

Geotechnische Nachweise nach EC 7 und DIN 1054

Einführung mit Beispielen

Martin Ziegler

Bauingenieur-Praxis



Martin Ziegler

Geotechnische Nachweise nach EC 7 und DIN 1054
Einführung mit Beispielen

3. Auflage

Geotechnische Nachweise nach EC 7 und DIN 1054 Einführung mit Beispielen

Martin Ziegler

Unter Mitarbeit von:

Benjamin Aulbach

Martin Feinendegen

Marcus Fuchsschwanz

Felix Jacobs

Tobias Krebber

Sylvia Kürten

Rebecca Schüller

Philipp Siebert

Julian Sprengel

Elias Tafur

Judith Tschörtner

Univ. Prof. Dr.-Ing. Martin Ziegler
Lehrstuhl für Geotechnik im Bauwesen und
Institut für Grundbau, Bodenmechanik, Felsmechanik und Verkehrswasserbau
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Mies-van-der-Rohe-Straße 1
52074 Aachen

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische
Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© 2012 Wilhelm Ernst & Sohn,
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG,
Rotherstr. 21, 10245 Berlin, Germany

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten.
Kein Teil dieses Buches darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in
irgendeiner Form – durch Fotokopie, Mikrofilm oder irgendein anderes Verfahren –
reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungs-
maschinen, verwendbare Sprache übertragen oder übersetzt werden.

All rights reserved (including those of translation into other languages). No part of
this book may be reproduced in any form – by photoprinting, microfilm, or any other
means – nor transmitted or translated into a machine language without written
permission from the publisher.

Die Wiedergabe von Warenbezeichnungen, Handelsnamen oder sonstigen
Kennzeichen in diesem Buch berechtigt nicht zu der Annahme, dass diese von
jedermann frei benutzt werden dürfen. Vielmehr kann es sich auch dann um
eingetragene Warenzeichen oder sonstige gesetzlich geschützte Kennzeichen
handeln, wenn sie als solche nicht eigens markiert sind.

Umschlaggestaltung: stilvoll® | Werbe- und Projektagentur, Waldulm
Produktion: NEUNPLUS1 – Verlag + Service, Berlin

Printed in the Federal Republic of Germany.
Gedruckt auf säurefreiem Papier.

3. vollständig überarbeitete Auflage
Print ISBN: 978-3-433-02975-6
ePDF ISBN: 978-3-433-60209-6
ePub ISBN: 978-3-433-60208-9
mobi ISBN: 978-3-433-60207-2
oBook ISBN: 978-3-433-60122-8

Vorwort zur 3. Auflage

Gemäß einem Schreiben der Fachkommission Bautechnik der Bauministerkonferenz der Länder (ARGEBAU) soll zum 1. Juli 2012 das erste Paket der Eurocodes, das mit dem EC 7 auch die Geotechnik umfasst, bauaufsichtlich eingeführt werden. Da es sich voraussichtlich um eine Stichtagsregelung handelt, wird der Anwender gezwungen sein, spätestens ab diesem Zeitpunkt die neuen Regelwerke DIN EN 1997-1:2009-09 als deutsche Fassung des EC 7-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang DIN EN 1997-1/NA:2010-12 und den Ergänzenden Regelungen der DIN 1054:2010-12 zu benutzen. Neben den relativ wenigen inhaltlichen Änderungen und einer ganzen Reihe von Modifikationen bei den Bezeichnungen wird die größte Umstellung für den Anwender darin bestehen, dass ihm nicht mehr wie bisher mit DIN 1054 in der Fassung von 2005 ein einziges, in sich abgeschlossenes Regelwerk für seine tägliche Arbeit zur Verfügung steht, sondern dass er zukünftig alle drei genannten Regelwerke gleichzeitig beachten muss.

Allein der Regelungsumfang hat sich dadurch mehr als verdoppelt. Auch wenn die Anwendung durch das vom DIN e.V. herausgegebene Normenhandbuch, in dem alle Regelwerke drucktechnisch zusammengefasst sind, gegenüber der parallelen Nutzung der drei Regelwerke nebeneinander vereinfacht wird, bleibt die Schwierigkeit, aus dem Normenhandbuch mit einem gegenüber der bisherigen DIN 1054 mehr als doppelt so hohen Regelungsumfang die für Deutschland verbindlichen Regelungen herauszufiltern.

Das vorliegende Buch will helfen, dabei die Übersicht zu behalten. Das Konzept der vorausgegangenen beiden Auflagen wird auch in der jetzigen Auflage beibehalten. Für die wichtigsten geotechnischen Anwendungsfälle werden zunächst, soweit notwendig, die geotechnischen Zusammenhänge und darauf aufbauend die Nachweisführung erläutert. Daran anschließend finden sich Rechenbeispiele, mit denen die Sicherheitsnachweise nach dem EC 7-1 zahlenmäßig nachvollzogen werden können.

In diesem Zusammenhang gilt mein Dank den Mitarbeitern, die bei der Entstehung dieses Buches tatkräftig mitgearbeitet haben und insbesondere die Berechnungsbeispiele beige-steuert haben. Besonders erwähnen möchte ich in diesem Zusammenhang Dipl.-Ing. Benjamin Aulbach, AOR Dipl.-Ing. Martin Feinendegen, Dipl.-Ing. Marcus Fuchsschwanz, Dipl.-Ing. Felix Jacobs, Dipl.-Ing. Sylvia Kürten, Dipl.-Ing. Rebecca Schüller, Dipl.-Ing. Philipp Siebert, Dipl.-Ing. Julian Sprengel, Dipl.-Ing. Elias Tafur und Dipl.-Ing. Judith Tschörtner.

Mein Dank geht ferner an die verschiedenen studentischen Hilfskräfte, die bei der Erstellung der Abbildungen mitgeholfen haben, an Oscar Juarez, M.Sc. und Dipl.-Ing Tobias Krebber für die Durchführung von Vergleichsrechnungen sowie an Frau Herkens, die die Beiträge zu einer druckfähigen Vorlage zusammengeführt hat.

Aachen, im März 2012

M. Ziegler

Vorwort zur 2. Auflage

Mit der Neufassung von DIN 1054 vom Januar 2005 wurden alle Hindernisse beseitigt, die einer bauaufsichtlichen Zulassung von DIN 1054 im Wege standen. Für die bisherige Fassung von November 1976 gilt noch eine Übergangsfrist bis zum 31. Dezember 2007. Damit wird es für jeden im Bereich der Geotechnik tätigen Ingenieur Zeit, sich intensiv mit den neuen Regelungen zu beschäftigen. Dies umso mehr, als in Kürze mit der Veröffentlichung des Eurocodes DIN EN 1997-1 zu rechnen ist, für den DIN 1054 die Grundlage für die Formulierung eines Nationalen Anwendungsdokuments bildet.

Die Anpassung an die bauaufsichtlichen Anforderungen betreffen insbesondere den Sachverständigen für Geotechnik, der in der jetzigen Fassung von DIN 1054 nicht mehr explizit genannt wird. Verantwortlich für die Planung ist vielmehr der Entwurfsverfasser nach § 54 der Musterbauordnung, der nur bei fehlender Sachkunde und Erfahrung auf dem Gebiet der Geotechnik einen entsprechend qualifizierten Sachverständigen beizuziehen hat. Es bleibt zu hoffen, dass die geotechnischen Anforderungen an eine Bauaufgabe vom Entwurfsverfasser richtig erkannt und eingeschätzt werden und er trotz der überall knappen Finanzmittel die Einschaltung eines Sachverständigen für Geotechnik im Bedarfsfall auch nachdrücklich vom Bauherrn einfordert. Dies ist umso wichtiger, als DIN 4020 „Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke“ als maßgebende Vorschrift für die Baugrunduntersuchung formal nicht bauaufsichtlich eingeführt wird. Allerdings findet sich bei der Aufnahme von DIN 1054 in die Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen in der Fassung von Februar 2005 der Hinweis, dass in DIN 1054 wiederholt Bezug auf die Ergebnisse von Baugrunduntersuchungen genommen wird, die den Anforderungen von DIN 4020:2003-09 genügen müssen. Dabei wird außerdem gefordert, dass die Baugrunduntersuchungen vor der konstruktiven Bearbeitung der baulichen Anlage vorliegen müssen. Dadurch sind, wenn auch leider etwas versteckt, eindeutige Vorgaben an die Art, den Umfang und den Zeitpunkt einer qualifizierten Baugrunduntersuchung formuliert, deren konsequente Beachtung sicher zu einem konflikt- und schadensärmeren Bauen führen würde.

Die sonstigen Änderungen in der Neufassung von DIN 1054 betreffen im Wesentlichen die Regelungen für Zugpfahlgruppen und verankerte Konstruktionen beim Nachweis gegen Abheben und indirekt den Nachweis der Tiefen Gleitfuge, der jetzt durch die zwischenzeitlich erschienene 10. Auflage der Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ konkretisiert werden konnte und entsprechend überarbeitet in die neue Auflage dieses Buches aufgenommen wurde.

Dank sagen möchte ich meinen Mitarbeitern, die mich wie schon bei der 1. Auflage tatkräftig unterstützt haben. Mein Dank geht auch an die Fachkollegen des für DIN 1054 zuständigen Normenausschusses, namentlich an die Herren Dr. Schuppener, Prof. Vogt, Prof. Walz, Prof. Weißenbach und Dr. von Wolffersdorff für ihre wertvollen Hinweise und Interpretationshilfen für den neuen Normungstext.

Aachen, im Juli 2005

M. Ziegler

Vorwort zur 1. Auflage

„Sicherheit ist in der Geotechnik nicht eindeutig bestimmbar“, so die Kernaussage eines Dialogs zwischen Clever und Smart in einer Glosse zum Thema Sicherheit in der Geotechnik¹. Clever weiter: „Ingenieure müssen ihre Entscheidungen umsichtig treffen unter Berücksichtigung aller denkbaren Entwicklungen sowie aller vorliegenden Erfahrungen. Sie müssen vor allem wissen, dass sie die Sicherheit eines Bauwerks nicht durch eine Zahl ausdrücken können. Sie können ihre Verantwortung nicht auf eine Norm oder einen Berechnungsalgorithmus abschieben.“ Diese von Clever an einen Ingenieur gestellten Anforderungen sind sicher uneingeschränkt zu bejahen. Auch wird man schwer die Aussage widerlegen können, dass die Sicherheit eines Bauwerks sich nicht durch eine einzige Zahl ausdrücken lässt. Brauchen wir also überhaupt Normen und darüber hinaus sogar Bücher, die diese Normen noch erklären? Reicht es nicht aus, ein Bauwerk auf der Grundlage fundierten Ingenieursachverständs zu dimensionieren?

Folgt man den Gedankengängen von Clever so ist man versucht, diese letzte Frage zu bejahen. Aber müsste man dann nicht in der Lage sein, Ingenieursachverständ als objektive Größe zu beschreiben? Dies wird einem nicht gelingen, denn bei zwei Menschen wird der Wissenshintergrund und Erfahrungshorizont immer unterschiedlich sein, so dass sie trotz konsequenter Anwendung ihres Sachverständs zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen können. Und genau hieraus gründet sich die Notwendigkeit von Normen. Normen vereinheitlichen Berechnungsansätze und spiegeln mit ihren Vorgaben für bestimmte Vorgehensweisen, Bauteilabmessungen oder Materialkennwerte die über Jahrzehnte gesammelten Erfahrungen der Fachwelt wider. So kann bis zu einem gewissen Grad vermieden werden, dass erkannte Fehler aus der Vergangenheit von einem unerfahrenen oder nicht wissenden Ingenieur wiederholt werden. Im Prinzip gelangt auch Clever zu dieser Einsicht, wenn er fordert: „Normen sollen Konventionen vereinheitlichen und ansonsten einfach bleiben. Ingenieure sollen ihr Denkvermögen zum Verstehen der mechanischen Vorgänge einsetzen und nicht mit dem Verstehen von komplizierten Normen vergeuden“.

Genau an dieser Stelle liegt der Grund für das Entstehen dieses Buches. Normentexte bleiben auf Grund ihres allgemeinverbindlichen und abschließenden Charakters abstrakt. Da Normen keine Lehrbücher sein sollen und daher weitgehend auf erläuternden Text verzichten, wird das Verständnis von Normentexten oftmals sehr erschwert. Die vielen Querverweise innerhalb eines Normentextes tragen ein Übriges dazu bei.

Diesem Manko soll DIN 1054 betreffend durch dieses Buch abgeholfen werden. Deshalb sind jedem Kapitel vor den Zahlenbeispielen textliche Erläuterungen zu den bodenmechanischen Zusammenhängen vorangestellt, die dazu dienen sollen, die eine oder andere unkommentierte Regelung oder Festlegung von DIN 1054 zu verstehen. Dies gelingt nicht in allen Fällen, da manche Regelungen nur deshalb eingeführt wurden, damit das bislang mit

¹ Kolymbas, D. und Fellin, W.: Zwischenruf: Ein Dialog über die Sicherheit in der Geotechnik, Bau-technik 80 (2003), Heft 7, Ernst & Sohn

dem globalen Sicherheitskonzept (zahlenmäßig) erreichte Sicherheitsniveau auch weiterhin erhalten bleibt.

Wer sich eingehender mit dem Teilsicherheitskonzept von DIN 1054 beschäftigt, wird im übrigen feststellen, dass die Aufgabe eines Sicherheitsnachweises für die Tragfähigkeit nicht darin besteht, eine definierte Sicherheitszahl anzugeben, sondern vielmehr nachzuweisen, dass ein bestimmter Mindestabstand vom Grenzzustand der Tragfähigkeit eingehalten wird. Dies erfolgt durch den Nachweis, dass die in die Grenzzustandsgleichung eingesetzten Bemessungswiderstände immer größer als die Bemessungseinwirkungen bleiben. Bei den Bemessungsgrößen handelt es sich um fiktive Größen, die bei den Widerständen durch eine Verminderung und bei den Einwirkungen durch eine Erhöhung mit einem definierten Sicherheitsfaktor aus den tatsächlich vorhandenen, aber vorsichtig abgeschätzten charakteristischen Größen erhalten werden. Die Norm legt somit lediglich die Rechengänge für die Berechnung der Bemessungsgrößen und ggf. die Formulierung der Grenzzustandsgleichung fest.

Was sie definitiv nicht festlegt, ist die Zuweisung charakteristischer Werte bei einem geotechnischen Randwertproblem. Hierfür werden lediglich allgemeine Hilfestellungen angeboten. Die wesentliche Ingenieuraufgabe besteht daher darin, die tatsächlich vorhandenen komplexen Verhältnisse durch ein möglichst einfaches, aber dennoch ausreichend genaues Tragsystem abzubilden, und die charakteristischen Größen sowohl auf der Einwirkungs- als auch auf der Widerstandsseite zutreffend festzulegen. Dabei sind der ganze Sachverstand und die Erfahrung des entwerfenden Ingenieurs und des Sachverständigen für Geotechnik gefordert. Die von ihnen getroffenen Festlegungen definieren die eigentliche Sicherheit einer Konstruktion. Die darauf aufbauende Anwendung der Norm zeigt unter Verwendung festgelegter Konventionen lediglich, welcher rechnerische Sicherheitsabstand zum Grenzzustand besteht.

Wer sich diese Zusammenhänge verdeutlicht, wird auch keine Schwierigkeiten damit haben, den von Clever geforderten Ingenieursachverstand und die von ihm im Prinzip abgelehnten Normen in Einklang zu bringen.

An der Entstehung dieses Buches haben die Mitarbeiter am Lehrstuhl, Herr Dipl.-Ing. Christian Baier, Herr Dipl.-Ing. Martin Feinendegen, Herr Dipl.-Ing. Steffen Giese, Frau Dipl.-Ing. Alla Prokhorova, Herr Dipl.-Ing. Parviz Sadegh-Azar, Herr Dipl.-Ing. Volker Timmers und Herr Dipl.-Ing. Bernd Ulke durch Textbeiträge und die Ausarbeitung der Zahlenbeispiele in erheblichem Maße beigetragen. Dafür sei ihnen an dieser Stelle herzlich gedankt. Danken möchte ich auch Frau Gertrud Stahl, die sich der großen Mühe unterzog, den Text druckreif zu formatieren. In diesen Dank möchte ich auch die studentischen Hilfskräfte einschließen, von denen ich stellvertretend Herrn Christian Topler nennen möchte, der einen Großteil der Abbildungen anfertigte. Ein ganz besonderer Dank geht an meinen Kollegen Prof. Dr.-Ing. Konrad Kuntsche, der den Entwurf dieses Buches mit großer Sorgfalt und konstruktiver Kritik kommentiert hat. Nicht in meinem Dank vergessen will ich auch meine Familie, die durch ihre Nachsicht und Geduld erst die Freiräume schuf, die es mir ermöglichten, dieses Buch zu schreiben.

Aachen, im Juni 2004

M. Ziegler

Hinweise zum Gebrauch dieses Buches

Dieses Buch erläutert in insgesamt neun Kapiteln den Eurocode EC 7-1 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang und den Ergänzenden Regelungen der DIN 1054 in der Fassung von Dezember 2010. Neben den allgemein gültigen Regelungen des EC 7-1 liegt der Fokus dabei auf der Vorstellung der nationalen Regelungen der DIN 1054. Die einzelnen Kapitel können weitgehend unabhängig voneinander gelesen werden. Allerdings empfiehlt es sich, mit dem ersten Kapitel zu beginnen, da dort zunächst eine allgemeine Übersicht über die Grundsätze und Begriffe der neuen Normen gegeben wird, die sich dann präzisiert für die einzelnen Themen in den folgenden Kapiteln wieder finden. Anschließend sollte Kapitel 2 über die Erddruckermittlung gelesen werden, da diese in den Folgekapiteln immer wieder benötigt wird.

Generell bezieht sich der Verweis auf eine Kapitelnummer auf die entsprechende Passage dieses Buches, während der Verweis auf einen Abschnitt den jeweiligen Abschnitt der zitierten Norm meint. Zitate aus der Norm sind in Anführungszeichen gesetzt.

Den Zahlenbeispielen ist eine textliche Erläuterung vorangestellt, die soweit nötig und möglich, die bodenmechanischen Zusammenhänge erläutert, die hinter den einzelnen Regelungen von EC 7-1 und DIN 1054 stecken. Soweit notwendig, wird auch auf die wesentlichen mitgeltenden Normen und Empfehlungen wie z. B. DIN 4085, EAB oder EAU eingegangen.

Um die Lesbarkeit zu fördern, wird weitgehend darauf verzichtet, Querverweise zur Norm nur durch die Angabe des jeweiligen Abschnitts zu geben. Stattdessen wird die zugehörige Regelung im Text erläutert. Der Bezug zum betreffenden Abschnitt der Norm wird durch eine entsprechende Fußnote hergestellt. Soweit nicht explizit anders bezeichnet, wird unter DIN 1054 die im Dezember 2010 erschienene Neufassung verstanden. Eine Zusammenstellung aller zitierten Normen und Empfehlungen findet sich am Ende dieses Buches.

An mehreren Stellen des Buches sind Hinweise eingearbeitet, die in Kursivschrift gehalten sind. Sie brauchen für das Verstehen der Neuregelungen nicht zwingend gelesen zu werden, fördern aber das Verständnis, da sie oft die Unterschiede zu den bisherigen Regelungen erläutern oder Hintergründe der neuen Regelungen vertieft erläutern.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 3. Auflage	V
Vorwort zur 2. Auflage	VI
Vorwort zur 1. Auflage	VII
Hinweise zum Gebrauch dieses Buches	IX

1 Einführung und Begriffe	1
1.1 Historischer Rückblick	1
1.2 Anwendungsbereich.....	6
1.3 Baugrunderkundung und Geotechnische Kategorien	7
1.4 Erläuterungen wichtiger Begriffe.....	10
1.4.1 Einwirkungen	10
1.4.2 Widerstände	15
1.4.3 Auswirkung von Einwirkungen (Beanspruchungen)	18
1.4.4 Charakteristische Werte	19
1.4.5 Duktilität	22
1.4.6 Repräsentativer Wert einer Einwirkung	23
1.4.7 Bemessungssituationen	24
1.4.8 Bemessungswerte.....	25
1.4.9 Nachweisverfahren.....	29
1.5 Sicherheitskonzepte	35
1.5.1 Globales Sicherheitskonzept	35
1.5.2 Teilsicherheitskonzept.....	36
1.5.3 Ausnutzungsgrad der Widerstände.....	36
1.6 Grenzzustände	37
1.6.1 Verlust der Lagesicherheit (EQU).....	38
1.6.2 Aufschwimmen (UPL).....	38
1.6.3 Hydraulischer Grundbruch (HYD).....	39
1.6.4 Materialversagen (STR).....	39
1.6.5 Baugrundversagen (GEO).....	40
1.6.6 Gebrauchstauglichkeit (SLS)	42
1.7 Beispiel für eine Anwendung der Kombinationsregeln in der Geotechnik	44
2 Erddruckermittlung	49
2.1 Allgemeines	49
2.2 Aktiver Erddruck.....	49
2.2.1 Neigungswinkel des aktiven Erddrucks	49
2.2.2 Verteilung des Erddrucks.....	50
2.2.3 Erddruckanteil infolge Bodeneigenlast	50
2.2.4 Erddruckanteil infolge einer großflächig verteilten vertikalen Oberflächenlast	52

2.2.5	Erddruckanteil infolge Linien- und Streifenlasten	52
2.2.6	Erddruckanteil infolge Kohäsion	53
2.2.7	Berücksichtigung des Mindesterdruks	53
2.3	Erdruchdruck	54
2.4	Passiver Erddruck (Erdwiderstand)	55
2.4.1	Neigungswinkel des passiven Erddrucks	56
2.4.2	Erddruckanteil infolge Bodeneigenlast	57
2.4.3	Erddruckanteil infolge Kohäsion	57
2.4.4	Erddruckanteil infolge einer großflächig verteilten vertikalen Oberflächenlast	58
2.5	Sonderfälle	58
2.5.1	Verdichtungserddruck	58
2.5.2	Silodruck	59
2.5.3	Erddruck bei dynamischen Anregungen des Bodens	60
2.6	Erddruckansatz in Abhängigkeit von der Verschiebung	60
2.7	Beispiele	61
2.7.1	Erddruckermittlung für eine Gewichtsstützmauer	61
2.7.2	Erddruckermittlung für ein Tunnelbauwerk	68
3	Gesamtstandsicherheit	75
3.1	Allgemeines	75
3.2	Zuordnung zu den Geotechnischen Kategorien	76
3.3	Versagensmechanismen	77
3.4	Gleitkreisberechnung	79
3.4.1	Grenzzustandsbetrachtung im einfachen, allgemeinen Fall	80
3.4.2	Einwirkungen und Beanspruchungen aus Wasserdruck und Strömungskräften	86
3.4.3	Widerstände aus Zuggliedern, Dübeln, Pfählen und Steifen	89
3.5	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	97
3.6	Beispiele	98
3.6.1	Böschung mit Schmierschicht	98
3.6.2	Durchströmte Böschung	109
3.6.3	Vorgespannte Verankerung	115
4	Flächengründungen	120
4.1	Erforderliche Nachweise	120
4.2	Zuordnung zu den Geotechnischen Kategorien	121
4.3	Einwirkungen	122
4.4	Charakteristische Beanspruchungen	125
4.5	Bemessungswerte der Beanspruchungen	126
4.6	Charakteristische Widerstände des Baugrunds	127
4.6.1	Gleiten	127
4.6.2	Grundbruch	129
4.7	Bemessungswerte der Widerstände	131
4.8	Nachweise	132
4.8.1	Nachweis der Tragfähigkeit	132
4.8.2	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	133
4.8.3	Vereinfachter Nachweis in Regelfällen mit Tabellenwerten	135
4.9	Beispiele	140

4.9.1	Streifenfundament mit horizontalen Lasten	140
4.9.2	Einzelfundament mit geneigter Sohlfuge	147
4.9.3	Vereinfachte Nachweisführung für ein Streifenfundament	158
5.	Pfahlgründungen	162
5.1	Allgemeines	162
5.2	Pfahlssysteme	163
5.3	Zuordnung zu den Geotechnischen Kategorien	166
5.4	Einwirkungen	167
5.4.1	Gründungslasten	167
5.4.2	Geotechnische Einwirkungen	167
5.5	Beanspruchungen	172
5.5.1	Charakteristische Beanspruchungen	172
5.5.2	Bemessungsbeanspruchungen	172
5.6	Axiale Pfahlwiderstände	174
5.6.1	Statische Probelastungen	174
5.6.2	Dynamische Probelastung und Stoßversuche	176
5.6.3	Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten	179
5.6.4	Pfahlwiderstand bei Pfahlgruppen	187
5.7	Bemessungswert der axialen Pfahlwiderstände	188
5.8	Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse	189
5.8.1	Pfahlwiderstand für Einzelpfähle	189
5.8.2	Quer zur Pfahlachse belastete Pfahlgruppen	189
5.9	Nachweise der Tragfähigkeit	191
5.9.1	Axial belastete Pfähle	191
5.9.2	Quer zur Pfahlachse belastete Pfähle	192
5.9.3	Pfahlgruppen	193
5.9.4	Kombinierte Pfahl-Plattengründung	195
5.9.5	Innere Bemessung des Pfahls (Materialversagen)	195
5.9.6	Knicknachweis	195
5.9.7	Gesamtstandsicherheit	196
5.10	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	196
5.10.1	Axial belastete Pfähle	196
5.10.2	Quer zur Pfahlachse belastete Pfähle	199
5.10.3	Pfahlgruppen	199
5.11	Beispiele	200
5.11.1	Bohrpfahlbemessung mit Erfahrungswerten	200
5.11.2	Pfahlwiderstandsermittlung aus Probelastungen	207
5.11.3	Quer zur Pfahlachse beanspruchte Pfahlgruppe	212
6	Stützbauwerke	224
6.1	Einteilung der Stützbauwerke	224
6.1.1	Gewichtsstützwände	224
6.1.2	Im Boden einbindende Wände (Baugrubenwände)	224
6.1.3	Zusammengesetzte Stützkonstruktionen (konstruktive Böschungssicherungen)	225
6.2	Einstufung in die Geotechnischen Kategorien	226

6.3	Grenzzustände	227
6.4	Einwirkungen	228
6.4.1	Besonderheiten beim Erddruck	228
6.4.2	Wasserdruck	231
6.5	Bemessung	231
6.5.1	Ermittlung der Beanspruchungen	231
6.5.2	Ermittlung der Widerstände	232
6.5.3	Grenzzustand der Tragfähigkeit	232
6.5.4	Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	233
6.6	Besonderheiten konstruktiver Böschungssicherungen	234
6.6.1	Allgemeines	234
6.6.2	Einwirkungen und Beanspruchungen	235
6.6.3	Material- und Herausziehwiderstand	237
6.6.4	Grenzzustand der Tragfähigkeit	238
6.7	Beispiele	238
6.7.1	Bemessung einer Winkelstützwand	238
6.7.2	Erddruckermittlung für eine Gewichtsstützwand aus Gabionen	251
6.7.3	Geogitter bewehrte Wand	257
7	Baugrubenwände	269
7.1	Grenzzustände	269
7.2	Statische Systeme	270
7.3	Einwirkungen und Beanspruchungen	272
7.3.1	Erddruck	272
7.3.2	Wasserdruck	276
7.4	Widerstände	278
7.4.1	Erdwiderstand	278
7.4.2	Verformungsabhängige seitliche Bodenreaktion	279
7.4.3	Materialwiderstände	281
7.5	Statische Berechnung	281
7.6	Nachweise der Grenzzustände	283
7.6.1	Gesamtstandsicherheit	283
7.6.2	Versagen bodengestützter Wände durch Drehung	284
7.6.3	Versagen bodengestützter Wände durch Vertikalbewegung	284
7.6.4	Innere Bemessung von Stützbauwerken	286
7.6.5	Versagen von Verankerungen	286
7.6.6	Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstands	287
7.6.7	Versagen in der tiefen Gleitfuge	288
7.6.8	Versagen von flüssigkeitsgestützten Schlitzten	290
7.6.9	Weitere Nachweise	290
7.6.10	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	291
7.7	Beispiele	291
7.7.1	Im Boden frei aufgelagerte, einfach rückverankerte Spundwand ohne Grundwasser	291
7.7.2	Im Boden frei aufgelagerte, einfach rückverankerte Spundwand mit umströmtem Wandfuß	313

8	Verankerungen	336
8.1	Allgemeines	336
8.2	Zuordnung zu den Geotechnischen Kategorien	337
8.3	Einwirkungen und Beanspruchungen.....	337
8.4	Widerstände	339
8.4.1	Herauszieh Widerstand	339
8.4.2	Materialwiderstand des Stahlzugglieds	342
8.5	Nachweise	342
8.5.1	Nachweis der Tragfähigkeit	342
8.5.2	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	343
8.6	Hinweise zu DIN EN 1537 und DIN SPEC 18537	343
8.6.1	Bemessung	344
8.6.2	Ankerprüfungen	344
8.6.3	Rechnerische freie Stahllänge	346
8.6.4	Festlegekraft.....	348
8.7	Beispiel: Verpressanker für Baugrubenverbau.....	348
9	Hydraulisch verursachtes Versagen	355
9.1	Allgemeines	355
9.1.1	Geltungsbereich	355
9.1.2	Zuordnung zu den Geotechnischen Kategorien	356
9.1.3	Abgrenzung des Nachweises der Sicherheit gegen Aufschwimmen vom Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch.....	356
9.1.4	Nachweisführung in den Grenzzuständen UPL und HYD.....	358
9.2	Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen.....	360
9.2.1	Nachweis bei alleiniger Wirkung des Bauwerkseigengewichts	360
9.2.2	Nachweis bei Mitwirkung von Scherkräften.....	361
9.2.3	Nachweis bei rückverankerten Konstruktionen	364
9.2.4	Beispiel zum Auftriebsnachweis.....	368
9.3	Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch.....	375
9.3.1	Allgemeines	375
9.3.2	Berücksichtigung der geometrischen Randbedingungen	378
9.3.3	Geschichteter und anisotroper Baugrund	378
9.3.4	Näherungsverfahren	379
9.3.5	Beispiel zum Nachweis gegen hydraulischen Grundbruch	381
9.4	Innere Erosion und Piping (Erosionsgrundbruch).....	386
9.5	Ergänzungen zur Abgrenzung zwischen Aufschwimmen und hydraulischem Grundbruch	388
	Zitierte Normen und Empfehlungen	391
	Literaturverzeichnis.....	395

1 Einführung und Begriffe

1.1 Historischer Rückblick

Seit mehr als 20 Jahren bemüht man sich auf europäischer Ebene, ein verbindliches Nachweisverfahren für die Bestimmung der Sicherheit im Bauwesen zu finden. Dabei wird die Harmonisierung der unterschiedlichen Vorschriften innerhalb der Europäischen Union durch das europäische Normeninstitut CEN (Comité Européen de Normalisation) vorgenommen. Die Normen werden in so genannten Technischen Komitees entwickelt, unter denen das Technische Komitee TC 250 die Aufgabe hat, mit den Eurocodes EC 0 bis EC 9 ein einheitliches Sicherheitskonzept für das gesamte Bauwesen zu erarbeiten (Bild 1-1).

In EC 0 sind die allgemein gültigen Grundsätze des neuen Sicherheitskonzeptes beschrieben. In EC 1 finden sich die Vorgaben zu den Einwirkungen und Lastfällen. Es folgen die fachspezifischen Eurocodes, wobei für die Geotechnik EC 7 maßgebend ist. Er untergliedert sich zukünftig in

- Teil 1: Allgemeine Regeln,
- Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds.

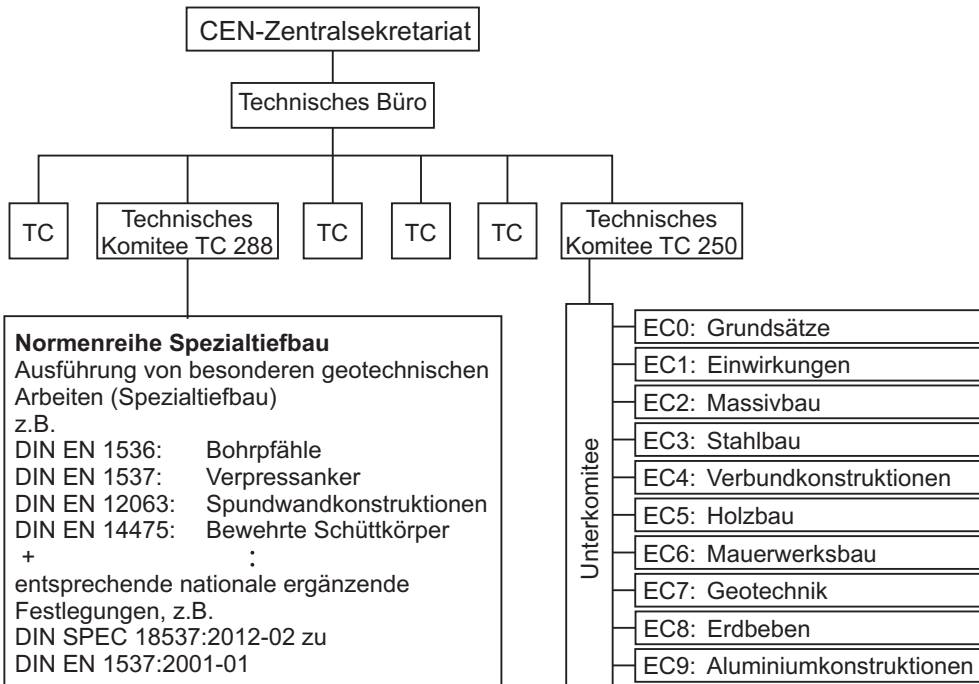


Bild 1-1 Organisation des europäischen Normeninstituts CEN

Neben dem TC 250 ist das TC 288 für den Bereich der Geotechnik wichtig. Dort wird unter dem Überbegriff „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)“ eine Reihe von Fachnormen erarbeitet, die sich mit der Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau beschäftigen (z.B. DIN EN 12699 „Verdrängungspfähle“). Ähnlich wie DIN 1054 in der Fassung vom Dezember 2010¹ nur noch die national festzulegenden ergänzenden Regelungen zum EC 7-1 enthält, stellen die Normen der DIN SPEC-Serie die nationalen ergänzenden Regelungen zu den Ausführungsnormen dar.

Zwei Jahre nach der Veröffentlichung des englischen Textes von EC 7 erschien 1996 die deutsche Übersetzung als deutsche und europäische Vornorm DIN V-ENV 1997-1 unter dem Titel „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik; Teil 1: Allgemeine Regeln“². Gleichzeitig wurde DIN V 1054-100³ mit ihren Fachnormen als zugehöriges nationales Anwendungsdokument (NAD) in der Normenreihe mit dem Zusatz -100 ebenfalls als Vornorm veröffentlicht.

Aufgabe der damals noch als NAD bezeichneten Ausarbeitung war es, die zum Teil recht allgemein gehaltenen Grundsätze im EC 7-1 länderspezifisch mit konkreten Inhalten zu hinterlegen, insbesondere dort, wo EC 7-1 Alternativen zulässt. Ein Blick in DIN V 1054-100 zeigt allerdings, dass es sich dabei um eine eigenständige und vollständige Norm zur Betrachtung der Sicherheit in der Geotechnik handelte, die zudem einige gravierende inhaltliche Unterschiede zum EC 7-1 enthielt.

Diese betrafen z.B. die Berechnung des Erddrucks oder die Zuordnung der geotechnischen Nachweise zu einem Grenzzustand. Auf deutscher Seite hat man darauf bestanden, die überwiegende Anzahl der geotechnischen Nachweise wie z.B. Gleiten und Grundbruch für den Grenzzustand GZ 1B (heutige Bezeichnung GEO-2) zu führen. Nach EC 7-1 in der Fassung von 1996 hingegen erfolgen diese Nachweise ausschließlich für den Grenzzustand GZ 1C (heutige Bezeichnung GEO-3). Hätte man dieses Konzept übernommen, wäre das in Deutschland bewährte Sicherheitsniveau aufgegeben worden. Auf die Unterschiede der Nachweisführung in den verschiedenen Grenzzuständen wird später noch im Einzelnen eingegangen.

Die zuvor genannten Gegensätze führten konsequenterweise zur Entwicklung einer zunächst eigenständigen DIN 1054. Sie erschien als Entwurf⁴ im Dezember 2000. Bis auf die Nachweise der Gesamtstandsicherheit (GZ 1C) und der Lagesicherheit (GZ 1A) war darin durchgängig die Philosophie zu finden, die Nachweise im Grenzzustand GZ 1B zu führen, bei dem das System zunächst mit charakteristischen Größen durchgerechnet wird und die Teilsicherheitsbeiwerte erst unmittelbar vor Auswertung der Grenzzustandsgleichung in die Berechnung aufgenommen werden. Der Gelbdruck von E DIN 1054 enthielt allerdings noch sehr viele Fehler, die erst mit ihrer Veröffentlichung im Weißdruck⁵ im Januar 2003 bereinigt wurden.

¹ DIN 1054:2010-12

² DIN V-ENV 1997-1:1996-04

³ DIN V 1054-100:1996-04

⁴ E DIN 1054:2000-12

⁵ DIN 1054:2003-01

Bereits zwei Jahre später ist DIN 1054 in zweiter Auflage¹ erschienen. Grund für die Neuauflage war neben der Berichtigung von Schreib- und kleineren inhaltlichen Fehlern insbesondere die Anpassung an die Erfordernisse für die bauaufsichtliche Einführung. Diese betrafen neben der Abgleichung der normativen Verweise in erster Linie die Rolle des Sachverständigen für Geotechnik, der in der Fassung von Januar 2005 nicht mehr explizit genannt wurde. Des Weiteren enthielten zwei neu aufgenommene Anhänge F und G Übergangsregelungen für Normen und Technische Baubestimmungen, die bis zum damaligen Zeitpunkt noch nicht auf das neue Teilsicherheitskonzept umgestellt worden waren. Nach diesen Anpassungen wurde DIN 1054 zügig in die Musterliste der Technischen Baubestimmungen der Fachkommission Bau aufgenommen und durch die Länder bauaufsichtlich eingeführt.

Nach der bauaufsichtlichen Einführung von DIN 1054 in der Fassung von 2005 konnte die alte Norm aus dem Jahr 1976 mit ihren Fachnormen noch während einer Übergangsfrist von drei Jahren weiter angewendet werden, sofern der Auftraggeber nicht explizit die Anwendung der neuen Norm forderte. Generell bestand allerdings ein Mischungsverbot zwischen Normen der alten und der neuen Generation.

Im Gegensatz zur Fassung von 2005, die als übergeordnete Grundsatznorm der Geotechnik betrachtet werden konnte, war die alte Ausgabe von 1976 keineswegs so umfassend. Sie stellte eher eine „Gründungsnorm“ dar, was auch schon durch den Titel „Zulässige Belastung des Baugrunds“ zum Ausdruck kommt. Viele Regelungen zur Nachweisführung und zur Berechnung der Sicherheit waren dabei nicht in der alten Ausgabe von DIN 1054 selbst, sondern in den einzelnen Fachnormen enthalten.

Generell wurde bei der alten Normenreihe von 1976 das globale Sicherheitskonzept angewendet, bei dem die maximal mobilisierbaren charakteristischen Widerstände R_k den vorhandenen charakteristischen Beanspruchungen E_k gegenübergestellt wurden. Zum Teil war aber auch schon alternativ die Nachweisführung nach dem Teilsicherheitskonzept mit abgeminderten Scherparametern erlaubt, so z.B. in DIN 4017:1979-08 (Grundbruch) und in DIN 4084:1981-07 (Gelände- und Böschungsbruch).

Im Gegensatz dazu wird in den nachfolgenden Versionen von DIN 1054 durchgängig das Teilsicherheitskonzept angewendet. Dabei werden die mit individuellen Teilsicherheitsbeiwerten erhöhten Bemessungsbeanspruchungen E_d den mit anderen individuellen Teilsicherheitsbeiwerten verminderten Bemessungswiderständen R_d gegenübergestellt. Wie später noch ausführlich erläutert wird, werden dabei die Teilsicherheitsbeiwerte je nach betrachtetem Grenzzustand erst unmittelbar vor Auswertung der Grenzzustandsgleichung (Grenzzustand GEO-2) oder bereits vor der eigentlichen Berechnung (Grenzzustand GEO-3) eingeführt. Ausreichende Sicherheit ist gegeben, wenn $R_d - E_d \geq 0$ gilt.

Parallel zur Neufassung von DIN 1054 war mit der Überarbeitung des Eurocode EC 7-1 begonnen worden, der in Deutschland im Oktober 2005 als deutsche Norm DIN EN 1997-1 erschien.

¹ DIN 1054:2005-01

In dieser Fassung des EC 7-1 stehen verschiedene Nachweiskonzepte gleichberechtigt nebeneinander, so u.a. auch die Vorgehensweise nach DIN 1054:2005-01. Die Hauptkonfliktpunkte, die zur Parallelentwicklung von DIN 1054 geführt hatten, waren damit beseitigt.

Mit der Ratifizierung des EC 7-1 begann die eigentlich nur zweijährige Kalibrierungsphase, innerhalb derer die nationalen Normen an den EC-7-1 anzupassen waren und ein Nationaler Anhang (NA) geschaffen werden musste.

Direkt anschließend sollte die so genannte Koexistenzperiode von drei Jahren beginnen, innerhalb derer die nationalen Normen noch parallel neben dem Eurocode hätten angewendet werden dürfen. Die im Januar 2005 erschienene Fassung von DIN 1054 hätte nach diesem Zeitplan dann bereits im Jahr 2010 wieder zurückgezogen werden müssen (Bild 1-2).

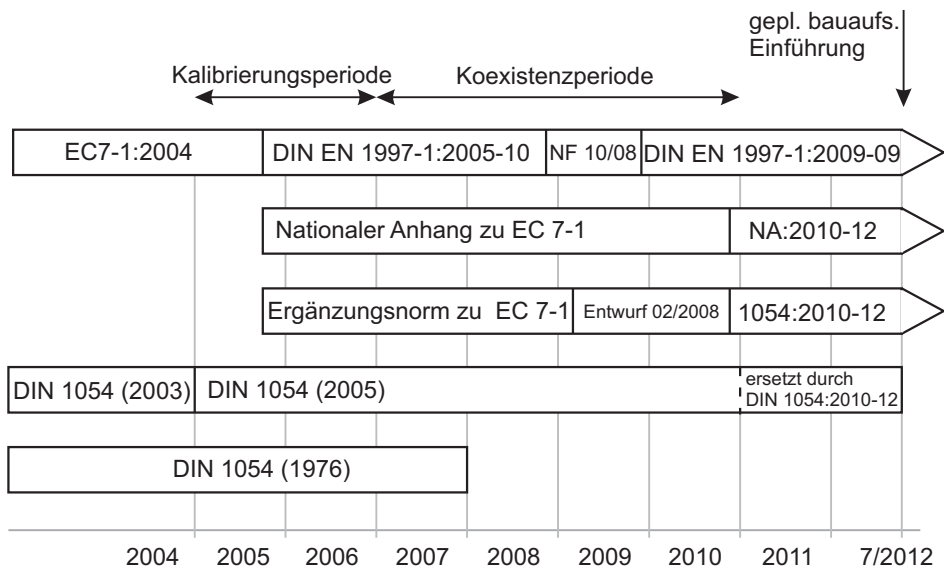


Bild 1-2 Ursprünglicher und aktueller Zeitplan für die Einführung des Eurocodes DIN EN 1997-1 (nach Schuppener, 2005)

Dieser Zeitplan konnte nicht eingehalten werden. Es kam vielmehr im Jahr 2008 zu einer Neufassung und schließlich im September 2009 zu einer überarbeiteten Fassung von DIN EN 1997-1¹. Der dazu gehörende Nationale Anhang erschien im Dezember 2010 als DIN EN 1997-1/NA mit den in DIN 1054:2010-12 niedergeschriebenen ergänzenden Regelungen.

Da der Nationale Anhang mit den Ergänzenden Regelungen aber nur noch Informationen zu den Punkten enthalten darf, die im Eurocode einer nationalen Festlegung vorbehalten sind, und keine Festlegungen mehr aufgenommen werden dürfen, die bereits im EC 7-1

¹ DIN EN 1997-1:2009-01

geregelt sind, mussten sehr viele Textpassagen aus DIN 1054 in der Fassung von 2005 entfallen.

Zu den Punkten, die national geregelt werden dürfen zählen z.B. 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 verpflichtend zur Anwendung kommen sollen oder nicht. Erlaubt sind ferner ergänzende Hinweise zu den einzelnen Regelungen, sofern sie dem Inhalt der Regelung im Eurocode nicht widersprechen. Insbesondere dürfen auch die Teilsicherheitsbeiwerte national festgelegt werden.

Der Anwender muss zukünftig drei Regelwerke gleichzeitig betrachten. Die übergeordneten Regelungen enthält der EC 7-1 bzw. DIN EN 1997-1 als deutsche Übersetzung. Der Anwender muss dann prüfen, ob an der Stelle, wo eine nationale Regelung möglich ist, eine entsprechende Festlegung im Nationalen Anhang getroffen wird. Trifft dies zu, muss er weiter dem Verweis im NA auf die Ergänzenden Regelungen in DIN 1054 folgen. Im schlimmsten Fall trifft er dort auf weitere Verweise zu mit geltenden Normen oder Empfehlungen.

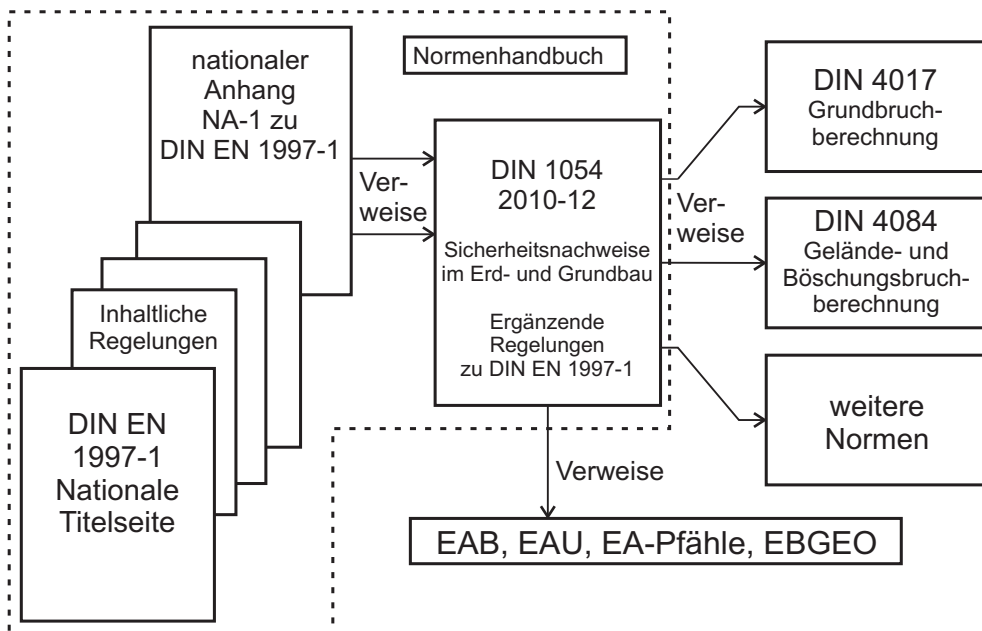


Bild 1-3 Verknüpfung von DIN EN 1997-1, Nationalem Anhang und Ergänzenden Regelungen in einem Normenhandbuch (nach Schuppener, 2005)

Da die beschriebene gleichzeitige Anwendung dreier Regelwerke die Anwendung in der Praxis erheblich erschweren würde, wurde seitens des DIN e.V. ein sogenanntes Normenhandbuch herausgebracht, in dem alle drei Regelwerke drucktechnisch in einem Werk zusammengefasst sind. Die Nationalen Regelungen und Ergänzungen stehen dabei genau an der Stelle, wo der EC 7-1 eine nationale Regelung eröffnet, und sie sind farblich vom Text des EC 7-1 abgesetzt. Durch dieses Normenhandbuch wird die Anwendung erheblich erleichtert. Einen Überblick, wie der EC 7-1, der Nationale Anhang mit den Ergänzenden Regelungen in DIN 1054 zukünftig nebeneinander stehen und wie diese im Normenhandbuch zusammengefasst werden, gibt Bild 1-3.

Die nachfolgenden Ausführungen in diesem Buch beschränken sich auf die allgemeingültigen Regelungen des EC 7-1 sowie die national festgelegten Regelungen wie sie im Normenhandbuch zu finden sind. Mögliche Alternativen nach EC 7-1 werden nur dort kurz angerissen, wo sie zum besseren Verständnis der in Deutschland getroffenen Festlegungen dienen.

1.2 Anwendungsbereich

Der Anwendungsbereich von EN 1997 ist in Abschnitt 1 der Norm geregelt: Sie soll die geotechnischen Gesichtspunkte bei der Planung von Hoch- und Ingenieurbauwerken behandeln. Sie gilt in Verbindung mit EN 1990:2002, in der Grundsätze und Anforderungen für Sicherheit und Gebrauchstauglichkeit festgelegt sind. Zahlenwerte für die Einwirkungen bei der Planung von Hoch- und Industriebauten kommen aus EN 1991. Einwirkungen aus dem Baugrund wie Erddrücke ergeben sich aus EN 1997. Ergänzende Regelungen für einen erdbebensicheren Entwurf finden sich in EN 1998.

Der Anwendungsbereich von DIN 1054 ist der gleiche wie von EN 1997-1. Ebenso wie der nationale Anhang DIN EN 1997-1/NA gilt DIN 1054 nur in Verbindung mit DIN EN 1997-1, der deutschen Übersetzung von EN 1997-1. Der Anwendungsbereich der Norm auf Braunkohletagebauten wird in DIN 1054 explizit ausgenommen. Ebenso wird die Gebrauchstauglichkeit durch Qualitätssicherung, z.B. der Nachweis der Einhaltung ausreichender Dichtigkeit, ausgenommen.

Prinzipiell unterscheidet EN 1997-1 zwischen Grundsätzen und Anwendungsregeln. Den Grundsätzen wird im Text der Buchstabe P vorausgestellt. Sie umfassen

- allgemeine Festlegungen und Begriffe, zu denen es keine Alternativen gibt;
- Anforderungen und Berechnungsmodelle, bei denen ohne ausdrückliche Zustimmung keine Abweichung zulässig ist.

Anwendungsregeln sind Beispiele allgemein anerkannter Regeln, die den Grundsätzen und den Anforderungen entsprechen. In diesem Sinne stellen die ergänzenden Regelungen von DIN 1054 Anwendungsregelungen dar. Generell dürfen auch alternative Anwendungsregelungen verwendet werden, wenn sie den einschlägigen Grundsätzen entsprechen und ein gleiches Niveau an Sicherheit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit ergeben wie bei Anwendung des Eurocodes.

1.3 Baugrunderkundung und Geotechnische Kategorien

Die Anwendung der im Normenhandbuch beschriebenen Sicherheitsnachweise setzt voraus, dass eine ausreichende Erkundung und Untersuchung des Baugrunds stattgefunden hat. Die Regelungen, wie diese zu erfolgen hat, finden sich in DIN EN 1997-2 in Verbindung mit dem Nationalen Anhang DIN EN 1997-2/NA:2010-12 und den Ergänzenden Regelungen in DIN 4020:2010-12. Auch diese drei Regelwerke wurden in einem Normenhandbuch Eurocode 7, Band 2: Erkundung und Untersuchung zusammengefasst.

Es ist die Aufgabe des Entwurfsverfassers, den Bauherrn rechtzeitig auf die Notwendigkeit einer geotechnischen Untersuchung hinzuweisen. Diese sind vom Bauherrn zu beauftragen. Falls der Entwurfsverfasser nicht selbst über die notwendige Sachkunde verfügt, ist zur Durchführung ein Sachverständiger für Geotechnik einzuschalten. Seine Aufgabe ist es, 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 Berechnung 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.

Die Ergebnisse ihrer Bewertung und die sich daraus ergebenden Gründungsempfehlungen und Hinweise auf die Bauausführung sind in einem Geotechnischen Bericht zusammenzufassen. Aufbau und inhaltliche Anforderungen an diesen Bericht sind ausführlich in Kapitel 7 des Normenhandbuchs zum EC 7-2 beschrieben.

Die Mindestanforderungen an Umfang und Qualität der durchzuführenden geotechnischen Untersuchungen, Berechnungen und Überwachungsmaßnahmen richten sich nach der Geotechnischen Kategorie. Dabei wird eine Aufteilung in drei Kategorien vorgenommen:

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. Sie setzt einfache und überschaubare Baugrundverhältnisse voraus.

Geotechnische Kategorie GK 2

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

Geotechnische Kategorie GK 3

Sie umfasst Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad. Insbesondere Bauwerke, bei denen die Beobachtungsmethode zum Nachweis der Standsicherheit und Gebrauchstaug-

lichkeit zum Einsatz kommt, sind in die Geotechnische Kategorie GK 3 einzustufen. Bauwerke der Geotechnischen Kategorie GK 3 erfordern eine ingenieurmäßige Bearbeitung und einen rechnerischen Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit auf der Grundlage von zusätzlichen Untersuchungen und von vertieften Kenntnissen und Erfahrungen in dem jeweiligen Spezialgebiet.

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 finden sich in den jeweiligen Abschnitten des Normenhandbuchs, in denen die zugehörigen Sicherheitsnachweise behandelt werden. Weitere Beispiele der Zuordnung in die einzelnen Geotechnischen Kategorien finden sich in Anhang AA von DIN 1054. Die Einstufung erfolgt dort nach Kriterien, die sich aus

- dem Baugrund,
- dem Grundwasser,
- dem Bauwerk allgemein,
- besonderen Bauwerken,
- sonstigen Baumaßnahmen und Bauverfahren sowie
- den in den Abschnitten 6 bis 12 von DIN EN 1997-1 beschriebenen Konstruktionen

ergeben. Tabelle 1-1 zeigt Beispiele für die Konkretisierung dieser Kriterien.

Tabelle 1-1 Beispiele für die Zuordnung zu Geotechnischen Kategorien nach, Tabelle AA.1 (Auszug) von DIN 1054:2010-12

Situation	GK 1	GK 2	GK 3
1 Baugrund (aus Abschnitt 2)	- Baugrund in waagrechttem oder schwach geneigtem Gelände, der nach gesicherter örtlicher Erfahrung als tragfähig und setzungsarm bekannt ist	- durchschnittliche Baugrundverhältnisse, die nicht in GK 1 oder GK 3 fallen	- Ungewöhnliche oder besonders schwierige Baugrundverhältnisse wie: - geologisch junge Ablagerungen mit regelloser Schichtung bzw. geologisch wechselhafte Formationen; - Böden, die zum Kriechen, Fließen, Quellen oder Schrumpfen neigen; - bindige Böden, bei denen die Restscherfestigkeit maßgebend sein kann; - bindige Böden ohne ausreichende Duktilität, z.B. strukturempfindliche Seetone; - weiche organische und organogene Böden größerer Mächtigkeit; - Fels, der zur Auflösung oder zu starkem Zerfall neigt, z.B. Salz, Gips und verschiedene veränderlich feste Gesteine; - Fels, der in Bezug auf das Bauvorhaben ungünstig verlaufende Störungszonen oder Trennflächen enthält; - Bergsenkungsgebiete oder Gebiete mit Erdfällen oder Baugrund mit ungesicherten Hohlräumen; - unkontrolliert geschüttete Auffüllungen
8 Verankerungen (aus Abschnitt 8)	GK 1 entfällt	- Schwellbeanspruchungen und dynamische Beanspruchungen, sofern ausreichende Erfahrungen vorliegen - Kurzzeitanker	- Schwellbeanspruchungen und dynamische Beanspruchungen, sofern keine ausreichenden Erfahrungen vorliegen - Daueranker

Hinsichtlich der Baugrundbeschaffenheit unterscheidet DIN 1054 zunächst zwischen Festgesteinen und Lockergesteinen¹. Festgesteine werden mit dem Sammelbegriff „Fels“ und Lockergesteine mit dem Sammelbegriff „Boden“ benannt.

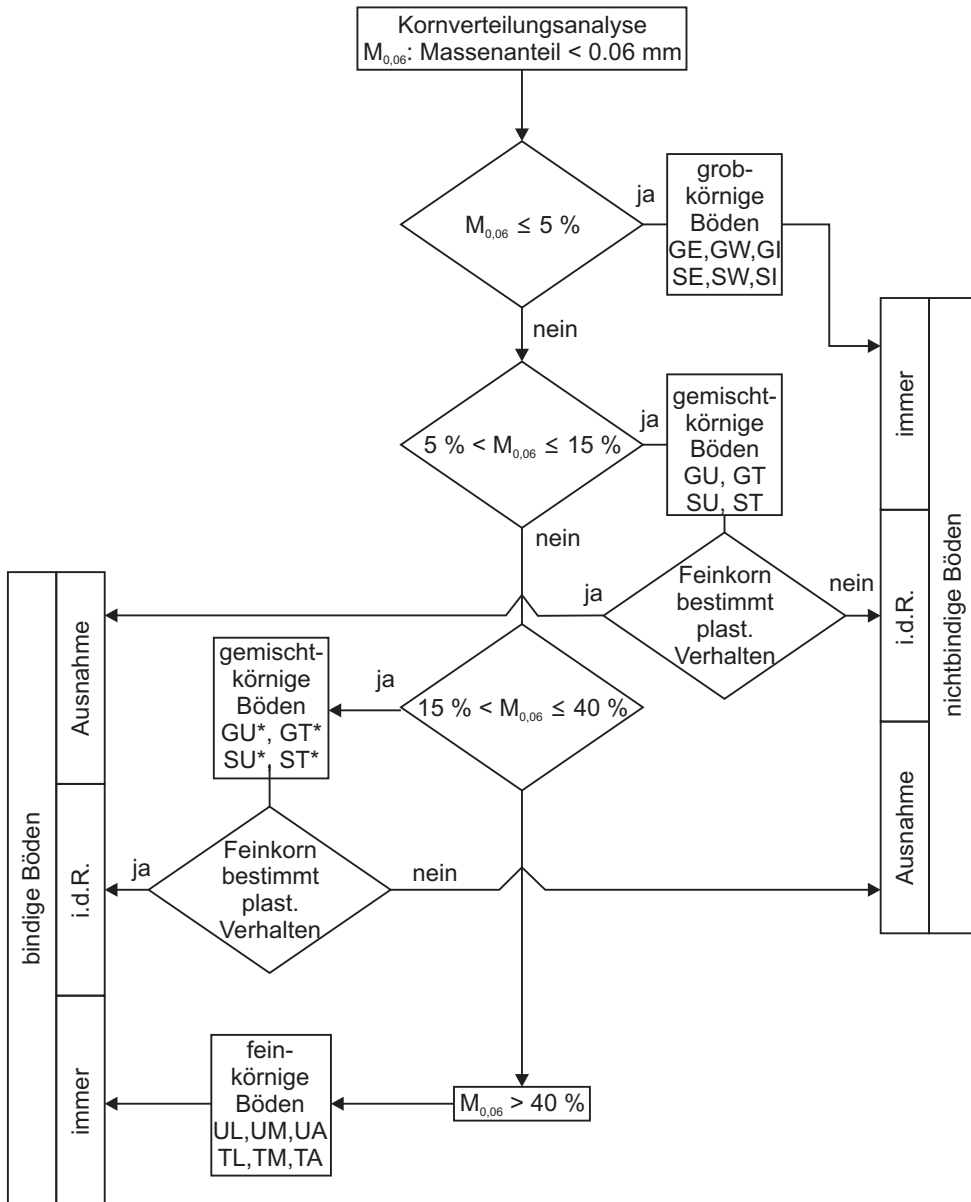


Bild 1-4 Einteilung in nichtbindige und bindige Böden in Anlehnung an DIN 18196:2011-05

¹ DIN 1054:2010-12, 3.3.2

Die Bodenarten sind nach DIN EN ISO 14688-1 zu beschreiben, nach DIN 4023 darzustellen und nach DIN EN ISO 14688-2 und DIN 18196 zu klassifizieren¹. Die Einteilung in nichtbindige, bindige und organische bzw. organogene Böden folgt in Anlehnung an DIN 18196. Das wesentliche Unterscheidungsmerkmal zwischen bindigen und nichtbindigen Böden ist dabei der Massenanteil $M_{0,06}$ an Bodenbestandteilen mit Korngrößen $< 0,06$ mm. Als weiteres Unterscheidungsmerkmal wird bei gemischtkörnigen Böden herangezogen, ob das plastische Verhalten durch den Feinkornanteil bestimmt wird oder nicht. Die vereinfachte Einteilung der Böden in bindige und nichtbindige Böden nach DIN 1054 mit Zuordnung zu den Bodengruppen nach DIN 18196 ist aus Bild 1-4 ersichtlich.

Böden wie Torf und Faulschlamm, die den Bodengruppen HN, HZ und F nach DIN 18196 zuzuordnen sind, werden als organische Böden bezeichnet. Sie sind brenn- oder schwelbar. Nicht brenn- oder schwelbare Böden mit organischen Beimengungen werden als organogene Böden bezeichnet. Sie entsprechen den Bodengruppen OU, OT, OH und OK nach DIN 18196. Organische und organogene Böden sind für die meisten bautechnischen Zwecke nicht oder nur sehr eingeschränkt einsetzbar.

1.4 Erläuterungen wichtiger Begriffe

In diesem Kapitel folgt eine Erläuterung der wichtigsten Begriffe in DIN EN 1997-1 und DIN 1054, die für das Verständnis des neuen Sicherheitskonzepts notwendig sind und die sich durchgängig in den einzelnen Abschnitten der Regelwerke wiederfinden.

1.4.1 Einwirkungen

Der Begriff der Einwirkung ist übergeordnet in DIN EN 1990² geregelt. In ihr werden Einwirkungen unterschieden in

- direkte Einwirkungen durch Kräfte, die auf ein Tragwerk wirken und
- indirekte Einwirkungen durch aufgezogene Verformungen oder Beschleunigung.

Weiter wird unterschieden in

- ständige,
- statische,
- veränderliche,
- dynamische,
- quasistatische,
- außergewöhnliche,
- seismische,
- ortsfeste und
- freie Einwirkungen.

¹ DIN 1054:2010-12, 3.3.2 A (3)

² DIN EN 1990:2010-12, 15.3

Diese vielfältigen Einwirkungsarten werden in DIN 1054 gemäß Bild 1-5 auf die drei Hauptgruppen

- Gründungslasten,
- geotechnische Einwirkungen und
- dynamische Einwirkungen

beschränkt. Eine Sonderrolle nehmen Einwirkungen aus Erdbeben ein, für die DIN EN 1998-5/NA zu beachten ist und die in einer eigenen Bemessungssituation berücksichtigt werden.

Generell muss bei den Einwirkungen zwischen ständigen und veränderlichen Einwirkungen unterschieden werden, da diese bei den meisten Nachweisen mit unterschiedlichen Teilsicherheitsbeiwerten belegt werden. Die veränderlichen Einwirkungen sind ferner in günstige und ungünstige Einwirkungen aufzuteilen. Im Gegensatz zu den allgemeinen Empfehlungen des EC 7-1 wird in Deutschland bei den ständigen Einwirkungen eine solche Aufteilung nur bei Zugpfählen mit gleichzeitiger Druckbeanspruchung vorgenommen¹.

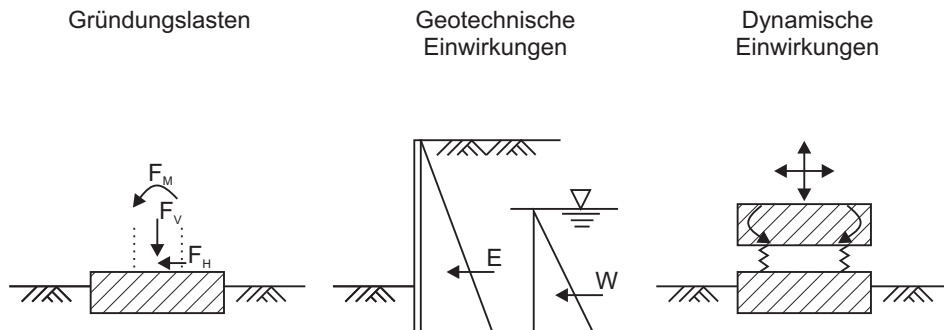


Bild 1-5 Einteilung der Einwirkungen in der Geotechnik ohne Erdbebenbelastung

Gründungslasten

Gründungslasten² werden nach DIN 1054 als Schnittgrößen aus der statischen Berechnung des aufliegenden Tragwerks am Übergang zur Gründungskonstruktion definiert. Sie sind als charakteristische bzw. repräsentative Schnittgrößen für jede kritische Bemessungssituation anzugeben.

Die Übernahme von charakteristischen Gründungslasten aus der Tragwerksplanung bedarf einer engen Abstimmung zwischen dem Tragwerksplaner und dem Sachverständigen für Geotechnik, da im Konstruktiven Ingenieurbau im Gegensatz zu den meisten Nachweisen der Geotechnik die statische Berechnung bereits mit Bemessungswerten durchgeführt wird. Dies bedeutet, dass die Einwirkungen noch vor der Ermittlung der Schnittgrößen mit den jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerten erhöht werden. Hinzu kommt, dass im Hochbau die

¹ DIN 1054:2010-12, 7.6.3.1 A (2)

² DIN 1054:2010-12, A 2.4.2.3 A (1)

ständigen und die verschiedenen veränderlichen Einwirkungen nicht einfach addiert, sondern über Kombinationsbeiwerte $\psi_i < 1,0$ gekoppelt werden, die zum Ausdruck bringen, dass mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht alle Einwirkungen gleichzeitig und in voller Höhe wirken. Die auf diese Weise erhaltenen Kombinationen der Einwirkungen werden repräsentative Werte genannt. Sofern die statische Berechnung auf einer linear-elastischen Schnittgrößenermittlung beruht, können die charakteristischen bzw. repräsentativen Werte für die Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen und denen aus (kombinierten) veränderlichen im Prinzip dadurch erhalten werden, dass die als Ergebnis mit Bemessungsgrößen erhaltenen entsprechenden Anteile wieder durch die jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerte dividiert werden. Voraussetzung dafür ist, dass die im Ergebnis der statischen Berechnungen erhaltenen Schnittgrößen tatsächlich auch aus derselben Lastkombination stammen und nicht nur eine Zusammenstellung der jeweils ungünstigsten Schnittgrößen aus verschiedenen Lastkombinationen enthält, wie sie von vielen Rechenprogrammen ausgegeben werden.

In der Praxis beobachtet man oft, dass die Bemessungsgrößen aus der statischen Berechnung durch den Mittelwert der Teilsicherheitsbeiwerte für ständige und veränderliche Einwirkungen dividiert werden $\bar{\gamma} = (\gamma_G + \gamma_Q)/2 = (1,35 + 1,50)/2 = 1,42$ für den Grenzzustand GEO-2 in der Bemessungssituation BS-P. Diese Vorgehensweise liegt nur dann auf der sicheren Seite, wenn die Auswirkungen aus den veränderlichen Einwirkungen überwiegen, da dann der „echte“ Wert des gemittelten Teilsicherheitsbeiwerts über 1,42 (GEO-2, BS-P) liegen würde. Bei stärkerem Einfluss der ständigen Einwirkungen liegt man mit $\bar{\gamma} = 1,42$ hingegen auf der unsicheren Seite. Sofern im Ergebnis der statischen Berechnung die Anteile aus ständigen und veränderlichen Einwirkungen getrennt ausgegeben sind, sollte man daher auf die Mittelwertbildung verzichten und direkt die jeweiligen Anteile durch die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte dividieren.

Wurde die statische Berechnung mit einem nichtlinearen Verfahren, z.B. nach der Plastizitätstheorie, aber noch nach Theorie 1. Ordnung durchgeführt, so darf die Aufteilung in ständige und veränderliche Auswirkungen so vorgenommen werden, wie es sich bei linearer Berechnung oder am statisch bestimmten Tragwerk ergeben hätte. Die so bestimmten Anteile der Bemessungswerte $E_{G,d}$ und $E_{Q,d}$ dürfen dann durch die zugehörigen Teilsicherheitsbeiwerte γ_G und γ_Q nach Tabelle A 2.1 von DIN 1054 dividiert werden, um die äquivalenten charakteristischen Werte $E_{G,k}$ und $E_{Q,k}$ bzw. $E_{Q,rep}$ zu erhalten.

Geotechnische Einwirkungen

Zu den wichtigsten geotechnischen Einwirkungen¹ zählen:

- Eigengewicht, Erddruck, Wasserdruck,
- Seitendruck und negative Mantelreibung bei Pfählen,
- Wind-, Schnee-, Eislasten und Wellenstoß,
- Baugrundverformung aus Nachbarbebauung oder Bodenentnahme,
- Verwitterung mit Herabsetzung der Scherfestigkeit,
- Quellen und Schrumpfen.

¹ DIN EN 1997-1:2009-09, A 2.4.2.1 (4) und DIN 1054:2010-12, A 2.4.2.2

Besondere Aufmerksamkeit erfordert in der Geotechnik neben dem Wasserdruck vor allem der Ansatz des Erddrucks. Sowohl die Größe als auch die Verteilung des Erddrucks hängen von den infolge einer Beanspruchung stattgefundenen Verschiebungen im Erdreich ab. Bild 1-6 zeigt qualitativ die Entwicklung der resultierenden Erddruckkraft E bei einer Fußpunktdrehung der Wand. Es ist deutlich zu erkennen, dass die Grenzwerte des aktiven Erddrucks E_a bzw. des passiven Erddrucks (Erdwiderstands) E_p erst nach einer gewissen Mindestverschiebung erreicht werden, die im passiven Fall allerdings deutlich größer ist als im aktiven Fall. Um die Verformungen in akzeptablen Grenzen zu halten, kann es bei empfindlichen Bauwerken notwendig werden, den charakteristischen Wert des Erdwiderstands durch einen Anpassungsfaktor $\eta < 1,0$ von vorneherein zu begrenzen. Dies kann z.B. bei der Einbindung einer Baugrubenwand in weichem Boden der Fall sein¹.

Der passive Erddruck stellt in der Regel eine Widerstandsgröße dar. In einzelnen Nachweisen wird er aber auch als günstige Einwirkung angesetzt (z.B. Grundbruchnachweis). Näheres zu seiner Ermittlung findet sich in Kapitel 2 Erddruckermittlung.

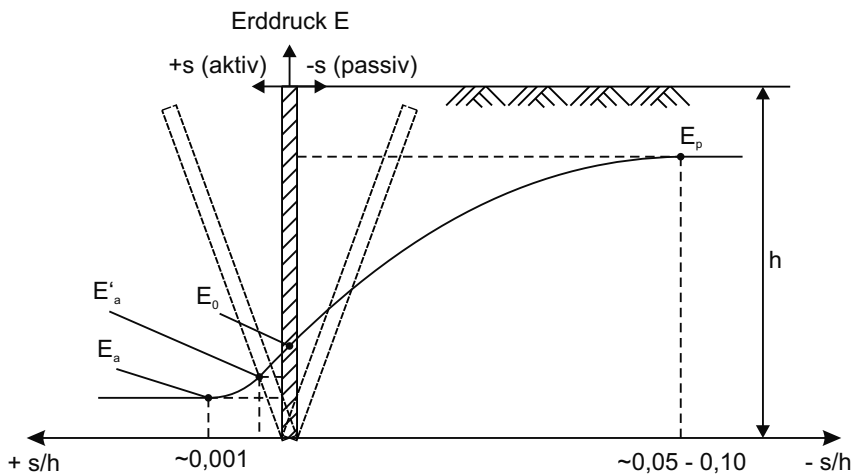


Bild 1-6 Abhängigkeit der resultierenden Erddruckkraft von der Verschiebung der Wand bei einer Fußpunktdrehung

Im aktiven Fall kann es notwendig werden, einen erhöhten aktiven Erddruck anzusetzen und zwar dann, wenn die Verformungen einer Stützkonstruktion begrenzt bleiben sollen und dies durch die Wahl der Stützkonstruktion (z.B. massive Schlitzwand) auch bautechnisch realisiert wird. Häufig wird der erhöhte aktive Erddruck E'_a als Mittelwert zwischen dem Ruhedruck E_0 (keine Wandverschiebung) und dem aktiven Erddruck E_a festgelegt. Neben der Höhe des anzusetzenden Erddrucks ist die Verformbarkeit der Wand auch bei der Festlegung der erforderlichen Vorspannkraft von Ankern zu berücksichtigen. Näheres hierzu und zur Festlegung und Bestimmung des ggf. erhöhten aktiven Erddrucks findet sich in den Kapiteln 6 Stützbauwerke, 7 Baugrubenwände und 8 Verankerungen.

¹ DIN 1054:2010-12, 9.8.2 A (2)