

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 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 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 muss man sich bewusst machen, dass die Verbesserung eines bereits hohen Sicherheitsniveaus ungleich schwieriger und vor allem kostspieliger ist, als ein entsprechender Sicherheitszuwachs von geringerem Niveau aus. Es

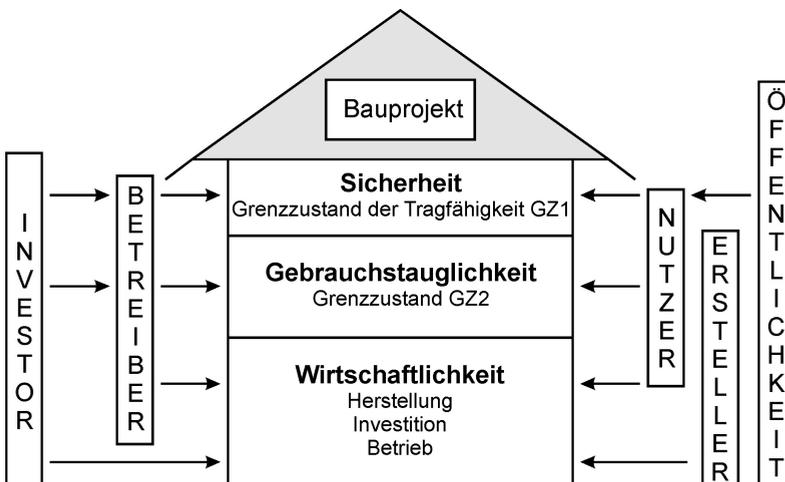


Bild 1. Anforderungen und Beteiligte bei einem Bauprojekt

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 im Wesentlichen aus der mit Unschärfen behafteten Einschätzung der Einwirkungen und der ihnen entgegenwirkenden Widerstände sowie den zwangsläufigen Vereinfachungen bei der Abbildung des 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, das dabei letztlich zum entscheidenden Auslöser wurde.

Eine Besonderheit ergibt sich zudem im Bereich der Geotechnik bei der Festlegung der den Einwirkungen entgegenwirkenden Widerstände im Boden. Denn der Baustoff des Geotechnikers 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. Sondierungen und geophysikalische Methoden tragen zwar dazu bei, 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 also 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 auch in absehbarer Zeit kaum gelingen, ein für alle denkbaren Belastungspfade allgemein gültiges Stoffgesetz für die Beziehung zwischen Spannungen und Verzerrungen 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, wirkt sich die durch das Stoffgesetz verursachte Unsicherheit besonders bei der Bestimmung von Schnittgrößen und Verformungen im Gebrauchszustand aus. Die Komplexität des für solche Berechnungen gewählten Rechenmodells kann dabei nicht über dieses Grundproblem hinweghelfen, denn auch jede von den Randbedingungen und der Diskretisierung her noch so realitätsnah aufgebaute Finite-Elemente-Berechnung kann nicht besser sein als die Qualität des 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 objektive Größe darstellt, sondern dass Wissenshintergrund und Erfahrung von zwei verschiedenen Menschen unterschiedlich ausgeprägt sind, sodass die gleiche Aufgabe möglicherweise unterschiedlich 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 die neue Norm DIN 1054 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“ zu verstehen. Wer sich näher mit ihr beschäftigt, wird feststellen, dass es nicht Sinn der Norm ist, anhand ihrer 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 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, sind die tatsächlichen Zahlenwerte für die charakteristischen Größen und wie das Rechenmodell im Einzelnen aufgebaut wird. Hierfür werden allenfalls Hinweise gegeben. Es bleibt daher 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 Technische Komitees (TC), die für bestimmte Teilbereiche Unterkomitees bilden, 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

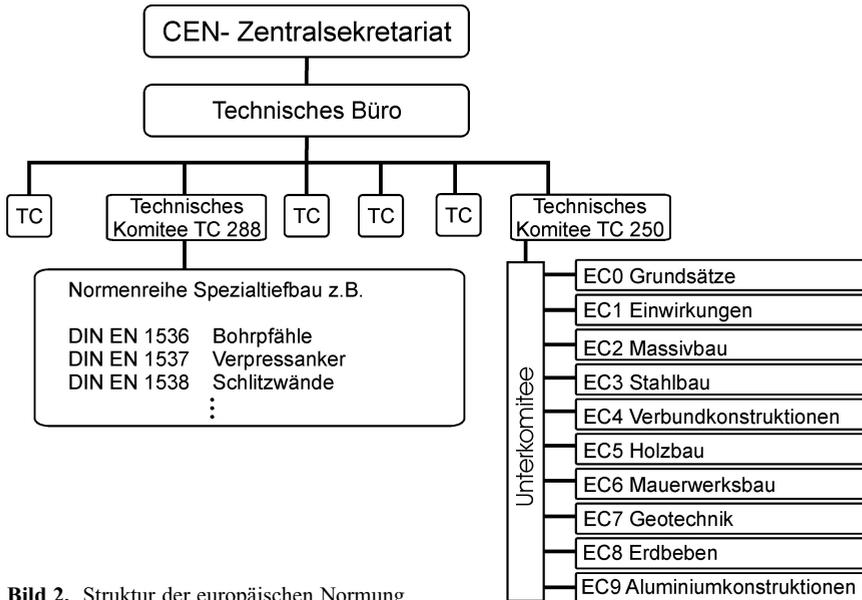


Bild 2. Struktur der europäischen Normung

Eurocodes EC 2 bis EC 9 die fachspezifischen Regelungen. Maßgebend für die Sicherheitsbetrachtungen in der 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 Begriff „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)“ im Einzelnen nur die verschiedenen Spezialgewerke abhandeln und die bekannten Ausführungsnormen, die z. T. auch noch Regelungen zur Berechnung und Bestimmung der Sicherheit enthalten, ersetzen. So löst beispielsweise DIN EN 1536 aus dieser Normenreihe die bekannte Bohrfahlnorm DIN 4014 ab.

Im Jahr 1994 erschien die englische Ausgabe des EC 7-1. Zwei Jahre später wurde die deutsche Übersetzung als deutsche und europäische Vornorm 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 Vornorm veröffentlicht. In der neueren Nomenklatur wird das NAD als Nationaler Anhang (NA) bezeichnet.

Der NA wird durch Nationale Anwendungsregeln ergänzt. 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 Konzept des Grenzzustands GZ 1B 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 Widerstände zunächst mit charakteristischen Größen berechnet. Erst unmittelbar vor der Durchführung des Sicherheitsnachweises werden dann mithilfe von Teilsicherheitsbeiwerten die Beanspruchungen erhöht und die Widerstände vermindert.

Nach DIN V ENV 1997-1 in der Fassung von 1996 erfolgen diese Nachweise hingegen nach dem Grenzzustand GZ 1C, bei dem vor der eigentlichen Berechnung des Tragwerks bereits Bemessungsgrößen gebildet werden, indem die Scherparameter abgemindert und die Einwirkungen erhöht werden. Diese Vorgehensweise wurde in Deutschland im Wesentlichen nur für den Nachweis der Geländebruchsicherheit übernommen. Aufgrund der Tatsache, dass Einwirkungen, wie z. B. der Erddruck, und Widerstände, wie z. B. der Grundbruchwiderstand, nichtlinear vom Reibungswinkel abhängen, erhält man 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 [5].

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 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 Jahr 1976 verwendet werden konnte, ist Ende des Jahres 2007 abgelaufen. Damit ist das Teilsicherheitskonzept von DIN 1054 für den Anwender in Deutschland verbindlich.

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.

Allerdings waren zum Zeitpunkt der bauaufsichtlichen Einführung noch nicht alle begleitenden Normen und Empfehlungen auf das neue Konzept umgestellt, sodass DIN 1054 Übergangsregelungen enthält, die vorgeben, wie bis zum endgültigen Erscheinen der anzupassenden Regelwerke verfahren werden soll. Anhang F enthält dabei die Regelungen für Normen nach dem alten Nachweiskonzept mit globalen Sicherheitswerten, während Anhang G für Technische Baubestimmungen gilt. Danach sind bis zum Erscheinen eines an das neue Nachweiskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten angepassten Regelwerks weiterhin noch die am alten globalen Sicherheitskonzept orientierten Regelwerke zu beachten. Allerdings müssen dabei die alten Regelwerke in Verbindung mit DIN 1054 an das neue Teilsicherheitskonzept angepasst werden und zwar weitgehend durch den Anwender selbst. Mittlerweile sind aber einige der in den Übergangsbestimmungen genannten wichtigen Begleitwerke wie die EAU²⁾, die EAB³⁾, DIN 4017⁴⁾ oder DIN 4085⁵⁾ bereits in überarbeiteter und an DIN 1054 angepasster Form erschienen, sodass mögliche Schwierigkeiten bei der Anpassung weitgehend ausgeräumt sein dürften.

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 sind jetzt bei den Sicherheitsnachweisen drei verschiedene Nachweisverfahren erlaubt, die auch die deutsche Methodik berücksichtigen. Damit ist DIN 1054 zwar weitgehend kompatibel mit DIN EN 1997-1, muss aber in der jetzigen Form als konkurrierende nationale Norm nach einer Übergangszeit zurückgezogen werden.

Denn zukünftig ist neben dem EC 7-1 nur noch ein Nationaler Anhang (NA) zu DIN EN 1997-1 mit entsprechenden Anwendungs- bzw. Ergänzungsregelungen erlaubt. Darin dürfen nur noch Dinge aufgenommen sein, die in DIN EN 1997-1 nicht 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 bedeutet, dass DIN 1054 in der Fassung von 2005 grundlegend überarbeitet werden muss, indem all die Inhalte entfernt werden, die bereits im Eurocode geregelt sind. Die Norm wird daher zu einer Rumpfnorm schrumpfen, die nur noch die national zu regelnden Elemente enthält. Anfänglich war die Herausgabe dieser Rumpfnorm nach dem Ende der 2005 begonnenen zweijährigen Kalibrierungsphase noch im Jahr 2007 als DIN 1054:2007 geplant. Aufgrund der langwierigen Abstimmungen hat dies jedoch schon mit dem Gelbdruck bis Mitte 2008 gedauert, sodass zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Beitrags mit der endgültigen Fassung nicht vor 2009 zu rechnen war. Nach dem ursprünglichen Zeitplan müsste die derzeit bauaufsichtlich eingeführte DIN 1054 bis Ende 2009 zurückgezogen werden, was das Ende der sogenannten Koexistenzperiode kennzeichnet, innerhalb derer konkurrierende nationale Normen noch parallel zum Eurocode verwendet werden dürfen.

²⁾ EAU, 10. Auflage, 2004

³⁾ EAB, 4. Auflage, 2006

⁴⁾ DIN 4017:2006-03

⁵⁾ DIN 4085:2007-10



Bild 3. Ursprünglicher Zeitplan für die Einführung des Nationalen Anhangs zum EC 7-1 und der zugehörigen Ergänzungsnorm (in Anlehnung an *Schuppener* und *Ruppert* [4])

Aufgrund der Verzögerungen bei der Erarbeitung der Anwendungsregeln in Form von DIN 1054:2009 wird sich dieser Termin aber noch nach hinten schieben (Bild 3).

Der Anwender wird zukünftig drei Regelwerke parallel beachten müssen. 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. Sofern die nähere Spezifizierung nicht schon explizit im NA-1 vorgenommen ist, besteht sie nur aus einem Verweis auf die entsprechende Anwendungsregel, die ihrerseits meist in der Ergänzungsnorm DIN 1054:2009 zu finden ist. Darin gibt es dann weitere Verweise auf mitgeltende Normen oder einschlägige Empfehlungen aus Arbeitskreisen und Ausschüssen. Um für den Anwender die Handhabung der parallel zu beachtenden drei Regelwerke zu erleichtern, war zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Beitrags geplant, neben der Einzelveröffentlichung der drei Regelwerke diese auch in einem einzigen Normenhandbuch zusammenzufassen (Bild 4).

In ähnlicher Weise wird mit DIN 4020:2003-09 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke“ verfahren werden, die auf europäischer Ebene dem EC 7-2 „Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“ übergeordnet ist. Im Gegensatz zu DIN 1054:2005-01 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: Eurocode 7 – „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds“ im Oktober 2007 begann auch hier die zweijährige Kalibrierungsphase, innerhalb derer der Nationale Anhang DIN EN 1997-2-NA-1 in Verbindung mit einer grundlegend zu überarbeitenden DIN 4020 zu formulieren ist. Nach dem ursprünglichen Zeitplan ist das Erscheinen der Ergänzungsnorm DIN 4020 für Ende 2009 vorgesehen. Die derzeitige Fassung von DIN 4020 müsste dann

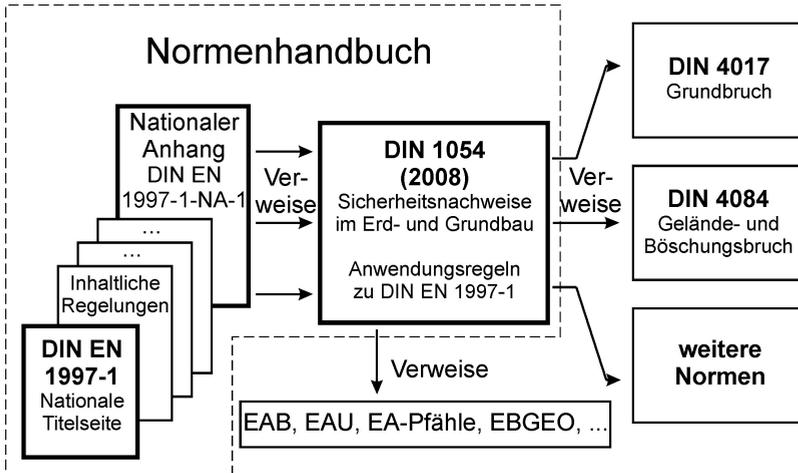


Bild 4. Zukünftiges Normenhandbuch für die Anwendung von DIN EN 1997-1 (in Anlehnung an *Schuppener* und *Ruppert* [4])

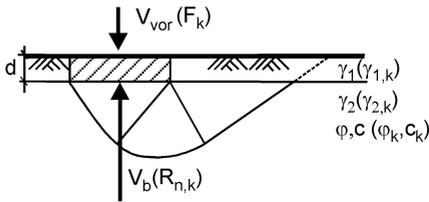
spätestens Ende 2012 nach Ablauf der dreijährigen Koexistenzperiode zurückgezogen werden. Neben den Hinweisen auf die zukünftige Ergänzungsnorm DIN 4020:2009 wird der Nationale Anhang zum EC 7-2 auch Hinweise auf die bei der Baugrunduntersuchung zu beachtenden Normen wie DIN EN ISO 22476 „Felduntersuchungen“, DIN EN ISO 14688-1 „Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden“ und DIN EN ISO 22475 „Probenentnahmeverfahren und Grundwassermessungen“ erhalten. Daneben wird auf die verschiedenen Normen zu den bodenmechanischen Laborversuchen und auf DIN 18196 „Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke“ verwiesen werden. Weitergehende Ausführungen zur Zusammenführung der deutschen und europäischen Normen im Bereich der Erkundung finden sich bei *Schuppener* und *Ruppert* [4].

2 Das neue Sicherheitskonzept

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

2.1 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 der neuen DIN 1054, die nachfolgend noch im Einzelnen erläutert wird, entspricht dies dem Vergleich der charakteristischen Widerstände mit den charakteristischen Einwirkungen. 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 Grund-



Grundbruchwiderstand nach DIN 4017-1:1979-08

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

Sicherheit

$$\eta = \frac{V_b}{V_{vor}} = \frac{R_{n,k}}{F_k} \geq 2,0 \quad (\text{Lf1})$$

Bild 5. Globales Sicherheitskonzept, dargestellt am Beispiel des Grundbruchnachweises

bruchwiderstand um mindestens den Faktor 2 größer war als die vorhandene vertikale Einwirkung. Schematisch ist dies in Bild 5 dargestellt, wobei auch die Bezeichnungen nach der neuen DIN 1054 in Klammern aufgenommen sind. Eine Differenzierung des Sicherheitsfaktors in die einzelnen Komponenten der Widerstände und Einwirkungen 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 Baugrubenwand⁶⁾.

2.2 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 die Summe der Bemessungswiderstände R_d zu jeder Zeit größer ist als die Summe der Bemessungseinwirkungen F_d :

$$\sum R_d \geq \sum F_d$$

In Bild 6 ist für das Grundbruchbeispiel die nach neuer DIN 1054 für den später noch erläuterten Grenzzustand GZ 1B vorgesehene Vorgehensweise dargestellt, bei der die charakteristische Einwirkung und der charakteristische Widerstand erst unmittelbar vor dem Einsetzen in den Sicherheitsnachweis zu den sogenannten Bemessungsgrößen verändert werden.

⁶⁾ EAB:1994, 3. Auflage, EB 19

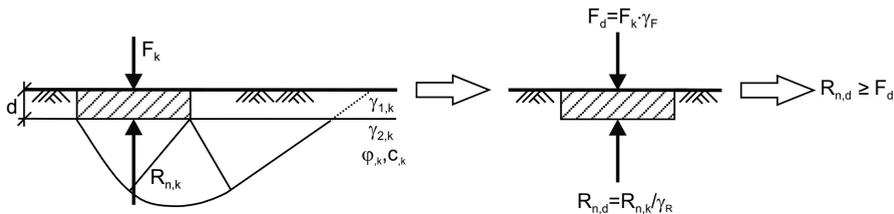


Bild 6. Teilsicherheitskonzept, dargestellt am Beispiel des Grundbruchnachweises

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

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

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:

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

Während beim globalen Sicherheitskonzept die Sicherheit mit steigendem Sicherheitsfaktor η ansteigt, ist dies beim Teilsicherheitskonzept mit sinkendem Ausnutzungsgrad μ der Fall. Bild 7 verdeutlicht noch einmal schematisch die unterschiedlichen Vorgehensweisen bei Anwendung des globalen Sicherheitskonzepts und des Teilsicherheitskonzepts sowie die Bedeutung des Ausnutzungsgrades der Widerstände.

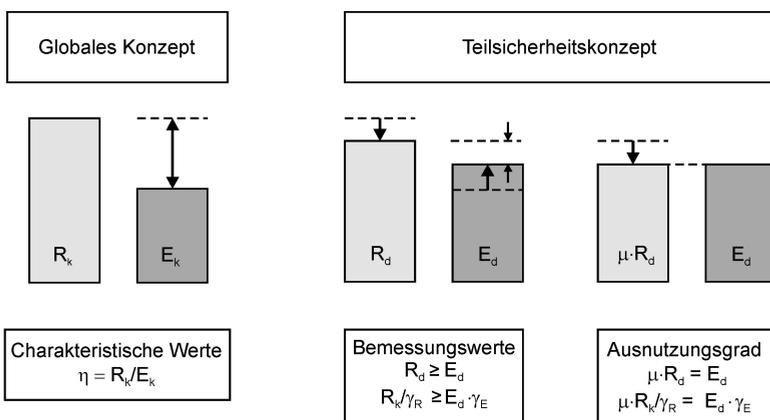


Bild 7. Schematische Darstellung der Vorgehensweise beim globalen Sicherheitskonzept und beim Teilsicherheitskonzept

3 Aufbau und Inhalte der neuen Sicherheitsnorm DIN 1054

Im Folgenden werden die wesentlichen Inhalte der neuen Sicherheitsnorm DIN 1054 im Überblick vorgestellt. Einzelheiten zu den verschiedenen Themengebieten wie Flachgründungen, Pfahlgründungen, Baugruben etc. können den Fachbeiträgen im Teil 3 dieses Grundbautaschenbuchs entnommen werden. Zusätzliche Erläuterungen und Rechenbeispiele zur Anwendung der neuen Norm finden sich in [6]. Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf die bauaufsichtlich eingeführte Fassung von DIN 1054 vom Januar 2005. Anschließend wird noch kurz auf DIN EN 1997-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang NA-1 und der Ergänzungsnorm DIN 1054:2009 eingegangen.

3.1 Inhaltsübersicht

DIN 1054 weist insgesamt 12 Abschnitte und 7 Anhänge auf. In den ersten drei Abschnitten werden zunächst der Anwendungsbereich erläutert, die normativen Verweise aufgelistet und Begriffe und Formelzeichen definiert. Abschnitt 4 beschäftigt sich mit der Definition der Geotechnischen Kategorien sowie mit den allgemeinen Regelungen für Sicherheitsnachweise, wobei insbesondere auf die Darstellung der verschiedenen Grenzzustände und den damit verbundenen unterschiedlichen Nachweisführungen eingegangen wird. Abschnitt 5 ist dem Baugrund und der dabei wichtigen Festlegung charakteristischer Bodenkenngrößen gewidmet. Abschnitt 6 beschäftigt sich eingehend mit den Einwirkungen und Widerständen und der damit zusammenhängenden Definition von Lastfällen. Außerdem enthält Abschnitt 6 die Tabellen mit den Teilsicherheitsbeiwerten. Die folgenden Abschnitte 7 bis 12 erläutern dann die Anwendung des Sicherheitskonzepts für die verschiedenen geotechnischen Fragestellungen.

Anhang A enthält die in der alten DIN 1054 als „zulässige Bodenpressung“ bezeichneten Werte der aufnehmbaren Sohldrücke. In den Anhängen B bis D sind die Erfahrungswerte zur Bestimmung der charakteristischen Pfahlwiderstände zusammengestellt und Anhang E gibt Angaben zu Einwirkungen und Widerständen bei quer zur Pfahlachse belasteten Pfahlgruppen. Die Anhänge F und G schließlich enthalten die Übergangsbestimmungen für Normen und Technische Baubestimmungen nach dem alten Nachweiskonzept mit globalen Sicherheitsbeiwerten, die noch nicht an das neue Teilsicherheitskonzept angepasst worden sind.

3.2 Anwendungsbereich

Der Anwendungsbereich von DIN 1054 ist in Abschnitt 1 der Norm geregelt: „Die Norm betrifft die Standsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit von Bauwerken und Bauteilen im Erd- und Grundbau. Sie gilt für deren Herstellung und Nutzung und schließt die Änderung bestehender Bauwerke ein.“

In der Norm werden Grundsätze formuliert und Regeln aufgestellt, wie die Nachweise für vom Baugrund beeinflusste Grenzzustände zu führen sind. Die Norm unterscheidet dabei zwischen Gründungen und geotechnischen Bauwerken. Zu den Gründungen zählen Flach-, Pfahl- und Senkkastengründungen, bei denen die Einwirkungen aus dem Überbau in der Regel aus der Tragwerksplanung des aufliegenden Tragwerks übergeben werden. Bei geotechnischen Bauwerken, zu denen u. a. Stützbauwerke, eingebettete Bauwerke wie Tunnel in offener Bauweise, Grundbaukonstruktionen für vorübergehende Zwecke wie z. B. Baugrubenwände und Erdbauwerke wie Dämme und Einschnitte gehören, ergeben sich die Einwirkungen vorwiegend aus der geotechnischen Planung. Der Anwendungsbereich der Norm erstreckt sich auch auf natürliche Hänge.

3.3 Geotechnische Kategorien

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 § 54 der Musterbauordnung MBO (2002) 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 Geotechnik⁷⁾.

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 [3].

Der Begriff des Sachverständigen für Geotechnik taucht in DIN 1054 daher gar nicht auf. Allerdings heißt es in Anlage 2.1/9 des Kommentars zur Musterliste der Technischen Baubestimmungen bei der Einführung von DIN 1054:2005-01: „DIN 1054 nimmt wiederholt Bezug auf Ergebnisse von Baugrunduntersuchungen, die den Anforderungen von DIN 4020:2003-09 genügen. Diese müssen vor der konstruktiven Bearbeitung der baulichen Anlage vorliegen.“

Damit wird der Sachverständige für Geotechnik indirekt wieder zur Klärung der geotechnischen Fragestellungen bei einem Bauwerk verpflichtet. Denn es heißt in Abschnitt 5 von DIN 4020: „Der Entwurfsverfasser hat den Bauherrn rechtzeitig auf die Notwendigkeit einer geotechnischen Untersuchung hinzuweisen. Der Bauherr hat geotechnische Untersuchungen für den Entwurf rechtzeitig zu beauftragen und hierfür einen Sachverständigen für Geotechnik einzuschalten“ .

Die Aufgabe des Sachverständigen für Geotechnik 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.

Die Mindestanforderungen an Umfang und Qualität der durchzuführenden geotechnischen Untersuchungen, Berechnungen und Überwachungsmaßnahmen richten sich nach der Geotechnischen Kategorie. DIN 1054 nimmt dabei in Anlehnung an DIN 4020 eine Aufteilung in drei Kategorien vor⁸⁾.

⁷⁾ DIN 1054, 4.1 (1)

⁸⁾ DIN 1054, 4.2

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. Neben dem geotechnischen Untersuchungsbericht ist auch ein geotechnischer Entwurfsbericht zu erstellen.

Geotechnische Kategorie GK 3

Sie umfasst Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad. Insbesondere sind Bauwerke, die unter Anwendung der Beobachtungsmethode errichtet werden, in die Geotechnische Kategorie GK 3 einzustufen. Ausnahmen hiervon sind gesondert zu begründen. 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. Auch hier ist ein geotechnischer Entwurfsbericht anzufertigen.

Die Einordnung einer Baumaßnahme in eine Geotechnische Kategorie erfolgt zu Beginn der Planungen. Eine spätere Änderung aufgrund der beim Bau vorgefundenen Verhältnisse ist möglich und u. U. notwendig. Detaillierte Zuordnungen geotechnischer Konstruktionen zu den Geotechnischen Kategorien werden in den jeweiligen Fachabschnitten von DIN 1054 vorgenommen. Weitere allgemeine Kriterien finden sich in DIN 4020. Die Einstufung erfolgt dort nach Kriterien, die sich aus

- dem Bauwerk,
- dem Baugrund,
- dem Grundwasser und
- der Umgebung

ergeben. Eine Konkretisierung dieser Kriterien wird z. B. bei *Kuntsche* [2] vorgenommen.

3.4 Wichtige Begriffe der neuen Sicherheitsnorm

Für die nachfolgende Vorstellung einzelner Inhalte von DIN 1054 ist es notwendig, einige wichtige Begriffe zu definieren. Dabei muss auf weitere ebenfalls noch zu definierende Begriffe zurückgegriffen werden. Die Begriffsdefinitionen sind daher in ihrer Gesamtheit zu betrachten.

3.4.1 Charakteristischer Wert, repräsentativer Wert, Bemessungswert, Nennwert**3.4.1.1 Charakteristischer Wert**

Als charakteristischer Wert wird nach DIN 1054 der Wert einer Einwirkung oder eines Widerstands bezeichnet, von dem angenommen wird, „dass er mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit im Bezugszeitraum unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Bauwerks und der entsprechenden Bemessungssituation nicht überschritten oder unterschritten wird.“ Charakteristische Größen werden durch den Index „k“ gekennzeichnet.

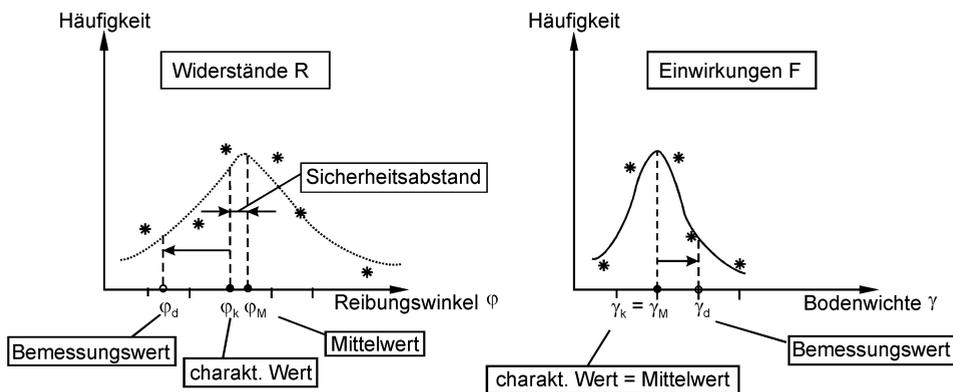


Bild 8. Festlegung charakterischer Werte am Beispiel des Reibungswinkels φ und der Bodenwichte γ

Während die Einwirkungsseite, zumindest was die aus dem Tragwerk auf die Gründungskonstruktion übertragenen Einwirkungen angeht, relativ zuverlässig eingeschätzt werden kann, zählt entsprechend den Ausführungen im Abschnitt 1 die Festlegung von Homogenbereichen im Boden mit zugehörigen charakteristischen Bodenkenwerten, aus denen dann sowohl grundbauspezifische Einwirkungen, wie z. B. der aktive Erddruck, als auch Bodenwiderstände, wie z. B. der passive Erddruck, 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 Bodenkenwerte vorzunehmen. Es obliegt dann seinem Wissen und seiner Erfahrung, wie groß er den Sicherheitsabstand 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 8 gezeigt ist. Einflussparameter auf die Größe des Sicherheitsabstands 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 der rechten Hälfte von Bild 8 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 Bodenkenwerte gegeben sein, wenn die Ergebnisse der Labor- und Feldversuche sehr starke Streuungen aufweisen (Variationskoeffizient $V_G > 0,1$)⁹⁾. 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

⁹⁾ DIN 1054, 5.3.1 (3)

Aufschwimmen 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 wird¹⁰⁾.

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 Finites 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 Steifemoduli der einzelnen Bodenschichten möglichst vorsichtig, d. h. niedrig anzusetzen. Dies kann aber bei der Bestimmung der Schnittgrößen zur Abschätzung der Grenztragfähigkeit zu unrealistischen 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 dann weiter eingegrenzt werden kann.

3.4.1.2 Repräsentativer Wert

Nach DIN 1055-100:2001-03 ist ein repräsentativer Wert definiert als der Wert einer Einwirkung, der der Nachweisführung in Grenzzuständen zugrunde liegt. Treten nur ständige Einwirkungen auf, stellt der charakteristische Wert den repräsentativen Wert dar. Treten zusätzlich voneinander unabhängige veränderliche Einwirkungen auf, so wird der repräsentative Wert der veränderlichen Einwirkungen dadurch gebildet, dass bei der summarischen Berücksichtigung der Auswirkungen von ständigen und veränderlichen Einwirkungen die veränderlichen Einwirkungen mit einem Kombinationsfaktor ψ_i abgemindert werden, womit berücksichtigt wird, dass nicht alle veränderlichen Einwirkungen gleichzeitig auftreten. Die Größe des ψ_i -Wertes richtet sich nach der Häufigkeit des Auftretens der veränderlichen Einwirkung Q_k . Angaben zur Größe finden sich im Anhang A von DIN 1055-100. Unterschieden werden folgende repräsentative Werte:

- Kombinationswert einer veränderlichen Einwirkung, i. Allg. durch $\psi_0 \cdot Q_k$ beschrieben. Dabei ist der Beiwert ψ_0 so festgelegt, dass bei Verwendung des Kombinationswertes in den noch zu erläuternden Einwirkungskombinationen die Wahrscheinlichkeit der Sicherstellung von Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit während der vorgesehenen Lebenszeit des betrachteten Bauwerks erhalten bleibt.
- Häufiger Wert einer veränderlichen Einwirkung, i. Allg. durch $\psi_1 \cdot Q_k$ beschrieben. Der Beiwert ψ_1 ist dabei so festgelegt, dass die Überschreitung des häufigen Werts auf 300-mal pro Jahr bzw. auf 5% begrenzt ist.
- Quasi ständiger Wert einer veränderlichen Einwirkung, i. Allg. durch $\psi_2 \cdot Q_k$ beschrieben. Der Beiwert ψ_2 ist dabei so festgelegt, dass der quasi ständige Wert mit einer Häufigkeit von 50% überschritten wird.

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.

¹⁰⁾ EAB:2006, 4. Auflage, EB 62

3.4.1.3 Bemessungswert

Als Bemessungswert wird nach DIN 1054:2005-01 der Wert einer Einwirkung, einer Beanspruchung oder eines Widerstands bezeichnet, „der für den Nachweis eines Grenzzustandes zugrunde gelegt wird.“ Bemessungswerte werden durch den Index „d“ gekennzeichnet.

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

$$R_d = R_k / \gamma_R$$

3.4.1.4 Nennwert

Als Nennwert wird ein Wert bezeichnet, der nicht über Teilsicherheitsbeiwerte oder sonstige Sicherheitselemente, sondern unmittelbar als Bemessungswert festgelegt wird. Die meisten geometrischen Größen werden in den Sicherheitsnachweisen direkt mit ihrem Nennwert eingesetzt.

3.4.2 Einwirkung, Auswirkung, Beanspruchung, Widerstand

3.4.2.1 Einwirkung

Die Definition der Einwirkungen ist in der Grundsatznorm DIN EN 1990:2002-10 gegeben. Zahlenwerte für Einwirkungen können DIN EN 1991-1-1:2002:10 entnommen werden. DIN 1054 nimmt allerdings noch explizit Bezug auf DIN 1055-100:2001-03, deren Titel „Einwirkungen auf Tragwerke“ lautet und die sich als Bindeglied zum Eurocode versteht. Aufgrund des Erscheinungsdatums baut DIN 1055-100 selbst noch auf der Vornorm DIN V ENV 1991-1:1995-12 auf, die die Vorgängernorm von DIN EN 1990:2002-10 darstellte.

In DIN 1055-100 werden Einwirkungen als „auf das Tragwerk einwirkende Kraft- oder Verformungsgrößen“ bezeichnet. Dabei wird eine sehr differenzierte Betrachtung der einzelnen Einwirkungen vorgenommen. Es wird unterschieden in

- direkte,
- indirekte,
- zeitlich unveränderte,
- statische,
- vorwiegend ruhende,
- zeitlich veränderliche,
- dynamische,
- quasistatische,
- außergewöhnliche,
- seismische,
- ortsfeste,
- freie Einwirkungen.

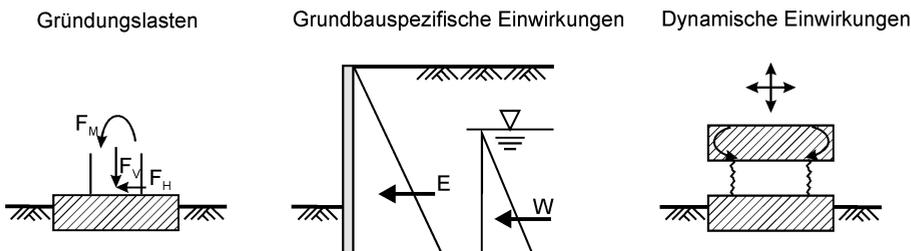


Bild 9. Einteilung der Einwirkungen nach DIN 1054

Diese vielfältigen Einwirkungsarten werden nach DIN 1054 gemäß Bild 9 auf drei Hauptgruppen beschränkt:

- Gründungslasten,
- grundbauspezifische Einwirkungen,
- dynamische Einwirkungen.

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 wird bis auf die Nachweise im Grenzzustand GZ 1A keine Differenzierung zwischen günstigen und ungünstigen ständigen Einwirkungen vorgenommen. In diesem Punkt unterscheidet sich DIN 1054 von der Vorgehensweise im Hochbau, wo eine solche Differenzierung vorgesehen ist¹¹⁾.

3.4.2.2 Gründungslasten

Gründungslasten¹²⁾ 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 für den Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZ 1) als auch für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2) 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 bereits mit Bemessungswerten durchgeführt wird. Dies bedeutet, dass die charakteristischen Einwirkungen noch vor der Ermittlung der Schnittgrößen 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 werden. Näheres kann hierzu der Hochbau-Literatur entnommen werden (z. B. *Grünberg* et al. [1]). Als Ergebnis der statischen Berechnung werden demnach Bemessungsgrößen erhalten, die für die Angabe der Grün-

¹¹⁾ DIN 1055-100, Anhang A, Tabelle A.3

¹²⁾ DIN 1054, 6.1.2

ungslasten 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 1055-100:2001-03, 9.4 (4) a wie folgt dar:

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

Darin bedeuten:

\oplus „in Kombination mit“

\sum „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

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

$\gamma_{G,j}$ 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 $Q_{k,i}$

ψ jeweiliger Kombinationsbeiwert zur Bestimmung repräsentativer Werte veränderlicher Einwirkungen

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:

$$E_K = E \left\{ \sum_{j \geq 1} G_{k,j} \oplus P_k \oplus Q_{k,1} \oplus \sum_{i > 1} \psi_{O,i} Q_{k,i} \right\}$$

Schwieriger wird es, wenn die statische Berechnung auf 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 1054 empfiehlt hierzu in Abschnitt 6.1.2 (2) lediglich, die Bemessungsbeanspruchungen „aufgrund eines am untersuchten Tragwerk orientierten Kriteriums in jeweils einen Anteil $E_{G,d}$ aus ständigen Einwirkungen und einen Anteil $E_{Q,d}$ aus veränderlichen Einwirkungen aufzuteilen und diese Anteile durch Division mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN 1055-100:2001-03 Tabelle A.3 oder anderen maßgebenden Einwirkungsnormen in charakteristische bzw. repräsentative Beanspruchungen umzuwandeln.“ Da nähere Angaben fehlen, wie die Aufteilung vorgenommen werden soll, ist hier die enge Abstimmung mit dem Tragwerksplaner unerlässlich.

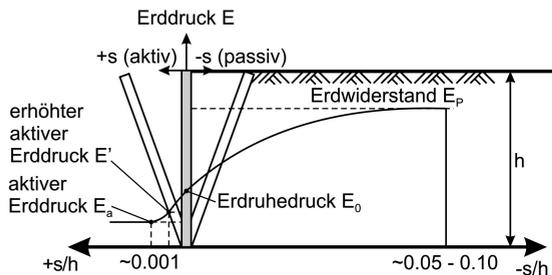


Bild 10. Abhängigkeit der resultierenden Erddruckkraft von der Verschiebung der Wand

3.4.2.3 Grundbauspezifische Einwirkungen

Zu den grundbauspezifischen 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 Erdruhe-Druck E_0 , der bei 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 Erdruhe-Druck 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 Erdruhe-Druck 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 Ruhe-Druck hinaus kommen 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.

¹³⁾ DIN 1054, 6.1.3

¹⁴⁾ DIN 4085:2007-10, 6.6.1

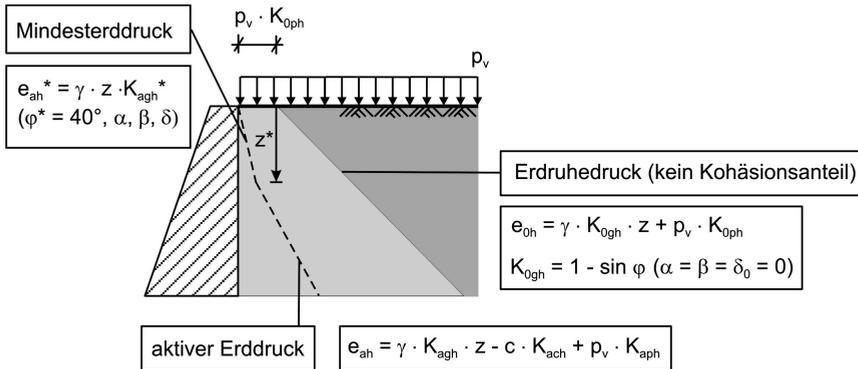


Bild 11. Aktiver Erddruck, Mindesterdruddruck und Erdruhdruddruck bei einer Stützwand

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, sieht DIN 1054 vor, dass der untere charakteristische Wert des Erddrucks angesetzt wird¹⁵⁾. Bei bindigen Böden darf 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 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⁾.

3.4.2.4 Dynamische Einwirkungen

Zu den dynamischen Einwirkungen¹⁷⁾ zählen:

- Verkehrslasten,
- Anprall- und Stoßlasten,
- Erdbeben.

Dynamische Einwirkungen dürfen in der Regel als veränderliche statische Einwirkungen berücksichtigt werden. Bei erheblichen dynamischen Einwirkungen, wie sie durch Anprall-

¹⁵⁾ DIN 1054, 10.3.1 (7)

¹⁶⁾ DIN 1054, 10.3.2 (5)

¹⁷⁾ DIN 1054, 6.1.4

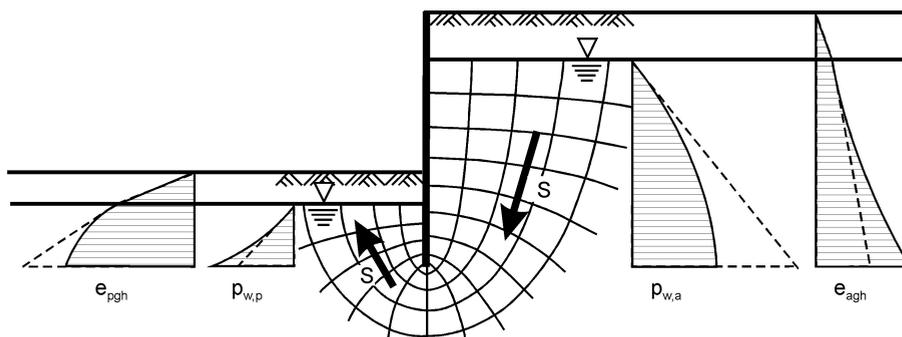


Bild 12. Auswirkung von Strömungskräften auf Erd- und Wasserdruck bei Umströmung des Wandfußes einer Baugrubenwand

lasten, Druckwellen oder Schwingungen von Maschinenfundamenten entstehen können, muss im Einzelfall aber geprüft werden, ob nicht die Massenträgheitskräfte in den Berechnungen mit berücksichtigt werden müssen. Bei Einwirkungen durch Erdbeben ist DIN 4149:2005-04 hinzuzuziehen.

3.4.2.5 Auswirkung

Als Auswirkung¹⁸⁾ wird die Folge einer Einwirkung auf das Tragwerk, auf Teile davon oder in einem bestimmten Querschnitt verstanden. Die Auswirkung kann in Form einer Schnittgröße, einer Spannung, einer Dehnung oder Verformung auftreten.

3.4.2.6 Beanspruchung

Als Beanspruchung¹⁹⁾ wird die Summe der Auswirkungen aus den einzelnen Einwirkungen in Form von Schnittgrößen am betrachteten Bauwerk bezeichnet. Ein typisches Beispiel einer Beanspruchung stellt die Erdauflagerkraft bei einem Baugrubenverbau dar, die später im Sicherheitsnachweis dem möglichen Erdwiderstand gegenübergestellt wird (s. Bild 19 in Abschn. 4.2).

3.4.2.7 Widerstände

Widerstände²⁰⁾ 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 13 a). Die Festigkeit des Bodens wird durch die Scherparameter Reibung und Kohäsion bestimmt. Bei manchen Nachweisen werden – wie im Beispiel des abrutschenden Erdkeils – direkt die mit den Scherparametern berechneten Bemessungswerte der Reibungs- und Kohäsionskräfte in der Gleitfuge angesetzt (Bild 13 b). Bei anderen Nachweisen werden auch aus den charakteristischen Scherparametern abgeleitete summarische Größen als Widerstände bezeichnet und in die Grenzzustandsgleichung eingesetzt.

¹⁸⁾ DIN 1055-100, 3.1.2.19

¹⁹⁾ DIN 1054, 6.1.5

²⁰⁾ DIN 1054, 6.2

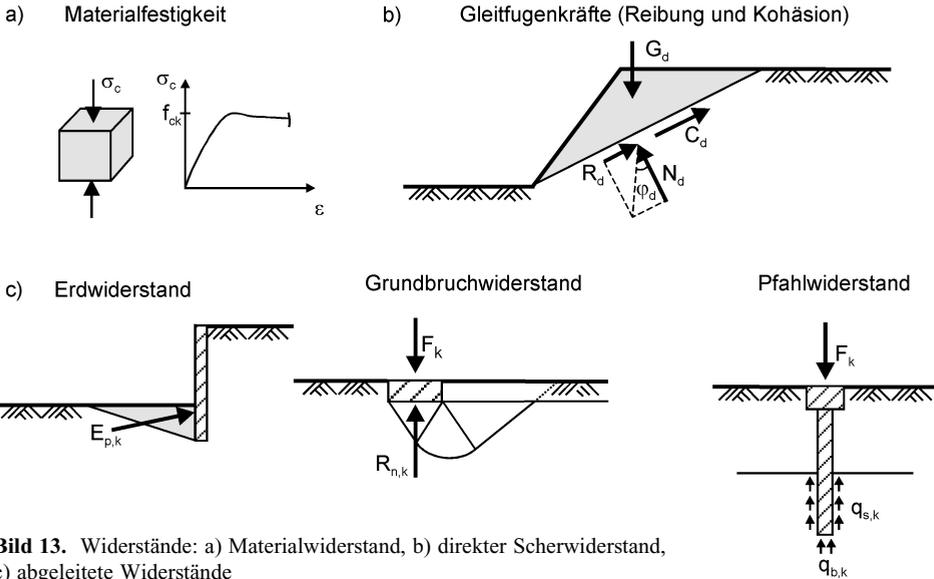


Bild 13. Widerstände: a) Materialwiderstand, b) direkter Scherwiderstand, c) abgeleitete Widerstände

Typische Vertreter dieser Gruppe sind der Erdwiderstand, der Grundbruchwiderstand und der Pfahlwiderstand (Bild 13 c).

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.

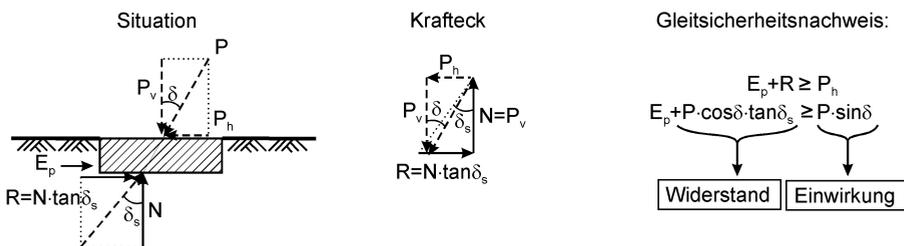


Bild 14. Nichteindeutigkeit von Einwirkungen und Widerständen bei einem schräg belasteten Fundament

3.4.3 Lastfälle

3.4.3.1 Einwirkungskombinationen

Eine Einwirkungskombination²¹⁾ umfasst die gleichzeitig möglichen Einwirkungen, wie sie bei der Betrachtung eines Grenzzustandes auftreten können.

Die Norm unterscheidet dabei folgende Einwirkungskombinationen:

Regel-Kombination (EK 1)

Ständige sowie während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen.

Seltene Kombination (EK 2)

Außer den Einwirkungen der Regel-Kombination seltene oder einmalige planmäßige Einwirkungen.

Außergewöhnliche Kombination (EK 3)

Außer den Einwirkungen der Regel-Kombination eine gleichzeitig mögliche außergewöhnliche Einwirkung, insbesondere bei Katastrophen oder Unfällen.

Bild 15 zeigt die verschiedenen Einwirkungskombinationen am Beispiel eines Staudamms. Die Schwankungen des Wasserspiegels zwischen Niedrig- und Mittelwasser stellt die Regel-Kombination dar. Das Erreichen des Hochwasserspiegels und das Anspringen der Hochwasserentlastungsanlage entsprechen einer seltenen aber durchaus planmäßigen Einwirkungskombination. Das Auftreten eines höchsten Hochwassers bei gleichzeitigem Ausfall der Hochwasserentlastungsanlage wegen Reparaturarbeiten stellt hingegen eine außergewöhnliche Einwirkung dar.

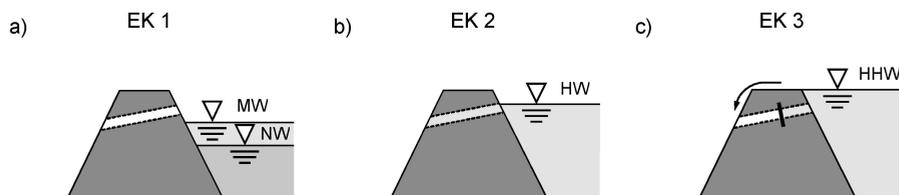


Bild 15. Einwirkungskombinationen am Beispiel eines Staudamms: a) Regel-Kombination, b) seltene Kombination, c) außergewöhnliche Kombination

3.4.3.2 Sicherheitsklassen bei Widerständen

In ähnlicher Weise wie die Einwirkungskombinationen beschreiben die Sicherheitsklassen²²⁾ „den Sicherheitsanspruch bei den Widerständen in Abhängigkeit von Dauer und Häufigkeit der maßgebenden Einwirkungen“. DIN 1054 unterscheidet dabei:

Zustände der Sicherheitsklasse 1 (SK 1)

Hierzu zählen Zustände, die auf die Funktionszeit des Bauwerks ausgelegt sind.

²¹⁾ DIN 1054, 6.3.1

²²⁾ DIN 1054, 6.3.2

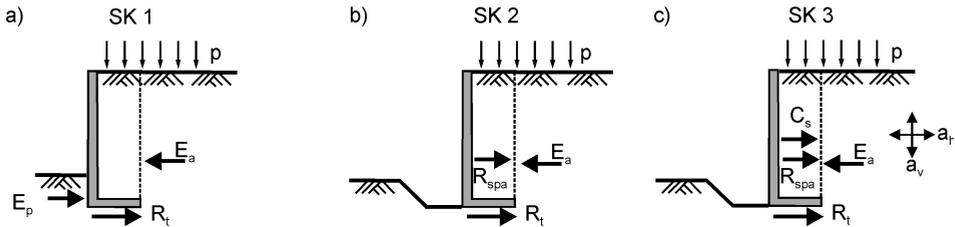


Bild 16. Verschiedene Sicherheitsklassen am Beispiel einer Winkelstützwand

Zustände der Sicherheitsklasse 2 (SK 2)

Bauzustände bei der Herstellung oder Reparatur eines Bauwerks und Bauzustände durch Baumaßnahmen neben dem Bauwerk; insbesondere zählen auch Baugrubenkonstruktionen zur Sicherheitsklasse SK 2.

Zustände der Sicherheitsklasse 3 (SK 3)

Während der Funktionszeit einmalig oder voraussichtlich nie auftretende Zustände.

Im Beispiel der in Bild 16 dargestellten Winkelstützwand verhindern der Sohlwiderstand R_t und der Erdwiderstand E_p ein Wegschieben der Wand infolge der Einwirkung durch den aktiven Erddruck E_a . Für diesen Regelfall liegt die Sicherheitsklasse SK 1 vor.

Für Reparaturzwecke kann es erforderlich sein, das Erdreich vor der Winkelstützwand partiell auszuheben. Damit entfällt der Erdwiderstand als haltende Kraft. Zum Nachweis solcher Bauzustände gelten einerseits verringerte Sicherheitsanforderungen, andererseits dürfen ggf. auch temporär vorhandene Widerstände in den Sicherheitsnachweis eingebracht werden. Im vorliegenden Fall lassen sich durch die räumliche Begrenzung der Abgrabung auch die Reibungskräfte R_{spa} an den Seitenflächen des abgegrabenen Bereichs mobilisieren. Für diesen Fall gilt die Sicherheitsklasse SK 2.

Im dritten Fall tritt während der Abgrabung noch eine außergewöhnliche Einwirkung in Form eines Erdbebens auf. Da dessen Einwirkungsdauer allerdings nur sehr kurz ist, ist es vorstellbar, die Kraft C_s aus der i. d. R. vorhandenen scheinbaren Kohäsion im Nachweis mit anzusetzen. Für diesen Fall gilt dann die Sicherheitsklasse SK 3.

3.4.3.3 Lastfälle

Lastfälle²³⁾ (LF) werden für die Grenzzustände der Tragfähigkeit GZ 1 aus Einwirkungskombinationen in Verbindung mit Sicherheitsklassen bei den Widerständen gebildet. DIN 1054 unterscheidet dabei drei Lastfälle:

Lastfall LF 1

Regel-Kombination EK 1 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse SK 1 („ständige Bemessungssituation“).

Lastfall LF 2

Seltene Kombination EK 2 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse SK 1 oder Regel-Kombination EK 1 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse SK 2 („vorübergehende Bemessungssituation“).

²³⁾ DIN 1054, 6.3.3

Lastfall LF 3

Außergewöhnliche Kombination EK 3 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse SK 2 oder seltene Kombination EK 2 in Verbindung mit Zustand der Sicherheitsklasse SK 3 („außergewöhnliche Bemessungssituation“).

Die Einteilung in ständige, vorübergehende und außergewöhnliche Bemessungssituationen folgt dabei DIN 1055-100:2001-03, 9.3 (1).

Tabelle 1 zeigt, dass DIN 1054 nicht alle theoretischen Kombinationsmöglichkeiten erfasst. Dies macht auch Sinn, da eine Kombination EK 1 mit SK 3 bzw. EK 3 mit SK 1 unrealistisch ist. Bei einer denkbaren Kombination von EK 2 mit SK 2 lässt die Norm hingegen Teilsicherheitsbeiwerte zu, die zwischen den Werten der Lastfälle 2 und 3 liegen, ohne sich allerdings genauer festzulegen. Ebenfalls erlaubt sie, in begründeten Sonderfällen bei Kombination von EK 3 mit SK 3 die Teilsicherheitsbeiwerte auf 1,0 zu reduzieren.

Tabelle 1. Festlegung der Lastfälle aus der Verbindung von Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen

	SK 1	SK 2	SK 3
EK 1	LF 1	LF 2	–
EK 2	LF 2	LF 2 ^{a)}	LF 3
EK 3	–	LF 3	LF 3 ^{b)}

^{a)} Interpolation zwischen LF 2 und LF 3

^{b)} ggf. $\gamma_F = \gamma_E = \gamma_R = 1,0$

Durch die Einführung der Lastfälle bei geotechnischen Bauwerken werden die repräsentativen Werte der unabhängigen Einwirkungen unmittelbar bestimmt. Eine Untersuchung mit Kombinationsbeiwerten beim gleichzeitigen Auftreten von veränderlichen Einwirkungen erübrigt sich damit²⁴⁾.

4 Grenzzustände und Nachweise

DIN 1054 unterscheidet zwischen Grenzzuständen der Tragfähigkeit GZ 1 und dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit GZ 2. Die Grenzzustände der Tragfähigkeit werden dabei noch weiter in die drei Grenzzustände GZ 1A, GZ 1B und GZ 1C unterteilt. Die Vorgehensweise, wie die Bemessungswerte in den jeweiligen Grenzzustandsgleichungen zu bestimmen sind, ist dabei unterschiedlich.

Beim Nachweis der Grenzzustände GZ 1B und GZ 1C wird vorausgesetzt, dass das Gesamtsystem aus Baugrund und Bauwerk eine ausreichende Duktilität besitzt.

4.1 Duktilität

Der Begriff der Duktilität²⁵⁾ ist neu in DIN 1054 aufgenommen worden. Duktilität bezeichnet das Vermögen einer Konstruktion, bei Annäherung an den Grenzzustand unschädlich Kräfte

²⁴⁾ DIN 1054, 6.3.3 (4)

²⁵⁾ DIN 1054, 4.3.4

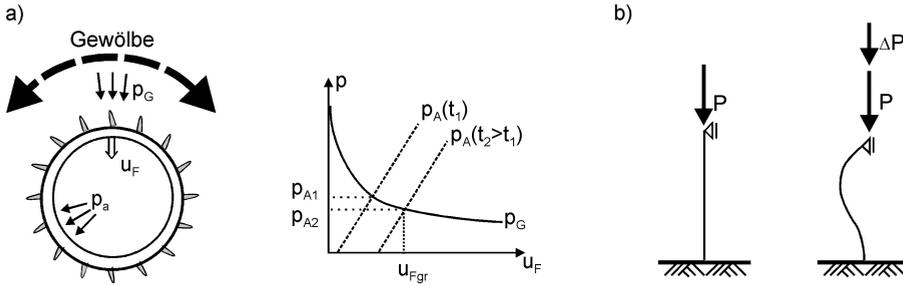


Bild 17. Beispiele für ein a) duktiler System mit Kraft-Verformungsdiagramm, b) nicht duktiler System

im Baugrund und im Bauwerk umlagern zu können. Oft ist dies in der Geotechnik gegeben, da z. B. die Einwirkungen aus aktivem Erddruck mit zunehmender Verschiebung abnehmen, während die Widerstände in Form des Erdwiderstands mit wachsender Verschiebung zunehmen. Ein nicht duktiler System stellt hingegen eine umströmte Baugrubenwand mit rückschreitender Erosion dar²⁶⁾.

Ein typisches duktiler System liegt bei der Auffahrung einer Tunnelröhre in der Spritzbetonbauweise vor (Bild 17 a). Mit zunehmender Verformung bilden sich im Gebirge Gewölbe, die den Gebirgsdruck p_G immer stärker vom Ausbau fernhalten. Umgekehrt kommt es mit zunehmender Verformung des Ausbaus zum Aufbau eines zunehmend stärker werdenden Ausbauwiderstands p_A . Bei ausreichend starker Dimensionierung des Ausbaus wird sich somit immer ein Gleichgewichtszustand einstellen, in dem die Verformungen zur Ruhe kommen. Durch verzögerte Einbringung des Ausbaus nach der Öffnung des Hohlraums kann der erforderliche Ausbauwiderstand p_{A2} unter Einhaltung einer maximal tolerierbaren Firstverschiebung u_{Fgr} minimiert werden. Wird der Ausbau erst zum Zeitpunkt $t = t_2$ nach der Auffahrung eingebracht, findet das System bei optimalen Querschnittsabmessungen den Gleichgewichtszustand.

Ein nicht duktiler Element stellt hingegen der Knickstab in Bild 17 b dar, da dieser bei geringster Zunahme der Einzellast über die kritische Last hinaus schlagartig versagt. Dies muss z. B. durch entsprechende Knickverbände bei ausgesteiften Baugruben verhindert werden.

4.2 Grenzzustände der Tragfähigkeit

4.2.1 Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit GZ 1A

Der Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit GZ 1A behandelt das Versagen eines Bauwerks durch Gleichgewichtsverlust ohne Bruch²⁷⁾. Er umfasst in der Geotechnik im Wesentlichen die Fälle des Aufschwimmens einer Gründungskonstruktion und den hydraulischen Grundbruch. Aber auch das Abheben eines zugbelasteten Fundaments (z. B. Seilverankerungsblock bei einer Schrägseilbrücke) zählt zum Grenzzustand GZ 1A.

Im GZ 1A werden nur günstige und ungünstige Einwirkungen gegenübergestellt. Im Beispiel der tief liegenden Injektionssohle in Bild 18 resultieren die ungünstigen ständigen

²⁶⁾ EAU, E 116

²⁷⁾ DIN 1054, 3.1.2.5 und 4.3.1

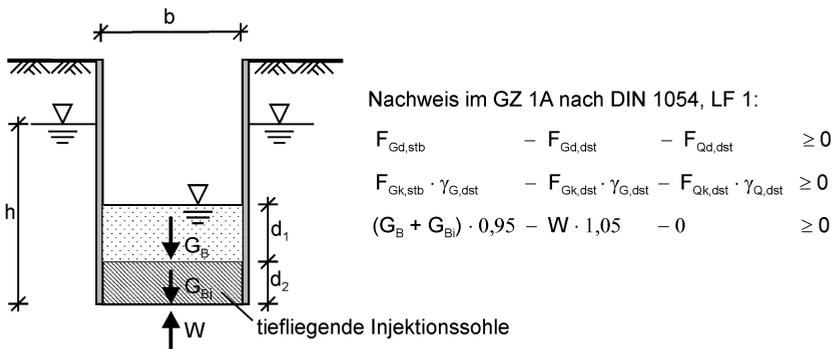


Bild 18. Grenzzustand GZ 1A der Lagesicherheit am Beispiel einer Baugrube mit tiefliegender Injektionssohle

Einwirkungen $F_{G,dst}$ aus dem Wasserdruck W und die günstigen ständigen Einwirkungen $F_{G,stab}$ aus den Gewichtskräften der Injektionssohle G_{Bi} und des darüber liegenden wasser-gesättigten Bodens G_B . Letztere sind mit den unteren charakteristischen Werten der Wichten zu berechnen. Günstige vorübergehende Einwirkungen dürfen nicht berücksichtigt werden. Ungünstige vorübergehende Einwirkungen $F_{Q,dst}$ treten in diesem Beispiel nicht auf. Denkbare Widerstände im Boden in Form von Reibungskräften an den Seitenwänden oder von Konstruktionselementen wie Auftriebsankern oder Auftriebspfählen werden beim Nachweis des GZ 1A nicht als Widerstände, sondern als günstig wirkende Einwirkungen behandelt.

4.2.2 Grenzzustand des Versagens von Bauwerken oder Bauteilen GZ 1B

Dieser Grenzzustand beschreibt das Versagen von Bauwerken oder Bauteilen durch Bruch im Bauwerk oder durch Bruch des stützenden Bodens²⁸⁾. Typische Versagensformen des GZ 1B sind z. B. der Bruch eines Ankerstahls als Materialversagen, das Versagen eines Fundaments durch Gleiten oder Grundbruch und auch das Versagen eines Erdwiderlagers.

Kennzeichen des Grenzzustands GZ 1B ist die Berechnung der Schnittgrößen mit charakteristischen Einwirkungen. In Bild 19 ist die Vorgehensweise bei der Nachweisführung im Grenzzustand GZ 1B am Beispiel einer einfach verankerten, frei aufgelagerten Spundwand dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird auf eine Unterscheidung in ständige und veränderliche Beanspruchungen bei diesem Beispiel verzichtet. 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 $E_{agh,k}$.
- 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 $R_{a,k}$ und der Festigkeit des Stahlzugglieds $R_{i,k}$ sowie des charakteristischen Bruchmoments der Spundwand $M_{R,k}$ aus dem Fließmoment M_F .

²⁸⁾ DIN 1054, 3.1.2.6 und 4.3.2

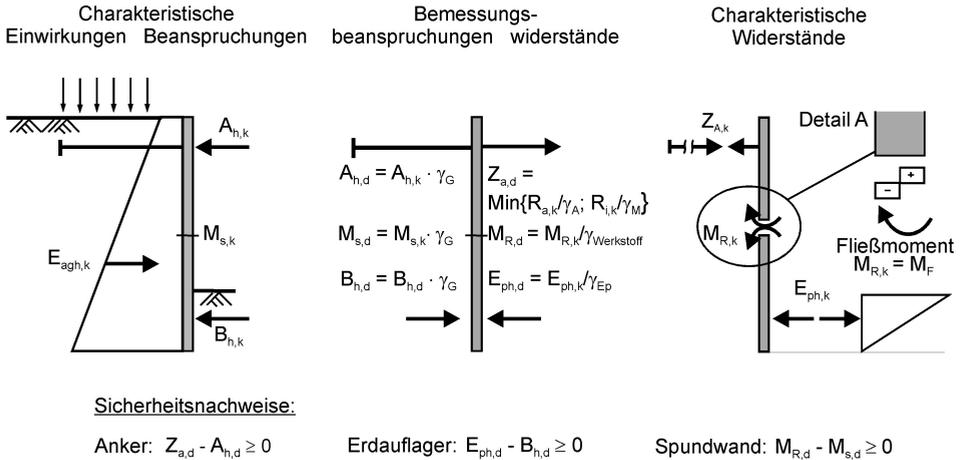


Bild 19. Vorgehensweise bei der Nachweisführung im Grenzzustand GZ 1B für das Beispiel einer einfach verankerten, frei aufgelagerten Spundwand

- Bildung der Bemessungsgrößen durch Multiplikation der Beanspruchungen mit den Teilsicherheitsbeiwerten von Tabelle 2 und Division der Widerstände durch die Teilsicherheitsbeiwerte von Tabelle 3.
- Überprüfung ausreichender Sicherheit durch Vergleich der Bemessungsgrößen. Diese Überprüfung muss für die Anker, das Erdauflager und die Spundwand erfolgen.

4.2.3 Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit GZ 1C

Der Grenzzustand GZ 1C beschreibt „das Versagen des Baugrunds, ggf. einschließlich auf ihm befindlicher Bauwerke durch Bruch im Boden oder Fels, ggf. auch zusätzlich durch Bruch in mittragenden Bauteilen, z. B. Böschungsbruch, Geländebruch²⁹⁾.“

Beim Nachweis des Grenzzustands GZ 1C werden vor Beginn der eigentlichen Berechnung die charakteristischen Scherfestigkeitsparameter $\tan \varphi_k$ und c_k auf die Bemessungswerte $\tan \varphi_d$ und c_d abgemindert. Ebenso werden die charakteristischen Einwirkungen mit den Teilsicherheitsbeiwerten auf die Bemessungseinwirkungen erhöht (Bild 20). Allerdings wirkt sich diese Erhöhung nur auf die veränderlichen Einwirkungen Q_k aus, da nach Tabelle 2 der Teilsicherheitsbeiwert γ_G für ständige Einwirkungen in allen drei Lastfällen 1,0 beträgt. Erst mit den so veränderten Einwirkungen und Widerständen wird die eigentliche statische Berechnung durchgeführt. Im Fall des Gleitkreises 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 GZ 2

Der Grenzzustand GZ 2 beschreibt einen „Zustand des Tragwerks, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind³⁰⁾“. Um dies festzustellen, ist in der Regel zu überprüfen, ob die eintretenden Verformungen schadlos

²⁹⁾ DIN 1054, 3.1.2.7 und 4.3.3

³⁰⁾ DIN 1054, 3.1.2.8

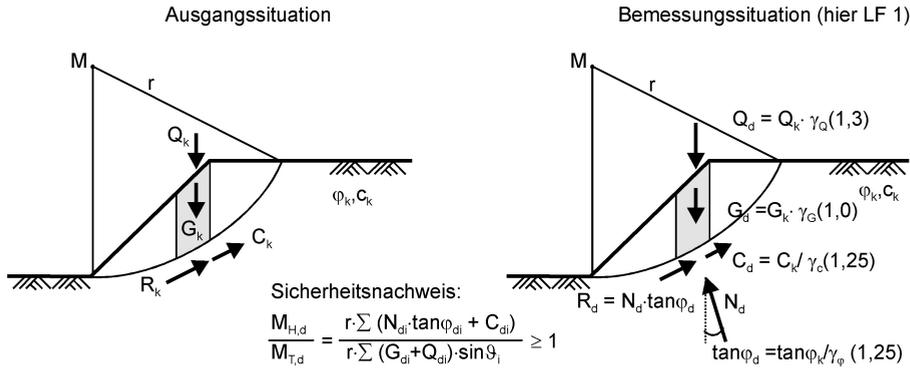


Bild 20. Vorgehensweise bei der Nachweisführung im Grenzzustand GZ 1C für das Beispiel des Böschungsbruchs

vom Bauwerk aufgenommen werden können. Die Verformungen sind dabei immer mit charakteristischen Größen zu bestimmen, d. h. alle Teilsicherheitsbeiwerte sind 1,0. Dies bedeutet, dass die Schnittgrößen direkt aus dem Nachweis für den Grenzzustand der Tragfähigkeit GZ 1B übernommen werden können. Dies ist ein großer Vorteil gegenüber den alternativen Nachweiskonzepten des EC 7-1, bei denen ähnlich wie beim Nachweis für den Grenzzustand GZ 1C vorab die Bemessungsgrößen gebildet werden. Dies bedingt, dass für den Nachweis des Grenzzustands GZ 2 zusätzlich eine komplette Neuberechnung des Systems mit charakteristischen Größen durchgeführt werden muss.

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 GZ 2 müssen daher vorab vom Planer des Bauwerks zulässige Setzungen, Verdrehungen etc. angegeben werden.

Für das in Bild 21 dargestellte nachträglich aufgestockte Gebäude muss z. B. nachgewiesen werden, dass die dadurch bedingte charakteristische (d. h. tatsächliche) Setzung Δs_k , die für den Nachweis des Grenzzustands GZ 2 identisch mit dem Bemessungswert der Setzung Δs_d ist, kleiner bleibt als die durch das Material der Hausanschlussleitung und die Konstruktion des Anschlusses bedingte maximal zulässige Setzung zul Δs .

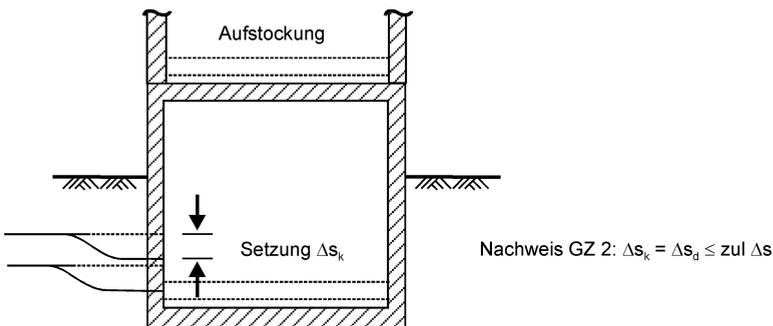


Bild 21. Nachweis der Gebrauchstauglichkeit am Beispiel der Zerstörung einer Hausanschlussleitung durch zu große Setzungen infolge nachträglicher Aufstockung eines Gebäudes

Beim Grenzzustand GZ 2 ist noch folgende Fallunterscheidung zu treffen:

- **Umkehrbarer Grenzzustand,**
d. h. keine bleibende Überschreitung des Grenzzustands nach dem Entfernen der maßgebenden Einwirkung,
- **Nicht umkehrbarer Grenzzustand,**
d. h. bleibende Überschreitung des Grenzzustands nach dem Entfernen der maßgebenden Einwirkung.

4.4 Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054

Für die einzelnen Grenzzustände gelten unterschiedliche Teilsicherheitsbeiwerte, die in Tabelle 2 für die Einwirkungen und in Tabelle 3 für die Widerstände abgedruckt sind. Darin sind die durch die Berichtigung 4³¹⁾ vorgenommenen Änderungen eingeflossen. Kurz vorher wurde eine Berichtigung 3³²⁾ veröffentlicht, die in der Fachwelt jedoch zu heftigen Einsprüchen führte, sodass sie mittlerweile wieder aufgehoben wurde.

Tabelle 2. Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen in Anlehnung an Tabelle 2 von DIN 1054 unter Berücksichtigung von Berichtigung 4

Einwirkungen	Formelzeichen	Lastfall		
		LF 1	LF 2	LF 3
GZ 1A: Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit				
Günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stab}$	0,95	0,95	0,95
Ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	γ_H	1,35	1,30	1,20
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	1,80	1,60	1,35
GZ 1B: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen				
Ständige Einwirkungen allgemein ^{a)}	γ_G	1,35	1,20	1,10
Ständige Einwirkungen aus Erdruhedruck	γ_{E0g}	1,20	1,10	1,00
Günstige ständige Einwirkungen ^{b)}	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,10
GZ 1C: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit				
Ständige Einwirkungen	γ_G	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00
GZ 2: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit				
$\gamma_G = 1,00$ für ständige Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				
$\gamma_G = 1,00$ für veränderliche Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				

^{a)} Einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck

^{b)} Nur im Sonderfall nach 8.3.4 (2). Pfähle mit überwiegender Zugbeanspruchung bei gleichzeitig wirkenden Druck- und Zugkräften

³¹⁾ DIN 1054 Ber 4:2008-06

³²⁾ DIN 1054 Ber 3:2008-01

Tabelle 3. Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände in Anlehnung an Tabelle 3 von DIN 1054

Widerstand	Formelzeichen	Lastfall		
		LF 1	LF 2	LF 3
GZ 1B: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen				
Bodenwiderstände				
Erdwiderstand und Grundbruchwiderstand	γ_{Ep}, γ_{Gr}	1,40	1,30	1,20
Gleitwiderstand	γ_{GI}	1,10	1,10	1,10
Pfahlwiderstände				
Pfahldruckwiderstand bei Probelastung	γ_{Pc}	1,20	1,20	1,20
Pfahlzugwiderstand bei Probelastung	γ_{Pt}	1,30	1,30	1,30
Pfahlwiderstand auf Druck und Zug aufgrund von Erfahrungswerten	γ_P	1,40	1,40	1,40
Verpressankerwiderstände				
Widerstand des Stahlzugliedes	γ_M	1,15	1,15	1,15
Herausziehewiderstand des Verpresskörpers	γ_A	1,10	1,10	1,10
GZ 1C: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit				
Scherfestigkeit				
Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränierten Bodens	γ_φ	1,25	1,15	1,10
Kohäsion c' des dränierten Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	γ_c, γ_{cu}	1,25	1,15	1,10
Herausziehewiderstände				
Boden- bzw. Felsnägel, Ankerzugpfähle	γ_N, γ_Z	1,40	1,30	1,20
Verpresskörper von Verpressankern	γ_A	1,10	1,10	1,10
Flexible Bewehrungselemente	γ_B	1,40	1,30	1,20

5 Zukünftige Normung im Umfeld des EC 7-1

Entsprechend den Ausführungen im Abschnitt 1.2 ist die derzeit bauaufsichtlich eingeführte DIN 1054:2005-01 innerhalb einer vorgegebenen Anpassungs- und Übergangsfrist zurück-zuziehen. Zukünftig wird es nur noch die europäische Sicherheitsnorm für Geotechnik DIN EN 1997-1, die im Oktober 2005 in deutscher Sprache veröffentlicht wurde, in Verbindung mit dem Nationalen Anhang und der Ergänzungsnorm DIN 1054:2009 geben. Um dem Verwender der Normen die Handhabung zu erleichtern, war zum Zeitpunkt der Drucklegung dieses Beitrags geplant, alle drei Regelwerke in einem einzigen Normenhandbuch zusammenzufassen. Da DIN EN 1997-1 in ihrer jetzigen Form mehrere Nachweisverfahren zulässt, bei denen die in DIN 1054:2005-01 geregelten Verfahren enthalten sind, stellt die inhaltliche Integration von DIN 1054 kein größeres Problem dar. Einige sachliche Änderungen sind dennoch zu beachten, auf die nachfolgend kurz eingegangen wird.

5.1 Einwirkungen

Bei den Einwirkungen gilt nach wie vor die aus DIN 1054 bekannte Dreiteilung in Gründungslasten, dynamische Einwirkungen und geotechnische Einwirkungen, wobei Letz-

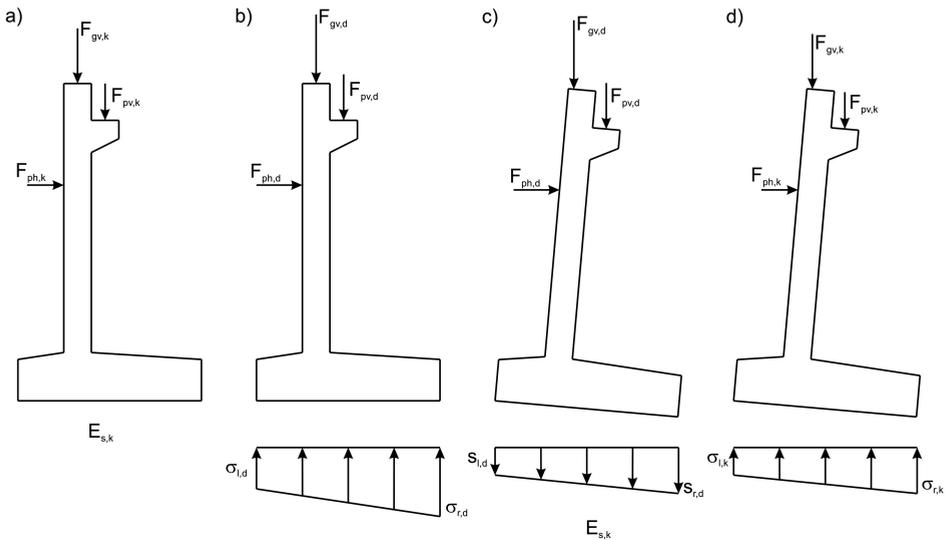


Bild 22. Bestimmung der Gründungslasten nach Theorie 2. Ordnung:

- Ausgangssituation
- erste Berechnung mit Bemessungsgrößen
- Verformungen mit an charakteristischen Lasten orientierten Verformungskennwerten
- zweite Berechnung mit charakteristischen Größen unter Berücksichtigung der unter c) ermittelten Verformungen

tere den bisherigen grundbauspezifischen Einwirkungen entsprechen. Hinsichtlich der Übergabe von Gründungslasten erfolgt eine Präzisierung gegenüber den bisherigen Regelungen. So ist es zunächst einmal zulässig, für die geotechnischen Nachweise auch direkt die Bemessungswerte der Gesamtbeanspruchung statt der charakteristischen bzw. repräsentativen Schnittgrößen zu verwenden, wobei aber explizit darauf hingewiesen wird, dass diese Vorgehensweise zwar auf der sicheren Seite liegt, aber zu unwirtschaftlichen Abmessungen führen kann. Für den Regelfall der linear-elastischen Ermittlung der Schnittgrößen wird der bereits in Abschnitt 3.4.2 aufgezeigte Weg vorgeschlagen. Bei nichtlinearer Berechnung nach Theorie 1. Ordnung darf sich die Aufteilung in ständige und veränderliche Einwirkungen an der Aufteilung orientieren, die sich bei linearer Berechnung ergeben hätte.

Ein weiterer Hinweis erfolgt für die Ermittlung der Gründungslasten von Fundamenten, bei denen die Verkantung zu nennenswerten Zusatzbelastungen führt, sodass die Schnittgrößen nach Theorie 2. Ordnung zu berücksichtigen sind. Gemäß Bild 22 ist dafür folgende Vorgehensweise vorgesehen:

- Erste Berechnung des Tragwerks mit Bemessungswerten der Einwirkungen für die kritischen Einwirkungskombinationen.
- Bestimmung der Verformungen der Gründung mit den nach a) ermittelten Beanspruchungen, wobei die lastabhängigen Verformungskenngrößen wie z. B. der Steifemodul an den charakteristischen Einwirkungen orientiert werden.
- Zweite Berechnung des Tragwerks mit den gleichen Einwirkungskombinationen wie unter a), aber mit charakteristischen bzw. repräsentativen Größen unter Berücksichtigung der in b) ermittelten Verformungen. Die so ermittelten Beanspruchungen in der Gründungsfuge entsprechen den charakteristischen bzw. repräsentativen Gründungslasten.

Der Bemessungswert von Einwirkungen muss entweder direkt festgelegt werden oder er ermittelt sich aus der allgemeinen, aus dem Hochbau bekannten Gleichung, die über den Beiwert ψ auch Kombinationen von Einwirkungen berücksichtigt:

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

Bei der ständigen Einwirkung und der Leiteinwirkung der veränderlichen Einwirkungen ist der Beiwert $\psi = 1,0$. Sofern mehrere unabhängige veränderliche Einwirkungen $Q_{k,j}$ vorhanden sind, ist die Untersuchung von Kombinationen mit jeweils einer anderen unabhängigen Einwirkung als Leiteinwirkung vorzunehmen.

$$Q_{\text{rep}} = Q_{k,1} + \sum_{i>1} \psi_i \cdot Q_{k,i}$$

In vorstehender Formel, die der Nomenklatur des Normenhandbuchs folgt, hat die Zeichenkombination "=" die Bedeutung „ergibt sich aus“ und "+" die Bedeutung „in Verbindung mit“. Sofern nicht die Kombinationswerte für Hochbauten nach Tabelle A 1.1 von DIN EN 1990:2002 anzuwenden sind, gelten in der Geotechnik die Werte für sonstige Einwirkungen ($\psi_0 = 0,8$, $\psi_1 = 0,7$ und $\psi_2 = 0,5$).

Bei den Nachweisen gegen Aufschwimmen und gegen hydraulischen Grundbruch sind die Bemessungswerte ohne Kombinationswerte aus den charakteristischen Werten zu bestimmen.

Wie Tabelle 4 in Abschnitt 5.5 zeigt, sind die Zahlenwerte der Teilsicherheitsbeiwerte unverändert aus DIN 1054 übernommen worden. Es hat lediglich eine in den nächsten Abschnitten noch erläuterte Anpassung der Bezeichnungen bei den Grenzzuständen und den Lastfällen gegeben.

5.2 Widerstände

Die Neuerung bei den Widerständen betrifft im Wesentlichen nur die Tabellen mit den Teilsicherheitsbeiwerten. Wie die Tabellen 5 und 6 in Abschnitt 5.5 zeigen, ist neben der vorgenannten Anpassung der Bezeichnungen auch eine Aufteilung in Teilsicherheitsbeiwerte für geotechnische Größen X (Scherparameter) und für die in Abschnitt 3.4.2 als abgeleitete Widerstände bezeichneten Größen (z. B. Erdwiderstand, Grundbruchwiderstand etc.) vorgenommen worden.

Direkte Angaben zu Sicherheitsbeiwerten für Baustoffe sind jetzt komplett aus den Tabellen herausgenommen. Hier wird auf die jeweiligen materialspezifischen Regelwerke verwiesen. Bei den geometrischen Vorgaben sind in der Regel keine weiteren Sicherheiten einzurechnen, sodass direkt die Nennwerte a_{nom} in die Bemessungsgleichung eingesetzt werden können. Lediglich in Fällen, in denen eine Abweichung von den geometrischen Vorgaben eine nachhaltige Wirkung auf die Zuverlässigkeit eines Bauwerks hat, muss gemäß $a_d = a_{\text{nom}} \pm \Delta a$ ein Zuschlag zu dem Nennwert gemacht werden, der im Einzelnen in den Abschnitten über Flachgründungen und Stützbauwerke auch zahlenmäßig benannt wird.

5.3 Bemessungssituationen

Die bisherigen Lastfälle, die aus der Kombination von Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen gebildet wurden, werden zukünftig als Bemessungssituationen bezeichnet, nach denen sich dann weiterhin die jeweilige Größe der Teilsicherheitsbeiwerte richtet. Bei der Bildung der verschiedenen Bemessungssituationen sind die Kombinationsregeln für die Einwirkungen nach DIN EN 1990 zu beachten. Unterschieden werden:

Bemessungssituation BS-P (Persistent situations)

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

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.

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 außergewöhnlichen Situationen wie z. B. Feuer, extremes 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.

Bemessungssituation BS-E (Earthquake)

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

5.4 Grenzzustände

Auch in DIN EN 1997-1 wird nach Grenzzuständen der Tragfähigkeit (Ultimate Limit State ULS) und Grenzzuständen der Gebrauchstauglichkeit (Serviceability Limit State SLS) unterschieden. Die Grenzzustände der Tragfähigkeit sind in DIN EN 1997-1 allerdings anders bezeichnet und weiter aufgeteilt als in DIN 1054. Im Einzelnen wird unterschieden in:

Grenzzustand EQU

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

Grenzzustand UPL

Gleichgewichtsverlust des Bauwerks oder Baugrunds infolge Auftrieb durch Wasserdruck oder andere Vertikalkräfte.

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.

5.4.1 Grenzzustand EQU

Der Grenzzustand EQU behandelt die Lagesicherheit eines Bauwerks und beschränkt sich in der Geotechnik auf den Kippnachweis, der nach DIN EN 1990 vereinfacht durch Vergleich der destabilisierenden und der stabilisierenden Einwirkungen 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 Nachweis ist erbracht, wenn zu jeder Zeit gilt, dass die destabilisierenden ungünstigen Bemessungseinwirkungen $E_{dst,d}$ kleiner sind als die Summe aus stabilisierenden, günstigen Bemessungseinwirkungen $E_{stb,d}$:

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

Der Grenzzustand EQU muss grundsätzlich von den nachfolgend beschriebenen Nachweisen gegen Aufschwimmen UPL und Hydraulischen Grundbruch HYD unterschieden werden.

5.4.2 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 $V_{dst,d}$ mit den Bemessungsgrößen der günstigen, stabilisierenden und ständigen Einwirkungen $G_{stb,d}$ 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. Ausreichende Sicherheit ist vorhanden, wenn zu jedem Zeitpunkt gilt:

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

Die Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054:2009 sind in Abschnitt 5.5 als Tabelle 4 abgedruckt. Gleiches gilt für die Teilsicherheitsbeiwerte des nachfolgend beschriebenen Grenzzustands HYD.

5.4.3 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:

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

5.4.4 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 :

$$E_d \leq R_d$$

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 2-3 von DIN 1054:2009 auf den in DIN EN 1992 angegebenen Sicherheitsbeiwert für Stahlzugglieder von $\gamma_M = 1,15$ hingewiesen, der dem in DIN 1054:2005-01 angegebenen Wert entspricht. Ebenso findet sich für den Materialwiderstand von flexiblen Bewehrungselementen ein Hinweis auf die EBGEO.

5.4.5 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 die Verfahren 2 und 3 zur Anwendung kommen. Zur sprachlichen Vereinfachung werden die damit nachgewiesenen Grenzzustände als GEO-2 und GEO-3 bezeichnet.

Grenzzustand GEO-2

Das Nachweisverfahren 2 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 ggf. beim Nachweis der Standsicherheit von konstruktiven Böschungssicherungen 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 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. Formal ergeben sich die Bemessungsbeanspruchungen aus:

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

Ein Blick in Tabelle 5 für die Teilsicherheitsbeiwerte γ_M von geotechnischen Kenngrößen zeigt, dass die γ_M -Werte für den Grenzzustand GEO-2 gleich 1,0 sind, d. h. die Beanspruchungen werden tatsächlich zunächst mit charakteristischen Werten gebildet. Die Bemessungsbeanspruchungen werden dann aus diesen charakteristischen Beanspruchungen durch nachträgliche Multiplikation mit einem Teilsicherheitsbeiwert γ_E erhalten.

Entsprechend werden die Bemessungswerte der Widerstände durch Division mit den Teilsicherheitsbeiwerten der Tabelle 6 gebildet. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn für alle untersuchten Situationen

$$E_d \leq R_d$$

gilt.

Grenzzustand GEO-3

Das Nachweisverfahren 3 wird beim Nachweis der Gesamtstandsicherheit maßgebend. Ebenso wird es in der Regel beim Nachweis der Standsicherheit von konstruktiven Böschungssicherungen verwendet. Die Art der Nachweisführung entspricht dem bisherigen Vorgehen im Grenzzustand GZ 1C. Dies bedeutet, dass vor Beginn der eigentlichen Berech-

nung die charakteristischen Werte der Scherfestigkeit mit den Teilsicherheitsbeiwerten von Tabelle 5 in Bemessungswerte der Scherfestigkeit umgerechnet werden. Gleiches gilt für die Einwirkungen. Bei der Bildung der Bemessungsbeanspruchungen dürfen die Kombinationsregeln angewendet werden. Formal ergeben sich die Bemessungsbeanspruchungen aus

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

wobei zu beachten ist, dass gemäß den Zahlenwerten für die Teilsicherheitsbeiwerte für ständige Einwirkungen $\gamma_G = 1,0$ ist, sodass eine echte Erhöhung nur bei den veränderlichen Einwirkungen stattfindet. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn die so berechneten Bemessungsbeanspruchungen immer kleiner sind als die mit reduzierten Scherparametern ermittelten Bemessungswiderstände:

$$E_d \leq R_d$$

5.4.6 Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit SLS

Allgemein muss im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit nachgewiesen werden, dass

$$E_d \leq C_d$$

gilt. Die Gleichung besagt, dass die Beanspruchung E_d derart zu begrenzen ist, dass die mit ihr erhaltenen Verformungen kleiner bleiben als die mit dem Grenzwert der Beanspruchung C_d erhaltenen Werte, 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

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

ergeben. Dabei sind die Kombinationsbeiwerte 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.

5.5 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 1054:2009 wird von der Möglichkeit Gebrauch gemacht, die Teilsicherheitsbeiwerte national zu regeln. Die entsprechenden Tabellen orientieren sich an den beiden bisherigen Tabellen von DIN 1054, wobei aber die neuen Bezeichnungen für die Grenzzustände aufgenommen und die bisherigen Lastfälle durch die Bemessungssituationen ersetzt wurden.

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 nachfolgenden Tabellen 4 bis 6 enthalten die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen γ_F und 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.

Tabelle 4. Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen
(in Anlehnung an Tabelle A 2-1 von DIN 1054:2009 (Entwurf Juni 2008))

Einwirkung und Beanspruchung	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen Lagesicherheit				
Destabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	1,00
Stabilisierende ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stab}$	0,95	0,95	0,95
Destabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
Stabilisierende veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,stab}$	0	0	0
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	γ_H	1,35	1,30	1,20
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	1,80	1,60	1,35
STR und GEO-2: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken, Bauteilen und Baugrund				
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein ^{a)}	γ_G	1,35	1,20	1,10
Beanspruchungen aus günstigen ständigen Einwirkungen ^{b)}	$\gamma_{G,inf}$	1,00	1,00	1,00
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen aus Erdruchdruck	$\gamma_{E0,G}$	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
^{a)} Einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck				
^{b)} Nur im Sonderfall nach 7.6.3.1 (3)P; Pfähle mit überwiegender Zugbeanspruchung bei gleichzeitig wirkenden Druck- und Zugkräften				
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				
$\gamma_G = 1,00$ für veränderliche Einwirkungen bzw. Beanspruchungen				

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

Tabelle 5. Teilsicherheitsbeiwerte für geotechnische Kenngrößen
(in Anlehnung an Tabelle A 2-2 von DIN 1054:2009 (Entwurf April 2008))

Bodenkenngröße	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
HYD und UPL: Grenzzustand des Versagens durch hydraulischen Grundbruch und Aufschwimmen Lagesicherheit				
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 nach DIN EN 1990 keine Teilsicherheitswerte angesetzt.

Tabelle 6. Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände
(in Anlehnung an Tabelle A 2-3 von DIN 1054:2009 (Entwurf April 2008))

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_s	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	$\gamma_b; \gamma_s; \gamma_t$	1,40	1,40	1,40
Zugpfähle (nur in Ausnahmefällen)	$\gamma_{s,t}$	1,50	1,50	1,50

Tabelle 6 (Fortsetzung)

Widerstand	Formelzeichen	Bemessungssituation		
		BS-P	BS-T	BS-A
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				

5.6 Weitere Änderungen

5.6.1 Flachgründungen

Flachgründungen werden in Kapitel 3.1 des dritten Bandes des Grundbau-Taschenbuchs ausführlich behandelt. An dieser Stelle soll der Hinweis genügen, dass bei dem vereinfachten Nachweis die Tabellen für den aufnehmbaren Sohldruck, die bisher charakteristische Werte enthielten, zukünftig Bemessungswerte enthalten werden. Die Beanspruchungen aus Gründungslasten, die als charakteristische bzw. repräsentative Werte übergeben werden, müssen daher bei dem vereinfachten Nachweis zunächst in Bemessungsbeanspruchungen überführt werden.

5.6.2 Pfahlgründungen

Beim Vergleich der Teilsicherheitsbeiwerte für Pfahlwiderstände in Tabelle 6 mit den bisherigen Werten von DIN 1054 in Tabelle 3 fällt auf, dass diese deutlich geringer sind. Damit ist allerdings kein Absinken des bisherigen Sicherheitsniveaus verbunden, da andererseits bei der Festlegung der Pfahlwiderstände andere und höhere Streuungsfaktoren einzusetzen sind. Darauf wird ausführlich in Kapitel 3.2 des dritten Bandes über Pfahlgründungen eingegangen. Weitere Erläuterungen und zusätzliche Tabellen mit Erfahrungswerten der Pfahltragfähigkeit für bislang noch nicht erfasste Pfahlssysteme finden sich in den Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“³³⁾.

³³⁾ EA-Pfähle:2007

6 Zitierte Normen und Empfehlungen

DIN 1054:1976-11 ³⁴⁾	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 Ber4:2008-06	Berichtigung 4 zu DIN 1054:2005-01.
DIN 1055-2:1976-02	Lastannahmen für Bauten – Bodenkenngrößen, Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel.
DIN 1055-100:2001-03	Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 100: Grundlagen der Tragwerksplanung – Sicherheitskonzept und Bemessungsregeln.
DIN EN 1536:1999-06	Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Bohrpfähle.
DIN EN 1537:2001-01	Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Verpressanker.
DIN EN 1990:2002-10	Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.
DIN V ENV 1991-1:1995-12	Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1: Grundlagen der Tragwerksplanung, Deutsche Fassung ENV 1991-1:1994.
DIN EN 1991-1-1:2002-10	Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 1-1: Allgemeine Einwirkungen auf Tragwerke; Wichten, Eigengewicht und Nutzlasten im Hochbau.
DIN V ENV 1991-2-1:1996-01	Eurocode 1: Grundlagen der Tragwerksplanung und Einwirkungen auf Tragwerke – Teil 2-1: Einwirkungen auf Tragwerke; Wichten, Eigenlasten, Nutzlasten.
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; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004.
DIN EN 1997-2:2007-10	Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds; Deutsche Fassung EN 1997-2:2007.
DIN 4014:1990-03	Bohrpfähle – Herstellung, Bemessung und Tragverhalten.
DIN 4017:2006-03	Baugrund – Berechnung des Grundbruchwiderstands von Flachgründungen.

³⁴⁾ Alle DIN-Normen sind im Beuth-Verlag erschienen

DIN 4020:2003-09	Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke.
DIN 4026:1975-08	Rammpfähle – Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung.
E DIN 4084:2002-11	Baugrund – Geländebruchberechnungen.
DIN 4085:2007-10	Baugrund – Berechnung des Erddrucks.
DIN 4149:2005-04	Bauten in deutschen Erdbebengebieten – Lastannahmen, Bemessung und Ausführung üblicher Hochbauten.
DIN EN ISO 14688	Geotechnische Erkundung und Untersuchung – Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Böden – Teil 1 und 2.
DIN 18196:2006-06	Erd- und Grundbau – Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.
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.
EAB, 3. Auflage	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Ernst & Sohn, 1994.
EAB, 4. Auflage	Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, Ernst & Sohn, 2006.
EA-Pfähle	Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“, Ernst & Sohn, 2007.
EAU, 9. Auflage	Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen, Ernst & Sohn, 1996.
EAU, 10. Auflage	Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“, Häfen und Wasserstraßen, Ernst & Sohn, 2004.
EBGEO	Empfehlungen für Bewehrungen mit Geokunststoffen, Ernst & Sohn, 1997.

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] Kuntsche, K.: Geotechnik. Viewegs Fachbücher der Technik. Verlag Vieweg, 2000.
- [3] 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.
- [4] Schuppener, B., Ruppert, F.-R.: Zusammenführung von europäischen und deutschen Normen Eurocode 7, DIN 1054 und DIN 4020. Bautechnik (84), Heft 9, Verlag Ernst & Sohn, 2007.
- [5] 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.
- [6] Ziegler, M.: Geotechnische Nachweise nach DIN 1054, 2. Auflage. Verlag Ernst & Sohn, 2005.