der verschiedenen Einwirkungen getrennt ermittelt werden, lässt sich die charakteristische bzw. repräsentative Beanspruchung noch einfach dadurch ermitteln, dass die jeweiligen Auswirkungen infolge der einzelnen Bemessungseinwirkungen durch die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte dividiert und anschließend zur charakteristischen bzw. repräsentativen Beanspruchung addiert werden. Man erhält dann:

$$E_{\text{rep}} = \sum_{j \geq 1} E(G_{k,j}) + E(P_k) + E(Q_{k,l}) + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot E(Q_{k,i})$$

Oft berechnet der Tragwerksplaner in solchen Fällen auch zunächst nur die Auswirkungen infolge der einzelnen charakteristischen Einwirkungen. Anschließend nimmt er die Berechnung der repräsentativen Beanspruchungen gemäß vorstehender Gleichung vor und multipliziert diese dann noch mit den jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerten. In diesem Fall können die charakteristischen Gründungslasten direkt übergeben werden.

Schwieriger wird es, wenn die statische Berechnung auf physikalisch nichtlinearer Basis mit Bemessungsgrößen durchgeführt wird, da sich dann aufgrund der unterschiedlichen verwendeten Teilsicherheitsbeiwerte im Endergebnis nicht mehr sagen lässt, welcher Anteil der Beanspruchungen aus ständigen und welcher aus veränderlichen Einwirkungen herrührt. DIN 1054¹¹⁾ empfiehlt hierzu, die aus der statischen Berechnung erhaltenen Bemessungsbeanspruchungen so in einen Anteil $E_{G,d}$ aus ständigen Einwirkungen und einen Anteil $E_{Q,d}$ aus veränderlichen Einwirkungen aufzuteilen, wie dies sich aus linearer Berechnung oder am statisch bestimmten Tragwerk ergeben hätte, und diese Anteile durch Division mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle A 2.1 von DIN 1054 (siehe Abschnitt 4.4, Tabelle 1) zu dividieren. Diese Vorgehensweise ist dem oftmals in der Praxis beschrittenen Weg vorzuziehen, bei dem die erhaltenen Bemessungsbeanspruchungen einfach nur durch den arithmetischen Mittelwert der Teilsicherheitsbeiwerte γ_G für ständige Einwirkungen und γ_Q für veränderliche Einwirkungen dividiert werden.

Bei der Ermittlung von Gründungslasten auf Fundamenten, bei denen Verkantungen der Gründung zu nennenswerten Zusatzbeanspruchungen führen, wie das z. B. bei einem flach gegründeten Turm der Fall ist, sind die Schnittgrößen nach Theorie 2. Ordnung zu berücksichtigen. Dabei ist nach DIN 1054¹²⁾ folgende und auf der sicheren Seite liegende Vorgehensweise zulässig (Bild 9):

- Berechnung des Systems für die kritischen Einwirkungskombinationen mit Bemessungswerten nach Theorie 2. Ordnung,
- Bestimmung der zugehörigen Fundamentverformungen,
- Erneute Berechnung, dieses Mal aber nach Theorie 1. Ordnung mit denselben Einwirkungskombinationen wie zuvor, aber mit den charakteristischen bzw. repräsentativen Werten G_k und Q_{rep} unter Berücksichtigung der Vorverformungen zur Bestimmung der charakteristischen bzw. repräsentativen Werte der Beanspruchungen $E_{G,k}$ und $E_{Q,\text{rep}}$.

¹¹⁾ DIN 1054, A 2.4.2.3, A(2c)

¹²⁾ DIN 1054, A 2.4.2.3, A(2b)

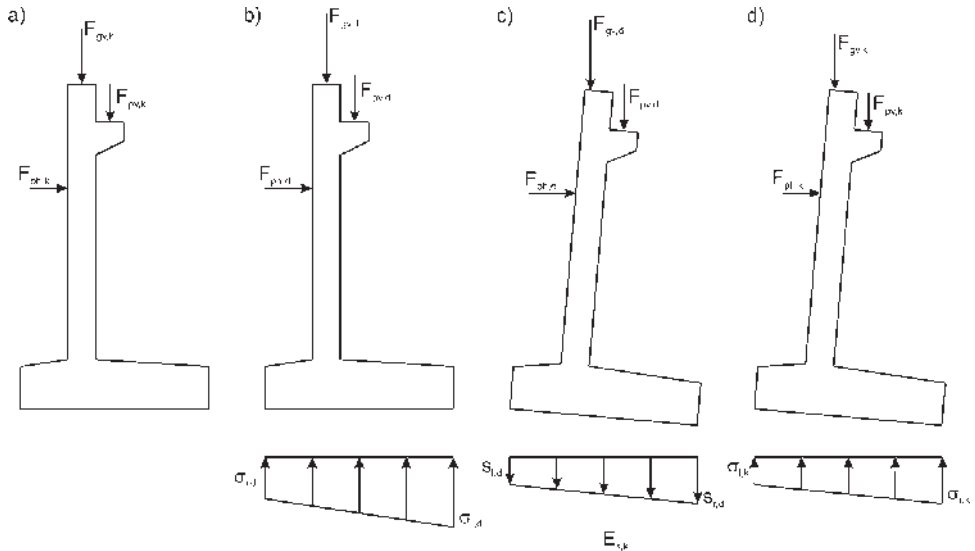


Bild 9 Bestimmung der Gründungslasten nach Theorie 2. Ordnung

a) Ausgangssituation, b) erste Berechnung mit Bemessungsgrößen, c) Verformungen mit an charakteristischen Lasten orientierten Verformungskennwerten, d) zweite Berechnung nach Theorie 1. Ordnung mit charakteristischen Größen unter Berücksichtigung der unter c) ermittelten Verformungen

Geotechnische Einwirkungen

Zu den geotechnischen Einwirkungen¹³⁾ zählen u. a.:

- Eigengewicht, Erddruck, Wasserdruck,
- Seitendruck und negative Mantelreibung bei Pfählen,
- veränderliche statische Einwirkungen z. B. aus Nutzlasten auf das Grundbauwerk,
- Baugrundverformung aus Nachbarbebauung oder Bodenentnahme,
- Verwitterung mit Herabsetzung der Scherfestigkeit.

Bei der Bestimmung von Erddrücken und ihrer Verteilung muss beachtet werden, dass diese verschiebungsabhängig sind. Bild 10 zeigt dies qualitativ für die Entwicklung der resultierenden Erddruckkraft E bei einer Fußpunktdrehung einer Baugrubenwand. Sofern die Wand überhaupt nicht verschoben wird, wirkt der Erdruheindruck E_0 , der bei

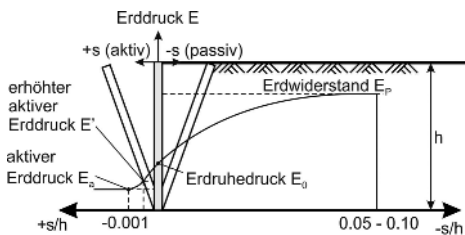


Bild 10 Abhängigkeit der resultierenden Erddruckkraft von der Verschiebung der Wand

¹³⁾ DIN 1054, A 2.4.2.1 (4)

ausreichender Bewegung der Wand vom Erdreich weg auf den Grenzwert des aktiven Erddrucks E_a abfällt. Wenn die Verformungen einer Stützkonstruktion begrenzt bleiben sollen und dies auch durch die Wahl der Stützkonstruktion (z. B. massive Schlitzwand) bautechnisch realisiert wird, muss auf der Einwirkungsseite mit einem erhöhten aktiven Erddruck gerechnet werden, dessen Größe meist als Mittelwert zwischen aktivem Erddruck und Erdruhedruck festgelegt wird.

Sofern der Boden eine Kohäsion aufweist, ergeben sich im oberen Wandbereich rechnerisch Zugspannungen. Aus Sicherheitsgründen werden diese nicht angesetzt. Stattdessen wird mit einem Mindesterddruck gerechnet, der mit einem fiktiven Reibungswinkel von $\varphi^* = 40^\circ$ bestimmt wird.

Der Erddruck wird sich daher gemäß Bild 11 in Abhängigkeit der Wandverschiebung im Normalfall in den Grenzen zwischen dem aktiven Erddruck bzw. Mindesterddruck und dem Erdruhedruck bewegen.

Zu beachten ist, dass es beim lagenweisen Einbau eines Bodens hinter einer Wand bei intensiver Verdichtung oberflächennah zu einem Anwachsen des Erddrucks über den Ruhedruck hinauskommen kann. DIN 4085 gibt Hinweise, wie dieser Verdichtungs-erddruck in Abhängigkeit des eingesetzten Verdichtungsgeräts näherungsweise angesetzt werden kann¹⁴⁾.

Je nach Stützung der Wand und ihrer Biegesteifigkeit kommt es zu Erddruckumlagerungen, die im Ergebnis eine deutlich andere Verteilung ergeben, als es der klassischen dreieckförmigen Erddruckverteilung entspricht. Hinweise, wie diese Umlagerung bei den einzelnen Wandsystemen in realitätsnahe Verteilungen vorzunehmen ist, finden sich in den EAB. Die Verformbarkeit der Wand hat auch Einfluss auf die erforderliche Vorspannkraft von Ankern.

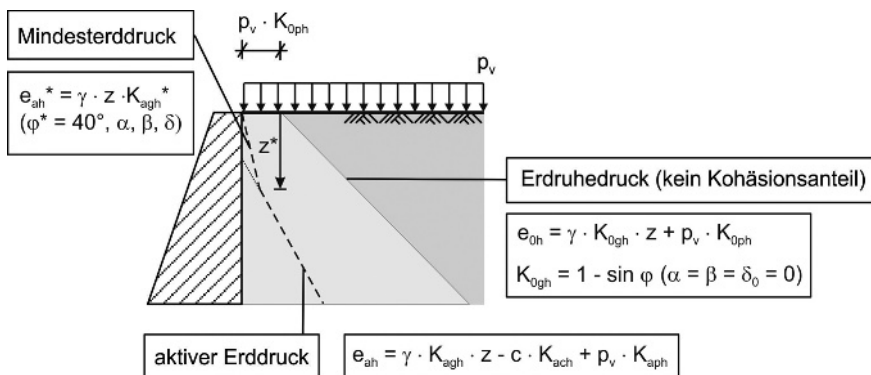


Bild 11 Aktiver Erddruck, Mindesterddruck und Erdruhedruck bei einer Stützwand

¹⁴⁾ DIN 4085:2011-05, 6.6.1

Die Ermittlung des charakteristischen Erddrucks erfolgt i. d. R. für den oberen charakteristischen Wert des Erddrucks. Für den Fall, dass sich ein geringerer Erddruck ungünstig auf die Bemessung auswirken würde (z. B. vertikale Erddruckkomponente als zusätzliche günstige seitliche Schubkraft beim Aufschwimmnachweis), sieht DIN 1054 vor, dass der untere charakteristische Wert des Erddrucks angesetzt wird¹⁵⁾. Bei bindigen Böden muss dazu $E_{ah} = 0$ gesetzt werden, bei nichtbindigen Böden wird i. d. R. die Hälfte des oberen charakteristischen Wertes angesetzt.

Für die Ermittlung des charakteristischen Wasserdrucks ist sowohl ein höchster als auch ein niedrigster Wasserstand festzulegen, da beide Wasserstände bei der Bemessung von Bauwerken oder Teilen davon zu den maßgebenden Beanspruchungen beitragen können.

Werden Baugruben mit einem wasserdichten Verbau im Grundwasser hergestellt, kann je nach Konstruktion und Art der Grundwasserhaltung eine Umströmung des Wandfußes eintreten. Gegenüber der hydrostatischen Druckverteilung wird dabei der Wasserdruck p_w auf der aktiven Seite reduziert und auf der passiven Seite erhöht. Gegenläufig dazu wird durch die Strömungskräfte die Wichte des Bodens auf der aktiven Seite erhöht und auf der passiven Seite vermindert, was bei der Berechnung der Erddrücke zu berücksichtigen ist. Die dazu notwendige Bestimmung des hydraulischen Gradienten erfolgt i. d. R. durch die Auswertung eines Strömungsnetzes (Bild 12). Nur in einfachen Fällen, z. B. bei homogenem Boden unterhalb des Grundwasserspiegels, darf der hydrostatische Wasserdruck vereinfacht so angesetzt werden, als sei eine Umströmung und damit das Auftreten von Strömungskräften unterbunden¹⁶⁾. Diese Vereinfachung gilt allerdings nicht beim Nachweis gegen hydraulisch bedingtes Versagen.

Dynamische Einwirkungen

Übliche zyklische, dynamische oder stoßartige Einwirkungen dürfen als veränderliche statische Einwirkungen mit zusätzlichen Schwingbeiwerten berücksichtigt werden¹⁷⁾. Bei erheblichen dynamischen Einwirkungen, wie sie durch Anpralllasten, Druckwellen oder Schwingungen von Maschinenfundamenten entstehen können, muss im Einzelfall aber geprüft werden, ob nicht die Massenträgheitskräfte in den Berechnungen mitberücksichtigt werden müssen. Bei Einwirkungen durch Erdbeben ist DIN EN 1998-5:2010-12 in Verbindung mit DIN EN 1998-5/NA:2011-07 zu beachten.

Beanspruchung

Als Beanspruchung¹⁸⁾ wird die Auswirkung infolge einer Einwirkung verstanden. Diese kann in Form einer Schnittgröße, einer Spannung, einer Dehnung oder der Verformung eines Bauteils auftreten. Ein typisches Beispiel einer Beanspruchung stellt die Erdauflagerkraft bei einem Baugrubenverbau dar, die später im Sicherheitsnachweis dem möglichen Erdwiderstand gegenübergestellt wird (s. Bild 18 in Abschnitt 4.2.5).

¹⁵⁾ DIN 1054, 9.5.1, A (11)

¹⁶⁾ DIN 1054, 9.6, A (8)

¹⁷⁾ DIN 1054, A 2.4.2.1, A (8a)

¹⁸⁾ DIN EN 1990, 1.5.3.2

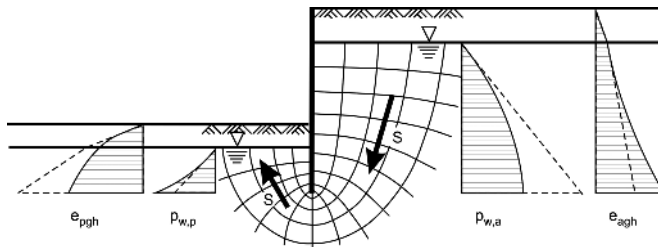
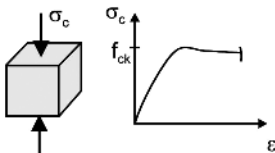


Bild 12 Auswirkung von Strömungskräften auf Erd- und Wasserdruck bei Umströmung des Wandfußes einer Baugrubenwand

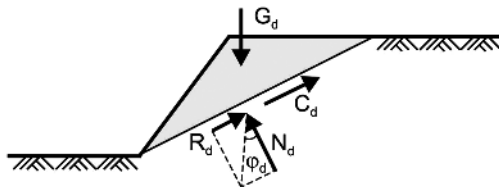
Widerstände

Widerstände werden durch die Festigkeit der beanspruchten Baustoffe oder des Baugrunds hervorgerufen. Als Beispiele für den Widerstand eines Baustoffs seien hier die Betondruckfestigkeit bei einer Schlitzwand oder der Materialwiderstand des Stahlzugglieds bei einem Anker genannt (Bild 13a). Die Festigkeit des Bodens wird durch die Scherparameter Reibung und Kohäsion bestimmt. Bei manchen Nachweisen werden als Widerstände – wie im Beispiel des abrutschenden Erdkeils – direkt die mit den Scherparametern berechneten Bemessungswerte der Reibungs- und Kohäsionskräfte in der Gleitfuge angesetzt (Bild 13b). Bei anderen Nachweisen werden auch aus den charakteristischen Scherparametern abgeleitete summarische Größen als Widerstände bezeichnet und in die Grenzzustandsgleichung eingesetzt. Typische Vertreter dieser Gruppe sind der Erdwiderstand, der Grundbruchwiderstand und der Pfahlwiderstand (Bild 13c).

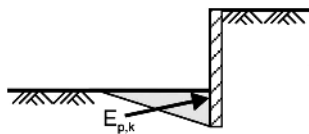
a) Materialfestigkeit



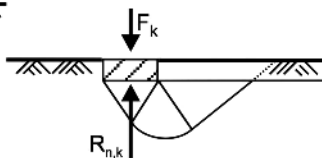
b) Gleitfugenkräfte (Reibung und Kohäsion)



c) Erdwiderstand



Grundbruchwiderstand



Pfahlwiderstand

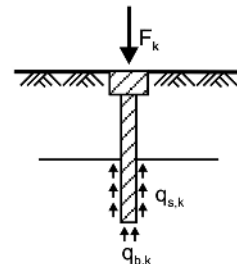


Bild 13 Widerstände; a) Materialwiderstand, b) direkter Scherwiderstand, c) abgeleitete Widerstände

Problematisch ist in der Geotechnik, dass sich Widerstände und Einwirkungen nicht immer eindeutig voneinander trennen lassen. Ein Beispiel hierfür stellt das schräg belastete Fundament in Bild 14 dar. Die Vertikalkomponente der Einwirkung P_v bewirkt in der Sohlfuge eine Normalkraft N , die ihrerseits die Aktivierung einer Reibungskraft R ermöglicht, die maximal den Betrag $R = N \cdot \tan \delta_s$ annehmen kann. Die Größe δ_s bezeichnet den Sohlreibungswinkel. Eine Steigerung der Einwirkung P bewirkt eine Steigerung der ungünstigen horizontalen Beanspruchung P_h , aber andererseits über den Vertikalanteil P_v auch den Aufbau einer vergrößerten Normalkraft N , die dann wiederum einen größeren Reibungswiderstand ermöglicht.

Dieses einfache Beispiel macht deutlich, dass in den einzelnen Grenzzustandsnachweisen klare Regelungen über den Ansatz von Einwirkungen und Widerständen getroffen werden müssen, um damit berechnete Sicherheiten auch bewerten und vergleichen zu können. Dies betrifft insbesondere auch die Art und Weise der Faktorisierung der Teilsicherheitsbeiwerte bei der Bildung der Bemessungsgrößen.

3.5.4 Bemessungssituationen

Die früheren Lastfälle, nach denen sich die Zahlenwerte der Teilsicherheitsfaktoren richteten und die in DIN 1054:2005-01 noch aus der Kombination von Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen gebildet wurden, sind in DIN 1054 in Anlehnung an EN 1990 durch Bemessungssituationen ersetzt worden, die jetzt die jeweilige Größe der Teilsicherheitsbeiwerte bestimmen. Unterschieden werden¹⁹⁾:

a) Bemessungssituation BS-P (Persistent situations)

Dieser Bemessungssituation werden ständige und regelmäßig während der Funktionszeit des Bauwerks auftretende veränderliche Einwirkungen zugeordnet.

b) Bemessungssituation BS-T (Transient situations)

Diese Bemessungssituation bezieht sich auf zeitlich begrenzte Zustände, wie sie bei der Herstellung oder Reparatur eines Bauwerks vorliegen. Auch Baugrubenkonstruktionen, soweit für einzelne Konstruktionsteile wie z. B. Steifen oder Anker nichts Anderes festgelegt ist, werden der Bemessungssituation BS-T zugeordnet. Des Weiteren zählen Situationen, bei denen neben den veränderlichen Einwirkungen der Bemessungssituation BS-P noch eine seltene, ungewöhnlich große oder planmäßig nur einmalige bzw. nie auftretende Einwirkung auftritt, ebenfalls zur Bemessungssituation BS-T.

c) Bemessungssituation BS-A (Accidental situations)

Die Bemessungssituation BS-A liegt vor, wenn neben den ständigen und veränderlichen Einwirkungen der Bemessungssituationen BS-P und BS-T noch außergewöhnliche Einwirkungen in Form von z. B. Feuer, extremem Hochwasser oder Ankerausfall auftreten. Die Bemessungssituation BS-A kann auch gegeben sein, wenn gleichzeitig mehrere, voneinander unabhängige, seltene, z. B. ungewöhnlich große oder planmäßig einmalige bzw. nie auftretende Einwirkungen vorhanden sind.

¹⁹⁾ DIN 1054 2.2, A (4)

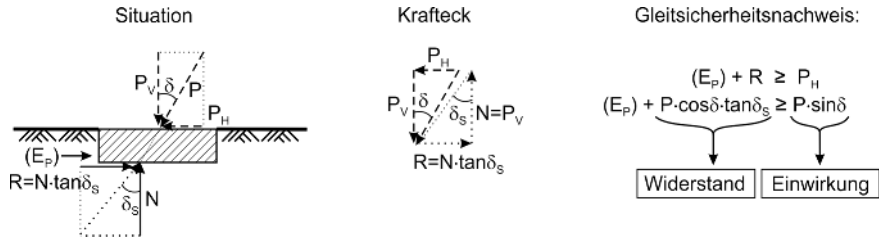


Bild 14 Nichteindeutigkeit von Einwirkungen und Widerständen bei einem schräg belasteten Fundament (Fundamenteigengewicht hier vernachlässigt)

d) Bemessungssituation BS-E (Earthquake)

Die Bemessungssituation BS-E liegt beim Auftreten von Erdbeben vor.

Bei der Bildung der verschiedenen Bemessungssituationen sind die Kombinationsregeln für die Einwirkungen für die einzelnen Bemessungssituationen unterschiedlich²⁰⁾:

Bemessungssituation BS-P und BS-T (Bezeichnungen s. Abschnitt 3.5.3):

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

Bemessungssituation BS-A:

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P_k + A_d + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i} \cdot (\psi_1 \text{ oder } \psi_2) + \sum_{i \geq 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

Darin bezeichnet A_d den Bemessungswert einer außergewöhnlichen Einwirkung, ψ_1 bzw. ψ_2 sind die Kombinationsbeiwerte zum Festlegen des häufigen Werts der veränderlichen Leiteinwirkung $Q_{k,1}$ bzw. zum Festlegen des quasi-ständigen Werts der veränderlichen Leiteinwirkung $Q_{k,1}$. Der Wert $\psi_{2,i}$ entspricht dem Kombinationsbeiwert zum Festlegen des quasi-ständigen Werts der i -ten veränderlichen Einwirkung $Q_{k,i}$.

Bemessungssituation BS-E:

$$E_d = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \gamma_P \cdot P_k + A_{Ed} + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i} \right\}$$

Darin bezeichnet A_{Ed} den Bemessungswert einer Einwirkung infolge Erdbeben.

²⁰⁾ DIN 1054 2.4.7.3.2 A (1b)

4 Grenzzustände und Nachweise

4.1 Allgemeines

DIN 1054 unterscheidet zwischen Grenzzuständen der Tragfähigkeit ULS (ultimate limit state) und dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS (serviceability limit state). Die Grenzzustände der Tragfähigkeit werden dabei noch weiter in die Grenzzustände UPL, HYD, EQU, STR und GEO unterteilt. Die Vorgehensweise, wann und wie die Teilsicherheitsbeiwerte in den jeweiligen Nachweisgleichungen faktorisiert werden, ist dabei unterschiedlich. Im Einzelnen werden folgende Grenzzustände der Tragfähigkeit unterschieden²¹⁾:

Grenzzustand EQU

Gleichgewichtsverlust des als starrer Körper angesehenen Bauwerks oder des Baugrunds, wobei die Festigkeiten der Baustoffe und des Baugrunds für den Widerstand nicht entscheidend sind.

Grenzzustand UPL

Verlust der Lagesicherheit des Bauwerks oder Baugrunds infolge Aufschwimmens (Auftrieb) oder anderer vertikaler Einwirkungen.

Grenzzustand HYD

Hydraulischer Grundbruch, innere Erosion und Piping im Boden, verursacht durch Strömungsgradienten.

Grenzzustand STR

Inneres Versagen oder sehr große Verformung des Tragwerks oder seiner Bauteile, wobei die Festigkeit der Baustoffe für den Widerstand entscheidend ist.

Grenzzustand GEO

Versagen oder sehr große Verformung des Baugrunds, wobei die Festigkeit der Locker- und Festgesteine für den Widerstand entscheidend ist.

4.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit ULS

4.2.1 Grenzzustand EQU

Der Grenzzustand EQU behandelt die Lagesicherheit eines Bauwerks und beschränkt sich in der Geotechnik auf den Kippnachweis, der nach DIN 1054²²⁾ vereinfacht durch Vergleich der destabilisierenden und der stabilisierenden Beanspruchungen bezogen auf die fiktive Kippkante am Fundamentrand geführt werden kann. Da die tatsächliche Drehachse innerhalb des Fundaments zu erwarten ist, sind aber weiterhin die Nachweise zur Beschränkung der Exzentrizität der Lastresultierenden zu beachten. Der Kippnachweis im Grenzzustand EQU ist erbracht, wenn zu jeder Zeit gilt, dass die destabilisierenden ungünstigen Bemessungsbeanspruchungen $E_{dst,d}$ kleiner sind als die

²¹⁾ DIN 1054, 2.4.7.1, (1)P

²²⁾ DIN 1054, 6.5.4, A(3)

Summe aus stabilisierenden, günstigen Bemessungsbeanspruchungen $E_{\text{stb,d}}$. Im allgemeinen Fall lautet die Nachweisgleichung:

$$E_{\text{dst,d}} \leq R_{\text{stb,d}} + T_d$$

Darin bezeichnet T_d den Bemessungswert eines Scher- bzw. Reibungswiderstands um den Bodenblock einer Zugpfahlgruppe oder in einer Fuge zwischen Boden und Bauwerk. Beim Kippnachweis eines Fundaments entfällt T_d (Bild 15).

Während beim Grenzzustand EQU destabilisierende mit stabilisierenden Beanspruchungen verglichen werden, werden bei den nachfolgend beschriebenen Nachweisen gegen Aufschwimmen UPL und Hydraulischen Grundbruch HYD destabilisierende und stabilisierende Einwirkungen miteinander verglichen.

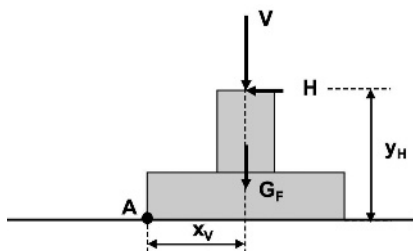
4.2.2 Grenzzustand UPL

Dieser Grenzzustand umfasst den bisherigen Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen. Generell werden bei diesem Nachweis die ungünstigen, destabilisierenden ständigen und veränderlichen vertikalen Bemessungseinwirkungen $V_{\text{dst,d}}$ mit den Bemessungsgrößen der günstigen, stabilisierenden und ständigen Einwirkungen $G_{\text{stb,d}}$ verglichen. Eventuell vorhandene zusätzliche Auftriebswiderstände R_d , wie z. B. Scherkräfte an den Seitenwänden oder Auftriebsanker, werden bei diesem Nachweis als günstige, stabilisierende Einwirkungen in die Grenzzustandsgleichung eingebracht. Diese sind allerdings zuvor durch Multiplikation mit einem Anpassungsfaktor η_z abzumindern. Ausreichende Sicherheit ist vorhanden, wenn zu jedem Zeitpunkt gilt:

$$V_{\text{dst,d}} \leq G_{\text{stb,d}} + R_d \quad \text{mit} \quad V_{\text{dst,d}} = G_{\text{dst,d}} + Q_{\text{dst,d}}$$

Bild 16 zeigt eine wasserdichte Baugrube mit tiefliegender Injektionssohle als typisches Beispiel für einen Nachweis im Grenzzustand UPL.

EQU: Beispiel Kippsicherheit eines Fundaments



Vergleich der stabilisierenden und destabilisierenden Momente um die Fundamentkante

$$E_{\text{dst,d}} \leq E_{\text{stb,d}} + T_d$$

$$\Sigma M_{A,\text{dst}} \leq \Sigma M_{A,\text{stb}}$$

$$H_k \cdot y_H \cdot \gamma_{\text{dst}} \leq (V_k + G_{F,k}) \cdot x_v \cdot \gamma_{\text{stb,d}}$$

$$H_k \cdot y_H \cdot 1,10 \leq (V_k + G_{F,k}) \cdot x_v \cdot 0,9 \text{ für BS-P}$$

Bild 15 Kippnachweis bei einem Fundament für den Grenzzustand EQU

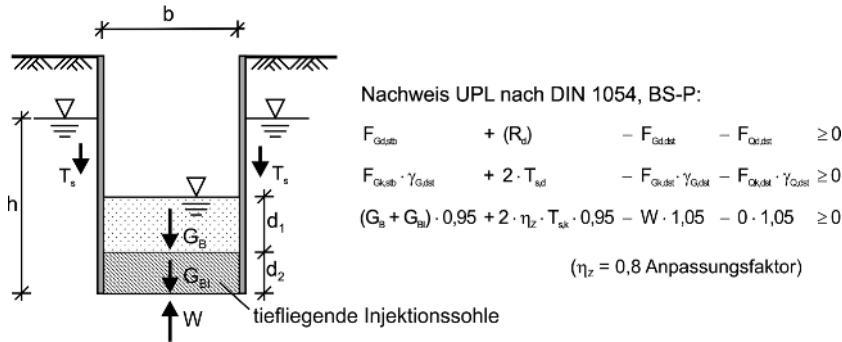


Bild 16 Nachweis gegen Aufschwimmen für eine wasserdichte Baugrube mit tiefliegender Injektionssohle im Grenzzustand UPL

Die Teilsicherheitsbeiwerte sind in DIN 1054, Tabelle A2.1 bzw. in Abschnitt 4.4 abgedruckt. Gleiches gilt für die Teilsicherheitsbeiwerte des nachfolgend beschriebenen Grenzzustands HYD.

4.2.3 Grenzzustand HYD

Dieser Grenzzustand bezieht sich auf den hydraulischen Grundbruch. Beim zugehörigen Nachweis wird ein durchströmtes Bodenprisma betrachtet und nachgewiesen, dass der Bemessungswert der darin wirkenden Strömungskraft $S_{dst,d}$ nicht größer ist als das dagegen wirkende Bodengewicht unter Auftrieb $G'_{stb,d}$. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn jederzeit gilt (Bild 17):

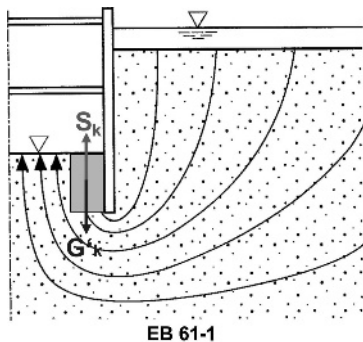
$$S_{dst,d} \leq G'_{stb,d}$$

Aufgrund der großen Gefahr einer rückschreitenden Erosion, die innerhalb kürzester Zeit zum Totalversagen führen kann, sind die Zahlenwerte der Teilsicherheitsbeiwerte beim Grenzzustand HYD größer als beim Grenzzustand UPL. Des Weiteren findet bei den Teilsicherheitsbeiwerten noch eine Differenzierung in Abhängigkeit der Bodenarten statt. Ungünstige Böden sind im Hinblick auf rückschreitende Erosion besonders gefährdet, weshalb hierfür noch einmal höhere Teilsicherheitsbeiwerte verwendet werden. In der Änderung DIN 1054/A2 vom November 2015 wurden die Teilsicherheitsbeiwerte für ungünstige Einwirkungen noch einmal gegenüber der Fassung von 2012 erhöht, um das früher einmal gegebene Sicherheitsniveau wieder zu erreichen.

4.2.4 Grenzzustand STR

Dieser Grenzzustand beschreibt das Materialversagen. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn zu jeder Zeit die Bemessungsbeanspruchungen E_d kleiner sind als die Bemessungswiderstände R_d :

$$E_d \leq R_d$$



Nachweis (HYD)

$$G'_{\text{stb},d} \geq S_{\text{dst},d}$$

$$G'_{k,\gamma_{\text{stb}}} \geq S_{k,\gamma_H}$$

Bemessungssituation BS-P günstiger Untergrund

$$G'_k \cdot 0,95 \geq S_k \cdot 1,45$$

Bemessungssituation BS-P ungünstiger Untergrund

$$G'_k \cdot 0,95 \geq S_k \cdot 1,90$$

Bild 17 Nachweis HYD gegen hydraulischen Grundbruch (in Anlehnung an EAB)

Die Bildung der Bemessungsbeanspruchungen und Bemessungswiderstände erfolgt formal nach den gleichen Regeln wie für den nachfolgend beschriebenen Grenzzustand GEO-2. Die Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte finden sich in den bauartspezifischen Normen und Empfehlungen. Explizit wird lediglich noch in den Anmerkungen zu Tabelle A 2.3 von DIN 1054:2012 (siehe Abschnitt 4.4, Tabelle 3) auf den in DIN EN 1992-1-1 angegebenen Sicherheitsbeiwert für Stahlglieder von $\gamma_M = 1,15$ hingewiesen, der aber dem in DIN 1054:2005-01 noch explizit in der Tabelle selbst angegebenen Wert entspricht. Ebenso findet sich für den Materialwiderstand von flexiblen Bewehrungselementen ein Hinweis auf die EB GEO.

4.2.5 Grenzzustand GEO

Der Grenzzustand GEO wird nachgewiesen, um Versagen durch große Verformungen oder nicht ausreichende Festigkeit des Baugrunds zu verhindern. Die Art und Weise, wie die Bemessungsgrößen gebildet und in die Grenzzustandsgleichung eingesetzt werden, ist von der geotechnischen Problemstellung abhängig. Insgesamt kennt DIN EN 1997-1 drei verschiedene Nachweisverfahren, von denen in Deutschland allerdings nur das Verfahren 2 in der Variante 2* und das Verfahren 3 zur Anwendung kommen. Zur sprachlichen Vereinfachung werden die damit nachgewiesenen Grenzzustände als GEO-2 und GEO-3 bezeichnet.

Grenzzustand GEO-2

Dieses Nachweisverfahren wird beim Nachweis eines ausreichenden Erdwiderstands, beim Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten und Grundbruch, beim Nachweis der Tragfähigkeit von Ankern und Pfählen, beim Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge und bei einzelnen Nachweisen im Zusammenhang mit der Standsicherheit von konstruktiven Böschungssicherungen (z. B. Frontelemente) verwendet.

Die Vorgehensweise beim Grenzzustand GEO-2 folgt dem Ablauf der Nachweisführung beim früher verwendeten Grenzzustand GZ 1B. Dabei werden nach Festlegung des statischen Systems erst die charakteristischen bzw. repräsentativen Beanspruchungen und getrennt davon die charakteristischen Widerstände bestimmt. Die Bestimmung der Beanspruchungen hat dabei getrennt nach ständigen Einwirkungen, regelmäßig auftretenden veränderlichen Einwirkungen und begleitenden veränderlichen Einwirkungen, bei denen ggf. die Kombinationsbeiwerte zu berücksichtigen sind, zu

erfolgen. Außerdem können die Beanspruchungen auch von den Bemessungswerten der Materialkennwerte abhängen. Formal ergeben sich die Bemessungsbeanspruchungen aus:

$$E_d = \gamma_E \cdot E \{ F_{rep}; X_K / \gamma_M; a_d \}$$

Ein Blick in Tabelle A 2.2 von DIN 1054 (siehe Abschnitt 4.4, Tabelle 2) für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M der geotechnischen Kenngrößen zeigt aber, dass die γ_M -Werte für den Grenzzustand GEO-2 gleich 1,0 sind, d. h. die Beanspruchungen werden tatsächlich zunächst nur mit charakteristischen Werten der Bodenkennwerte gebildet. Die Bemessungsbeanspruchungen werden dann aus diesen charakteristischen Beanspruchungen erst durch nachträgliche Multiplikation mit einem Teilsicherheitsbeiwert γ_E erhalten.

Entsprechend werden die Bemessungswerte der Widerstände durch Division mit den Teilsicherheitsbeiwerten der Tabelle A 2.3 von DIN 1054 (siehe Abschnitt 4.4, Tabelle 3) gebildet. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn für alle untersuchten Situationen

$$E_d \leq R_d$$

gilt.

In Bild 18 ist die Vorgehensweise bei der Nachweisführung im Grenzzustand GEO-2 am Beispiel einer einfach verankerten, frei aufgelagerten Spundwand dargestellt. Im Einzelnen sind folgende Schritte durchzuführen:

- Bestimmung der charakteristischen Beanspruchungen in Form der Ankerkraft $A_{h,k}$, der Erdauflegerkraft $B_{h,k}$ und des Spundwandmoments $M_{s,k}$ aus den charakteristischen Einwirkungen in Form des aktiven Erddrucks $E_{ah,k}$, jeweils getrennt für ständige und veränderliche Einwirkungen.
- Bestimmung der charakteristischen Widerstände in Form des Erdwiderstands $E_{ph,k}$ (berechnet mit den charakteristischen, d. h. nicht abgeminderten Scherfestigkeitsparametern), der charakteristischen Herausziehkraft des Ankers $Z_{a,k}$ und der Festigkeit des Stahlzugglieds $Z_{m,k}$ sowie des charakteristischen Bruchmoments der Spundwand $M_{R,k}$ aus dem Fließmoment M_F .
- Bildung der Bemessungsgrößen durch Multiplikation der Beanspruchungen mit den Teilsicherheitsbeiwerten von Tabelle A 2.1 von DIN 1054 (siehe Abschnitt 4.4, Tabelle 1) und Division der Widerstände durch die Teilsicherheitsbeiwerte von Tabelle A 2.3 von DIN 1054 (siehe Abschnitt 4.4, Tabelle 3).
- Überprüfung ausreichender Sicherheit durch Vergleich der Bemessungsgrößen. Diese Überprüfung muss jeweils für die Anker, das Erdaufleger und die Spundwand erfolgen.

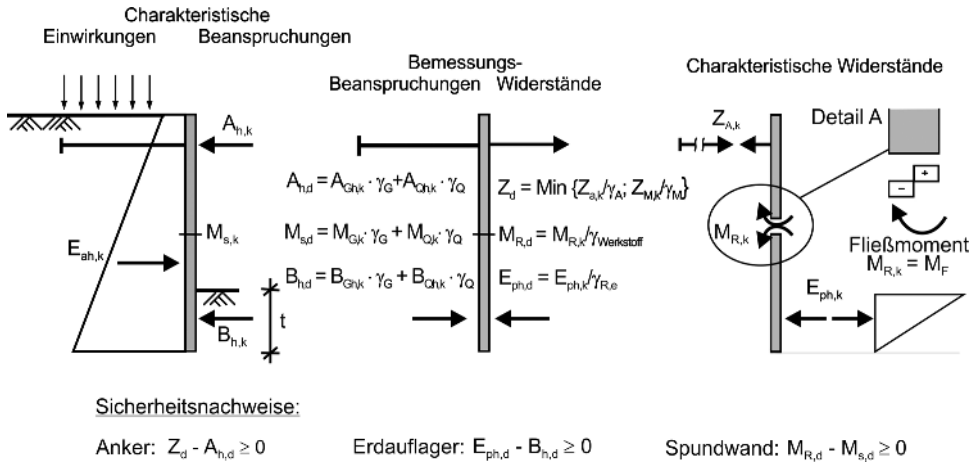


Bild 18 Vorgehensweise bei der Nachweisführung im Grenzzustand GEO-2 und STR für das Beispiel einer einfach verankerten, frei aufgelagerten Spundwand

Grenzzustand GEO-3

Das Nachweisverfahren 3 wird beim Nachweis der Gesamtstandsicherheit maßgebend. Ebenso wird es beim Nachweis der sogenannten äußeren Standsicherheit von konstruktiven Böschungssicherungen verwendet. Die Art der Nachweisführung entspricht dem bisherigen Vorgehen im Grenzzustand GZ 1C. Dies bedeutet, dass vor Beginn der eigentlichen Berechnung die charakteristischen Werte der Scherfestigkeit mit den Teilsicherheitsbeiwerten von Tabelle A 2.2 von DIN 1054 (siehe Abschnitt 4.4, Tabelle 2) in Bemessungswerte der Scherfestigkeit umgerechnet werden, d. h. die charakteristischen Scherfestigkeitsparameter $\tan\phi_k$ und c_k werden auf die Bemessungswerte $\tan\phi_d$ und c_d abgemindert. Ebenso werden die charakteristischen Einwirkungen mit den Teilsicherheitsbeiwerten auf die Bemessungseinwirkungen erhöht. Bei der Bildung der Bemessungsbeanspruchungen dürfen die Kombinationsregeln angewendet werden. Formal ergeben sich die Bemessungsbeanspruchungen aus

$$E_d = E \left\{ \gamma_F \cdot F_{rep}; X_K / \gamma_M; a_d \right\}$$

wobei zu beachten ist, dass die Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen $\gamma_G = 1,0$ sind, sodass eine echte Erhöhung nur bei den veränderlichen Einwirkungen stattfindet. Dies macht auch Sinn, da eine Erhöhung der ständigen Einwirkungen (bei der Gesamtstandsicherheit im Wesentlichen das Eigengewicht des Bodens) in gleicher Weise die Normalkraft und dabei auch die Reibungskraft in der Gleitfuge erhöhen würde und somit die eingebrachte Sicherheit bei den Einwirkungen daher nur vorgetäuscht wäre. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn die so berechneten Bemessungsbeanspruchungen immer kleiner sind als die mit reduzierten Scherparametern ermittelten Bemessungswiderstände:

$$E_d \leq R_d$$

Bild 19 zeigt beispielhaft die Vorgehensweise für eine Gleitkreisberechnung nach DIN 4084. Dabei ist dann z. B. nachzuweisen, dass die mit den Bemessungsscherparametern berechneten haltenden Momente $M_{H,d}$ immer größer bleiben als die treibenden Momente $M_{T,d}$ aus den Bemessungseinwirkungen.

4.3 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS

Allgemein muss im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden, dass $E_d \leq C_d$ gilt²³⁾. Mit dem Symbol E_d für die Auswirkung von Einwirkungen werden hier in der Regel Verformungsgrößen verstanden. Diese müssen kleiner bleiben als die Grenzwerte C_d , die für die untersuchte Konstruktion gerade noch als verträglich erachtet werden. Die Zahlenwerte für die Teilsicherheitsbeiwerte werden in der Regel zu 1,0 gesetzt, was bedeutet, dass die Verformungen v mit charakteristischen Größen berechnet werden. Es sind die ständigen sowie die quasi-ständigen veränderlichen Einwirkungen zu berücksichtigen, die sich nach den Kombinationsregeln aus

$$v = v \left(\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + \sum_{k \geq 1} P_k + \sum_{i \geq 1} \psi_i \cdot Q_{k,i} \right)$$

ergeben. Dabei sind die Kombinationswerte ψ_i so zu wählen, dass die setzungswirksamen Anteile der Lasten in Abhängigkeit vom Zeitsetzungsverhalten der beteiligten Böden zutreffend und auf der sicheren Seite liegend erfasst werden. Sofern die bei den Nachweisen STR bzw. GEO-2 zugrunde gelegten Einwirkungen ausreichend genau den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit wiedergeben, kann auf die bei diesen Nachweisen ermittelten Verformungen zurückgegriffen werden.

Dies ist ein großer Vorteil gegenüber den alternativen Nachweiskonzepten des EC 7-1, bei denen ähnlich wie beim Nachweis für den Grenzzustand GEO-3 vorab die Bemessungsgrößen gebildet werden. Dies bedingt, dass für den Nachweis des Grenzzustands SLS zusätzlich eine komplette Neuberechnung des Systems mit charakteristischen Größen durchgeführt werden muss.

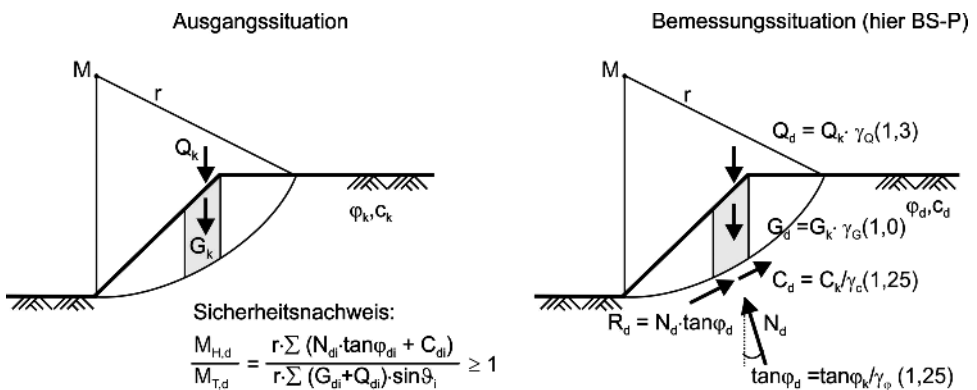


Bild 19 Vorgehensweise bei der Nachweisführung im Grenzzustand GEO-3 für das Beispiel eines Geländebruchs

²³⁾ DIN 1054 A 2.4.8 (1)P

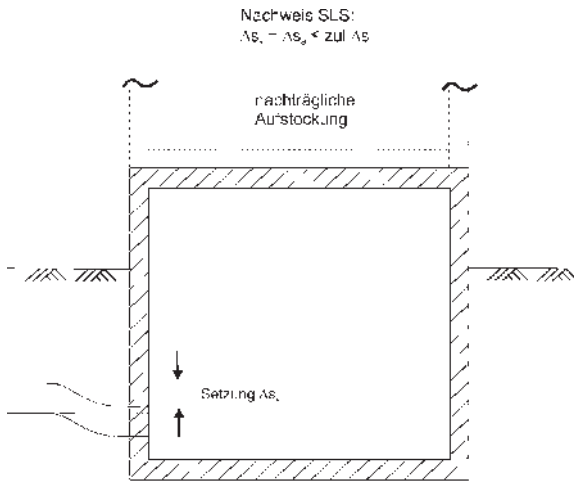


Bild 20 Nachweis des Grenzzustands der Gebrauchstauglichkeit SLS am Beispiel der Zerstörung einer Hausanschlussleitung durch zu große Setzungen infolge nachträglicher Aufstockung eines Gebäudes

Vorgaben, wie groß die Verformungen im Einzelnen sein dürfen, lassen sich nicht generell treffen. Dies hängt vielmehr von der Art des Bauwerks und den Anforderungen aus seiner Nutzung ab. Für den Nachweis des Grenzzustands SLS müssen daher vorab vom Planer des Bauwerks zulässige Setzungen, Verdrehungen etc. angegeben werden. Ein typisches Beispiel zeigt die Situation in Bild 20, bei der ein Haus nachträglich aufgestockt wird und die dadurch bedingten Zusatzsetzungen möglicherweise die bereits vorhandenen Anschlüsse und Durchführungen der Hausanschlussleitungen gefährden.

4.4 Teilsicherheitsbeiwerte nach Normenhandbuch

DIN EN 1997-1 enthält in Anhang A umfangreiche Tabellen mit Teilsicherheitsbeiwerten für die Einwirkungen, die geotechnischen Kenngrößen und die Widerstände, wobei innerhalb einer Tabelle noch verschiedene Wertegruppen mit unterschiedlichen Zahlenwerten für die Teilsicherheitsbeiwerte enthalten sind. Für die einzelnen geotechnischen Situationen ist dann in dem entsprechenden Abschnitt von DIN EN 1997-1 angegeben, welche konkrete Wertegruppe bei einem speziellen Nachweis zu verwenden ist.

In DIN 1054 wird von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, die Teilsicherheitsbeiwerte national zu regeln. Die entsprechenden Tabellen orientieren sich an den beiden bisherigen Tabellen von DIN 1054:2005-01, wobei aber die neuen Bezeichnungen für die Grenzzustände aufgenommen und die bisherigen Lastfälle durch die Bemessungssituationen ersetzt werden. Außerdem werden die Teilsicherheitsbeiwerte für die Scherparameter des Bodens in einer eigenen Tabelle für geotechnische Kenngrößen erfasst. Da darin alle für ein geotechnisches Versagen relevanten Grenzzustände aufgelistet sind, bestehen jetzt in Verbindung mit der vorgegebenen Bestimmungsgleichung für die Bemessungsbeanspruchungen auch keine Unklarheiten mehr darüber, wie in den einzelnen Grenzzuständen reibungs- und kohäsionsabhängige Größen z.B. bei der Erddruckbestimmung Eingang finden sollen. Die folgenden Tabellen 1 bis 3 enthalten in Anlehnung an die Tabellen A 2.1 bis A 2.3 von DIN 1054 die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen γ_F bzw. Beanspruchungen γ_E , geotechnische Kenngrößen γ_M und Widerstände γ_R . Die Beiwerte γ_F , γ_E , γ_M und γ_R bezeichnen dabei den Oberbegriff für einen auf den jeweiligen Einzelfall zu

beziehenden Teilsicherheitswert. Die durch die Änderung DIN 1054/A2:2015-11 vorgenommene Korrektur der Teilsicherheitsbeiwerte für Strömungskräfte im Grenzzustand HYP ist darin bereits aufgenommen und durch Fettdruck hervorgehoben.

Tabelle 1 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen
(in Anlehnung an Tabelle A 2.1 von DIN 1054/A2:2015-11)

Einwirkung und Beanspruchung	Formel- zeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen				
Destabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stb}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stb}$	0	0	0
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	γ_H	1,45	1,45	1,25
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	1,90	1,90	1,45
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	1,25	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen ^{b)}	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruchdruck	$\gamma_{G,E0}$	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	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(2); Pfähle mit überwiegender Zugbeanspruchung bei gleichzeitig wirkenden Druck- und Zugkräften

Anmerkung: In der Bemessungssituation BS-E werden gemäß DIN 1054, Anmerkung 3 zu Tabelle A 2.1 nach DIN EN 1990 keine Teilsicherheitswerte angesetzt.

Tabelle 2 Teilsicherheitsbeiwerte für geotechnische Kenngrößen
(in Anlehnung an Tabelle A 2.2 von DIN 1054:2010-12)

Bodenkenngröße	Formel- zeichen	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

Anmerkung: In der Bemessungssituation BS-E werden gemäß DIN 1054, Anmerkung zu Tabelle A 2.2 nach DIN EN 1990 keine Teilsicherheitswerte angesetzt.

Tabelle 3 Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände (in Anlehnung an Tabelle A 2.3 von DIN 1054:2010-12)

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				
Spitzenwiderstand	γ_b	1,10	1,10	1,10
Mantelreibung (Druck)	γ_b	1,10	1,10	1,10
Gesamtwiderstand (Druck)	γ_t	1,10	1,10	1,10
Mantelreibung (Zug)	$\gamma_{s,t}$	1,15	1,15	1,15
Pfahlwiderstände auf der Grundlage von Erfahrungswerten				
Druckpfähle	$\gamma_b, \gamma_b, \gamma_t$	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50
Herauszieh widerstände				
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				
Herauszieh widerstände				
siehe STR und GEO-2				

Anmerkung 1: Der Teilsicherheitsbeiwert für den Materialwiderstand des Stahlglieds 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 EBGE0 angegeben.

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

5 Zukünftige Normung im Umfeld des EC 7

5.1 Entwicklung in Deutschland

Nach Erscheinen der ersten Generation der Eurocodes machte sich in Deutschland in der Praxis insbesondere bei den die Normen anwendenden Baufirmen und Ingenieurbüros schon sehr bald ein starker Unmut bemerkbar. Als Gründe wurden der drastisch gestiegene Umfang, die vielen, auch nicht immer verständlichen und eindeutigen Regelungen, sowie die Vielzahl an nationalen Festlegungen genannt, die der eigentlichen Intension der Eurocodes, ein für ganz Europa einheitliches Normenwerk zu schaffen, eher entgegenwirkten. In der Diskussion unter den Anwendern der Normung zeigte sich dann schnell die Einsicht, dass die Schaffung der Normung in der Vergangenheit nicht optimal gelaufen war und die Normenarbeit zukünftig professionalisiert werden müsse, da sie wie bisher auf rein ehrenamtlicher Basis für die zweite Generation der Eurocodes nicht mehr zu leisten sein würde. Professionalisierung bedeutete, die Schaffung von Normen

wie einen Ingenieurauftrag zu sehen, der mit fester Zielvorgabe innerhalb eines bestimmten Zeitraums abzuwickeln war und dementsprechend auch bezahlt werden musste.

Um dies zu ermöglichen, wurde am 13. Januar 2011 auf Initiative des Hauptverbands der Deutschen Bauindustrie, des Verbandes der Beratenden Ingenieure VBI sowie des Verbandes der Prüflingenieur e vpi die Initiative PraxisRegelnBau e. V. (PRB) gegründet, der sich zahlreiche Fachverbände anschlossen und die sich auch finanziell beteiligten (PRB, 2011) [6]. Seitens der Geotechnik trat die Deutsche Gesellschaft für Geotechnik DGGT e. V. der Initiative bei.

Es wurden sechs Arbeitsgruppen gebildet, die sich mit Grundlagen und Einwirkungen (EC 0 und EC 1) sowie mit den jeweiligen Fachgewerken Betonbau (EC 2), Stahl- und Verbundbau (EC 3 und EC 4), Holzbau (EC 5), Mauerwerksbau (EC 6) und Geotechnik (EC 7) beschäftigen. Innerhalb der Projektgruppe 6 „Geotechnik“ wurden dabei vier Arbeitspakete aufgegriffen, wobei die Arbeitspakete AP 1 bis AP 3 mittlerweile als abgeschlossen betrachtet werden können:

- AP 1:** Neuordnung der Regelungen zur Planung und Bewertung von Baugrunduntersuchungen im EC 7-1 und EC 7-2,
- AP 2:** Straffung des EC 7-2 und der DIN 4020,
- AP 3:** Straffung des EC 7-1 und der DIN 1054,
- AP 4:** Harmonisierung der Nachweisverfahren des EC 7-1.

Im AP 1 erfolgte eine saubere Trennung der Regelungen, die zur eigentlichen Baugrunderkundung und damit in den EC 7-2 gehören und denjenigen zur Festlegung der charakteristischen Werte, die ihren Platz im EC 7-1 haben. Nach dieser grundlegenden Neuaufteilung konnten in den Arbeitspaketen AP 2 und AP 3 durch Streichung von Doppelregelungen, Entfernen von Regelungen, die an anderem Ort genormt sind (z. B. Versuchsnormen), Weglassen von Lehrbuchtexten und Neugliederung dergestalt, dass in den einzelnen Nachweiskapiteln sich wiederholende Ausführungen nur noch einmal in einem Grundsatzkapitel erläutert wurden, erhebliche Einsparungen bezüglich des Textumfangs erreicht werden. So ließ sich der Textumfang des Normenhandbuchs zum EC 7-2 auf 20 % des ursprünglichen Umfangs kürzen und der des EC 7-1 immer noch auf beachtliche 60 %. Das so überarbeitete Normenhandbuch zum EC 7-1 wurde dem zuständigen Normenausschuss für Sicherheit im Erd- und Grundbau vorgelegt und positiv beschieden. Es wird den Mitgliedern der DGGT auf Anforderung zur Verfügung gestellt. Für die kommenden Diskussionen bei der Neugestaltung der Eurocodes stellt das überarbeitete Normenhandbuch eine fundierte Grundlage dar, um die deutschen Positionen in dem nicht einfachen europäischen Findungsprozess für ein neues Normenwerk darzulegen.

Dem gleichen Zweck dienen die noch weiter laufenden Arbeiten des Arbeitspakets 4, innerhalb dessen umfangreiche Vergleichsrechnungen zu den nach DIN EN 1997-1 möglichen unterschiedlichen Nachweisverfahren für verschiedene geotechnische Anwendungen durchgeführt wurden. Damit konnten prinzipielle Unterschiede bei den einzelnen Nachweisverfahren aufgezeigt werden, was die Diskussion um eine Harmonisierung der Nachweisverfahren sicher erleichtert. Allerdings zeigte sich in der bisherigen Diskussion mit den europäischen Kollegen auch, dass beispielsweise die traditionell unterschiedliche Herangehensweise bei der Festlegung der charakteristischen Werte zum Teil größere Unterschiede in den Ergebnissen bewirkt als die alleinige An-

wendung der unterschiedlichen Nachweisverfahren bei sonst gleichen Randbedingungen. In diesem Punkt besteht noch gewaltiger Abstimmungsbedarf innerhalb Europas.

5.2 Entwicklung in Europa

Die Eurocodes werden alle paar Jahre einer regelmäßigen Überprüfung unterzogen. Ein solches „systematic review“ wurde in den vergangenen Jahren bereits in Gang gesetzt und 2015 abgeschlossen. Durch das Mandat 515 der Europäischen Kommission (EU, 2012) [7] wurde dem Technischen Komitee TC 250, dem die Ausarbeitung der Eurocodes obliegt, auch offiziell der Auftrag erteilt, diese zu überarbeiten. Die wesentlichen Aufgaben dieses Auftrags liegen darin,

- eine Verbesserung der Nutzerfreundlichkeit durch weitgehend einheitliche Gliederung aller Eurocodes zu schaffen,
- eine Straffung durch Wegfall von Wiederholungen und erläuternden Lehrbuchtexten vorzunehmen sowie
- eine Reduzierung der national zu bestimmenden Parameter (NDP = national determined parameters) und derzeit noch optionalen Nachweisverfahren zu erreichen.

Bei der Erarbeitung der Neuregelungen sollen die Erfahrungen der Nutzer der Eurocodes aus Europa einbezogen werden. Im Bereich der Geotechnik, deren Belange durch das Subkomitee SC 7 wahrgenommen werden, hatten sich zu diesem Zweck insgesamt 15 sogenannte Evolution Groups (EG) gebildet, deren Ziel es war, durch Abgleich der Erfahrungen aus den einzelnen Ländern und durch Erstellung von Vergleichsrechnungen, Anregungen und Vorgaben für die zukünftige Gestaltung der Eurocodes zu geben. Die EGs standen Experten aus ganz Europa offen. Seitens Deutschland waren die EGs bis auf die Gruppe Seismic design durchgehend besetzt. Im Einzelnen beschäftigten sich die EGs mit den nachfolgend aufgelisteten Themen. Die durch Fettdruck hervorgehobenen Gruppen standen dabei unter deutscher Leitung.

- 0 Management + oversight
- 1 Anchors
- 2 Ease of use**
- 3 Model solutions
- 4 Numerical methods
- 5 Reinforced soil
- 6 Seismic design
- 7 Pile design**
- 8 Harmonization
- 9 Water pressures**
- 10 Calculation models**
- 11 Characterization
- 12 nicht besetzt
- 13 Rock mechanics
- 14 Ground improvement

Wie der Aufstellung zu entnehmen ist, wurden in den EGs auch Themen wie Bewehrte Erde, Felsmechanik und Baugrundverbesserung behandelt, die bisher nicht Eingang in DIN EN 1997-1 gefunden hatten, zukünftig aber wohl aufgenommen werden.

Im Zuge des Systematic Reviews zeichnete sich schon bald ab, dass der zukünftige EC 7 in drei statt bisher zwei Teile gegliedert sein wird. Diese sind:

- EC 7-1 Allgemeine Regelungen
- EC 7-2 Baugrunduntersuchungen
- EC 7-3 Geotechnische Nachweise

Entsprechend dieser Neugliederung wurden dann im SC 7 drei Managementgruppen WG 1 bis WG 3 eingerichtet, die die Bearbeitung der Neufassung des EC 7 leiten. Zu diesem Zweck wurden einzelne Aufgabenfelder (Tasks) definiert, für die einzelne Task-Groups (TG) verantwortlich zeichnen. Sie setzen sich aus zum Teil über dreißig Mitgliedern aus verschiedenen Ländern zusammen, die von den einzelnen Ländern benannt wurden. Ihre Aufgabe besteht darin, Vorgaben für die sogenannten Project-Teams (PT) zu machen und deren Ergebnisse kritisch zu prüfen. In den PTs wird die eigentliche Erarbeitung der neuen Normentexte vorgenommen. Sie bestehen aus fünf bis sechs Mitgliedern aus unterschiedlichen Ländern Europas, die einen offiziellen Auftrag der jeweiligen WG erhalten, ihre Arbeit in einem vertraglich fixierten Zeitrahmen und definierter Qualität abzuschließen. Hierfür erhalten sie einen finanziellen Ausgleich. Die Mitglieder der PTs mussten ein einheitliches Bewerbungsverfahren durchlaufen. Mitte 2016 waren die Project-Teams PT 3 bis PT 6 noch nicht besetzt. Eine Übersicht über die einzelnen TGs und PTs zeigt Bild 21.

Die Installation der ersten beiden Projekt-Teams PT 1 und PT 2 erfolgte 2015 mit einjähriger Verzögerung. Die übrigen werden mit einer gewissen zeitlichen Staffelung eingerichtet. Durch die Anfangsverzögerung hat sich das ursprünglich geplante Enddatum für die Neufassung des EC 7 von 2019 auf vorerst 2020 verschoben.

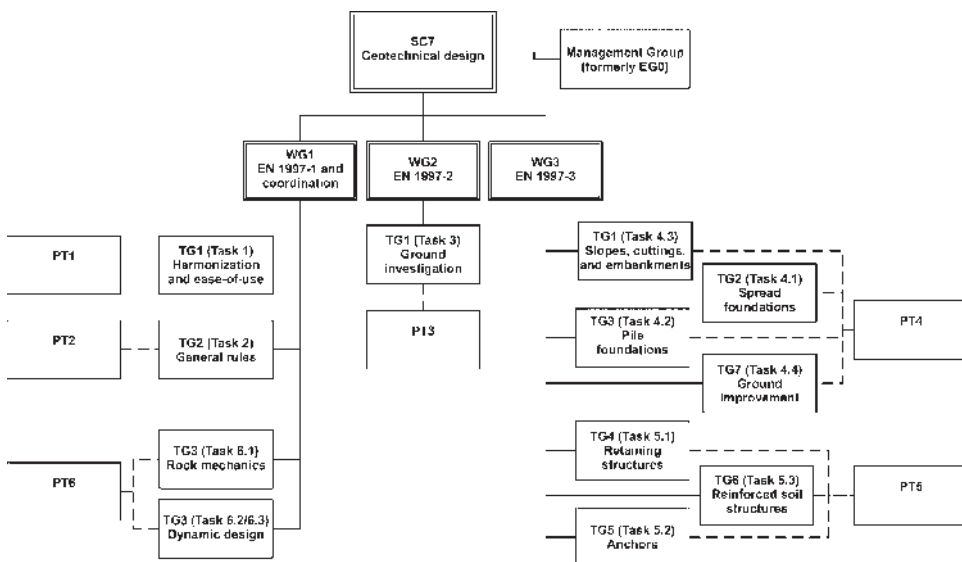


Bild 21 Übersicht über die Neugliederung des EC 7 mit den installierten Task-Groups und Project-Teams

6 Zitierte Normen und Empfehlungen

Alle DIN-Normen sind im Beuth-Verlag erschienen.

DIN 1054:1976-11	Baugrund – Zulässige Belastung des Baugrunds
DIN V 1054-100:1996-04	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Teil 100: Berechnung nach dem Konzept mit Teilsicherheitsbeiwerten
E DIN 1054:2000-12	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 1054:2003-01	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 1054:2005-01	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 1054:2010-12	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau
DIN 1054/A2:2015-11	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau; Änderung 2
DIN EN 1537:2014-07 (Entwurf)	Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verpressanker
DIN EN 1990:2010-12	Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung
DIN EN 1991-1-1:2010-12	Eurocode 1 – Einwirkungen auf Tragwerke – Teil-1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke – Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau
DIN EN 1992-1-1:2011-01	Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken – Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau
DIN V-ENV 1997-1:1996-04	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
DIN EN 1997-1:2005-10	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
DIN EN 1997-1:2009-09	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
DIN EN 1997-1:2014-03	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln
DIN EN 1997-2:2007-10	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds
DIN EN 1997-2:2010-10	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds
DIN EN 1997-2/NA:2010-12	Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds

DIN EN 1998-5:2010-12	Eurocode 8 – Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 5: Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte
DIN EN 1998-5/NA:2011-07	Nationaler Anhang – Eurocode 8: Auslegung von Bauwerken gegen Erdbeben – Teil 5: Gründungen, Stützbauwerke und geotechnische Aspekte
DIN 4017:1979-08	Baugrund – Grundbruchberechnung von lotrecht mittig belasteten Flachgründungen
DIN 4017:2006-03	Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flachgründungen
DIN 4019:2015-05	Baugrund – Setzungsberechnungen
DIN 4020:2003-09	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke
DIN 4020:2010-12	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke – Ergänzende Regelungen zu DIN-EN-1997-2
DIN 4084:2009-11	Baugrund – Geländebruchberechnungen
DIN 4085:2011-05	Baugrund – Berechnung des Erddrucks
DIN EN ISO 14688:2013-12	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden – Teil 1 und 2
DIN SPEC 18537:2016-09	Ergänzende Festlegungen zu DIN EN 1537:2014-07 (Entwurf), Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verpressanker
DIN EN ISO 22475-1:2007-01	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen – Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung
DIN EN ISO 22476	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Felduntersuchungen – Teil 1 bis Teil 12, unterschiedliche Erscheinungsdaten
EAB	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 3. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 1994
EAB	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 4. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 2006
EAB	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 5. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 2012
EA-Pfähle	Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, 2. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 2012
EAU	Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinlassungen“ Häfen und Wasserstraßen, 9. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 1996

EAU	Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen, 10. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 2004
EAU	Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, 11. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 2012
EBGEO	Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, 2. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 2010
Normenhandbuch	Handbuch Eurocode 7, Geotechnische Bemessung, Band 1: Allgemeine Regeln, 1. Auflage, Beuth Verlag, 2011
Normenhandbuch	Handbuch Eurocode 7, Geotechnische Bemessung, Band 2: Erkundung und Untersuchung, 1. Auflage, Beuth Verlag, 2011

7 Literatur

- [1] Grünberg, J.; Lohaus, L.; Lierse, J. (Hrsg.): DIN 1045 Teil 1–3, Stahlbeton- und Spannbetontragwerke, Erläuterungen und Anwendungen. Springer-Verlag, Januar 2002.
- [2] Ruppert, F.-R.: Bedeutung und Inhalt der Norm 4020 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke“, Ausgabe September 2003. In: BAW-Kolloquium „Neue Normen in der Geotechnik“, Leineschloss Hannover, 15. März 2007.
- [3] Schuppener, B.; Ruppert, F.-R.: Zusammenführung von europäischen und deutschen Normen Eurocode 7, DIN 1054 und DIN 4020. Bautechnik 84 (2007), Heft 9, S. 636–640.
- [4] Weißenbach, A.: Sicherheitsnachweise für Böschungen und Stützbauwerke nach dem Teilsicherheitskonzept – Entwurf EN 1997-1 und Entwurf DIN 1054 neu. In: Fachveranstaltung Haus der Technik e. V. Essen, 23./24.11.2000.
- [5] Ziegler, M.: Geotechnische Nachweise nach EC 7 und DIN 1054, 3. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, Berlin 2012.
- [6] PRB: Pressemitteilung zur Gründung der Initiative Praxisgerechte Regelwerke im Bauwesen. http://www.initiative-prb.de/Die_Initiative/Presseerklaerung_PRB.pdf?id=.
- [7] EU: Mandate M/515 for amending existing Eurocodes and extending the scope of structural Eurocodes. <http://ec.europa.eu/growth/tools-databases/mandates/index.cfm?fuseaction=search.detail&id=523#>.
- [8] EAB Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, 5. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 2012.
- [9] EAU Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, 11. Auflage. Ernst & Sohn, Berlin 2012.