

Die Geotechnik in der Zukunft – wie setzen wir die neue DIN 1054 sinnvoll um?

Dr.-Ing. Christian Moormann
Smoltczyk & Partner GmbH, Stuttgart

1 Einführung

Immer neue Normenwerke prägen auch in der Geotechnik die tägliche Bemessungspraxis. Bedingt durch einen fortlaufenden Umbruchprozess von der 'altbekannten' DIN 1054:1976 über die DIN 1054:2005 hin zum Eurocode DIN EN 1997-1 fällt der Überblick und das Verständnis für die Zusammenhänge nicht immer leicht. Auch wenn



Bild 1 Nicoll Highway Kollaps, Singapore

die neuen Normengenerationen nicht per se jeden neuen Schadensfall (Bild 1) werden verhindern können, so ist doch die Zielrichtung, europaweit möglichst einheitliche Bemessungsgrundlagen für die Geotechnik festzulegen, sinnvoll und wird langfristig dazu beitragen, das deutsche und damit auch das europäische Grundverständnis zum Nachweis- und Sicherheitskonzept in der Geotechnik langfristig zu bewahren und vielleicht auch weltweit zunehmend zu etablieren. Dass dabei mit der DIN 1054, Ausgabe Januar 2005, noch ein Zwischenschritt auf dem Weg zur zukünftigen europäischen Norm DIN EN 1997-1 (Eurocode EC7) eingelegt wurde, sollte im Hinblick auf den Umstand, dass die bei der 2009/2010 anstehenden Umstellung auf die DIN EN 1997-1 nur noch vergleichsweise geringfügige Umstellungen und Modifikationen erforderlich werden, die Akzeptanz für diese neue Norm erhöhen.

Im Rahmen der Harmonisierung der nationalen technischen Regelwerke in Europa mit dem Ziel, einheitlichen europäischen Standard zu generieren, wurde in DIN 1054:2005-01 eine Abkehr von der deterministischen, globalen Sicherheitsbetrachtung hin zum Teilsicherheitskonzept verankert, womit die neue DIN 1054 im Einklang mit der zukünftigen europäischen Norm EN 1997-1 (Eurocode EC7) steht. Dieser Paradigmenwechsel hat Auswirkungen auf die Bemessung von geotechnischen Bauwerken und Bauteilen, da sich aufgrund der neuen Ausrichtung zumindest teilweise veränderte Bemessungsprozeduren ergeben.

Die Harmonisierung der europäischen Normung wurde in den siebziger Jahren des letzten Jahrhunderts von der Kommission der Europäischen Gemeinschaft in die Wege geleitet. Nach der Niederschrift der „Grundlagen zur Festlegung von Sicherheitsanforderungen für bauliche Anlagen“ („GruSiBau, 1981) und des Model Codes EC 7 „Gründungen“ (1987) folgte 1990 der Entwurf „EC 7, Geotechnik“.

Mit der DIN 1054:2005-01 wurde von deutscher Seite ein Konzept vorgelegt, bei dem die Teilsicherheiten nicht auf die charakteristischen Scherparameter, sondern auf die mit Hilfe dieser Scherparameter ermittelten Kraftgrößen sowohl auf der Widerstands- als auch auf der Einwirkungsseite angewandt werden.

2 Überblick: DIN 1054: 2005-01 und DIN EN 1997 Eurocode 7

Als Ersatz für die seit Ende 2007 nicht mehr gültige DIN 1054:1976-11 liegen zur Bemessung in der Geotechnik zum einen

- die DIN 1054: 2005-01 "Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau" und zum anderen

- die DIN EN 1997-1 Eurocode 7: „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik“ - Teil 1: Allgemeine Regeln (2004-11)

vor. Die DIN 1054 wurde parallel zum EC 7 · Teil 1 erarbeitet, um das Teilsicherheitskonzept der Eurocodes mit den speziellen deutschen Erfahrungen und Verfahren zu verbinden und dem Anwender für eine Übergangszeit eine verbindliche normative Regelung zur Verfügung zu stellen. Der Inhalt des EC 7 · Teil 1 und der DIN 1054 ist im Bild 2 durch zwei Kreisflächen dargestellt, die sich überschneiden, weil der größte Teil der Regelungen der beiden Normen gleich ist.

Die Schnittmenge des Überschneidungsbereichs enthält die wichtigsten und grundlegenden Festlegungen, z. B. die Definition der Grenzzustände und das Teilsicherheitskonzept. Sie entspricht dem normativen Teil des EC 7 · Teil 1. Daneben gibt es eine Reihe von Festlegungen im EC 7 · Teil 1, die nicht in der DIN 1054 enthalten sind. Dazu gehören z. B. die Nachweisverfahren, für die man sich in Deutschland nicht entschieden hat und die informativen Anhänge mit erdstatischen Berechnungsverfahren, für die es in Deutschland eigene Normen gibt. Als letztes, aber als wichtigstes ist der Bereich der DIN 1054 zu erwähnen, der nicht im EC 7 · Teil 1 enthalten ist. Dieser Bereich umfasst alle speziellen deutschen Erfahrungen, die auch in Zukunft weiter verwendet werden sollen.

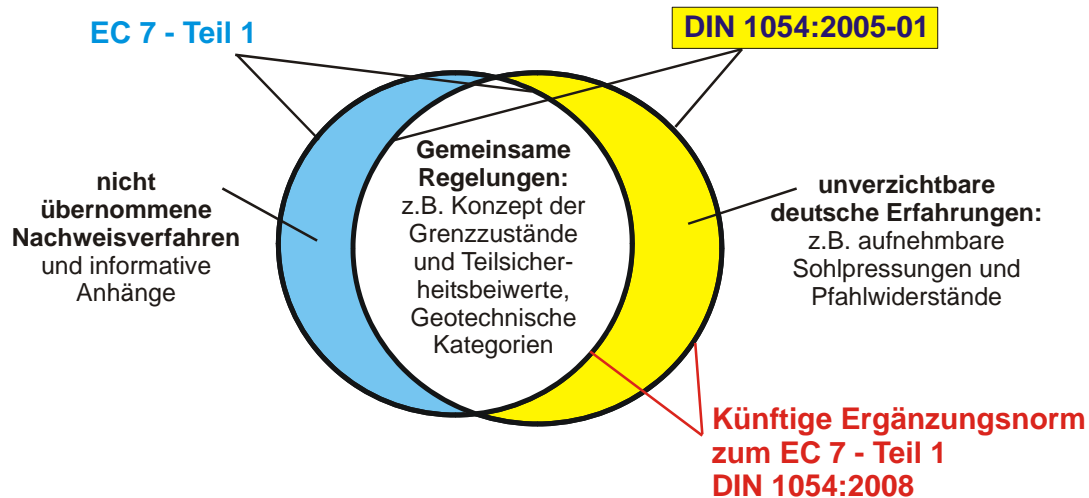


Bild 1 Regelungsbereiche der DIN 1054:2005-01 und des EC 7 · Teil 1

Da DIN 1054:2005-01 und EC 7 · Teil 1 zum großen Teil inhaltlich gleich sind und mit den Eurocodes konkurrierende nationale Normen nicht erlaubt sind, wird die DIN 1054:2005-01 in ihrer jetzigen Form nach einer Übergangsfrist zurückgezogen werden müssen. Das geschieht in zwei Phasen. In einer so genannten Kalibrierungsperiode von 2 Jahren ist eine nationale Fassung des EC 7 · Teil 1 herzustellen. Nach einer Koexistenzperiode von 3 Jahren, während derer sowohl die alten nationalen Normen als

auch die Eurocodes noch gelten dürfen, müssen die konkurrierenden nationalen Normen zurückgezogen werden.

Die deutsche Fassung des EC 7 · Teil 1 als DIN EN 1997-1 besteht aus

- dem vollständigen deutschen Text des Eurocodes einschließlich aller Anhänge,
- einer nationalen Titelseite, einem nationalen Vorwort und
- einem so genannten Nationalen Anhang

In einem Leitpapier 'Anwendung der Eurocodes' hat die Europäische Kommission Vorschriften darüber erlassen, was in den Nationalen Anhang aufzunehmen und wie er aufgebaut ist. Darin wird zunächst noch einmal bekräftigt:

„2.1.1 Die Bestimmung von Sicherheitsniveaus für Hoch- und Ingenieurbauwerke und für Teile davon einschließlich der Aspekte der Dauerhaftigkeit und der Wirtschaftlichkeit ist und bleibt in der Zuständigkeit der Mitgliedstaaten.“

Gleichzeitig werden jedoch dem nationalen Entscheidungsspielraum Grenzen gesetzt:

„2.3.4 Ein nationaler Anhang kann den Inhalt eines EN Eurocodes in keiner Weise ändern, außer wo angegeben wird, dass eine nationale Wahl mittels national festzulegender Parameter vorgenommen werden kann.“

2.1.6 Es sollte in nationalen Vorschriften vermieden werden, Bestimmungen der EN Eurocodes, z. B. Anwendungsregeln, durch nationale Regelungen zu ersetzen.“

Wenn jedoch nationale Vorschriften vorsehen, dass der Tragwerksplaner von den EN Eurocodes oder bestimmten Vorschriften davon (z.B. Anwendungsregeln) abweichen kann oder sie nicht anwenden muss - auch nach Ablauf der Koexistenzperiode - werden Entwurf und Bemessung nicht als "Entwurf und Bemessung gemäß der EN Eurocodes" bezeichnet.“

Ein Entwurf, der auf Grundlage von Vorschriften aufgestellt wurde, die nicht den Eurocodes entsprechen, hat also nicht mehr das Gütesiegel „Entwurf und Bemessung gemäß der EN Eurocodes“.

In den Nationalen Anhang der DIN EN 1997-1, der als gesondertes Dokument (DIN EN 1997-1- NA-1) erscheinen wird, darf nur folgendes aufgenommen werden:

- die Zahlenwerte für Teilsicherheitsbeiwerte,
- die Entscheidung für ein Bemessungsverfahren, wenn mehrere Verfahren zur Wahl gestellt sind,
- die Entscheidungen bezüglich der Anwendung informativer Anhänge,
- länderspezifische Angaben (geografischer, klimatischer Art usw.), z. B. eine Schneekarte und
- Verweise auf nicht widersprechende zusätzliche Angaben, die dem Anwender beim Umgang mit dem Eurocode helfen.

In den Nationalen Anhang dürfen also keinerlei zusätzlichen nationalen normativen Regelungen aufgenommen werden. Für die spezifisch nationalen Regelungen sind weiterhin nationale Normen möglich, auf die im Nationalen Anhang verwiesen wird.

Um die speziellen deutschen Erfahrungen der DIN 1054 zu erhalten, muss die DIN 1054 also überarbeitet werden, indem alle Regelungen gestrichen werden, die schon im Eurocode enthalten sind. Die so überarbeitete DIN 1054-101, die im Februar 2009 im Weißdruck veröffentlicht wird, stellt keine Konkurrenz mehr zum EC 7 · Teil 1 dar. Sie ist eine nationale Ergänzung des EC 7 · Teil 1, deren Regelungen dem EC 7 · Teil 1 nicht widersprechen, so dass sie als nationale Norm bestehen bleiben kann.

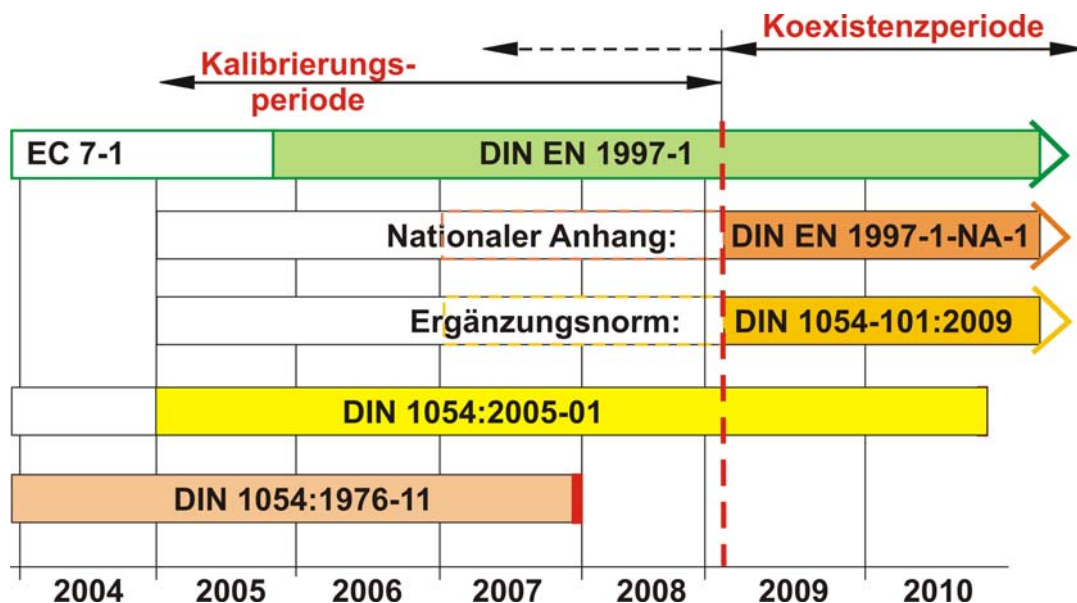


Bild 3 Zeitplan: Geltungsdauer DIN 1054:2005-01 und Einführung des Eurocode DIN EN 1997-1

Die neue DIN 1054 muss parallel zum Nationalen Anhang erarbeitet werden, denn ohne die nationalen ergänzenden Regelungen der neuen DIN 1054 können die Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit nach dem EC 7 · Teil 1 nicht durchgeführt werden.

Der ungefähre Zeitplan der weiteren Normenentwicklung in der Geotechnik ist im Bild 3 dargestellt. Die DIN EN 1997-1 "Entwurf, Bemessung und Berechnung in der Geotechnik - Allgemeine Regeln", zuletzt erschienen in der Fassung Oktober 2008, ist mit dem Nationalen Anhang der DIN EN 1997-1-NA-1 gültig, in dem nicht nur auf

- die DIN 1054-101 vom Februar 2009 verwiesen wird, die die zusätzlich erforderlichen nationalen Regelungen zur Durchführung der Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit enthält, sondern auch auf
- alle anderen in der Geotechnik zu beachtenden Normen wie z. B. die Berechnungsnormen DIN 4017 „Grundbruchberechnung“, die DIN 4084 „Gelände- und Böschungsbruchberechnungen“ und die DIN 4085 „Berechnung des Erddrucks“ sowie die Herstellungsnormen des Spezialtiefbau (siehe Abschnitt 4) Bezug nimmt.

Die dann neue und voraussichtlich längerfristig maßgebende „Normen-Welt“ der Geotechnik ist im Überblick in Bild 4 dargestellt.

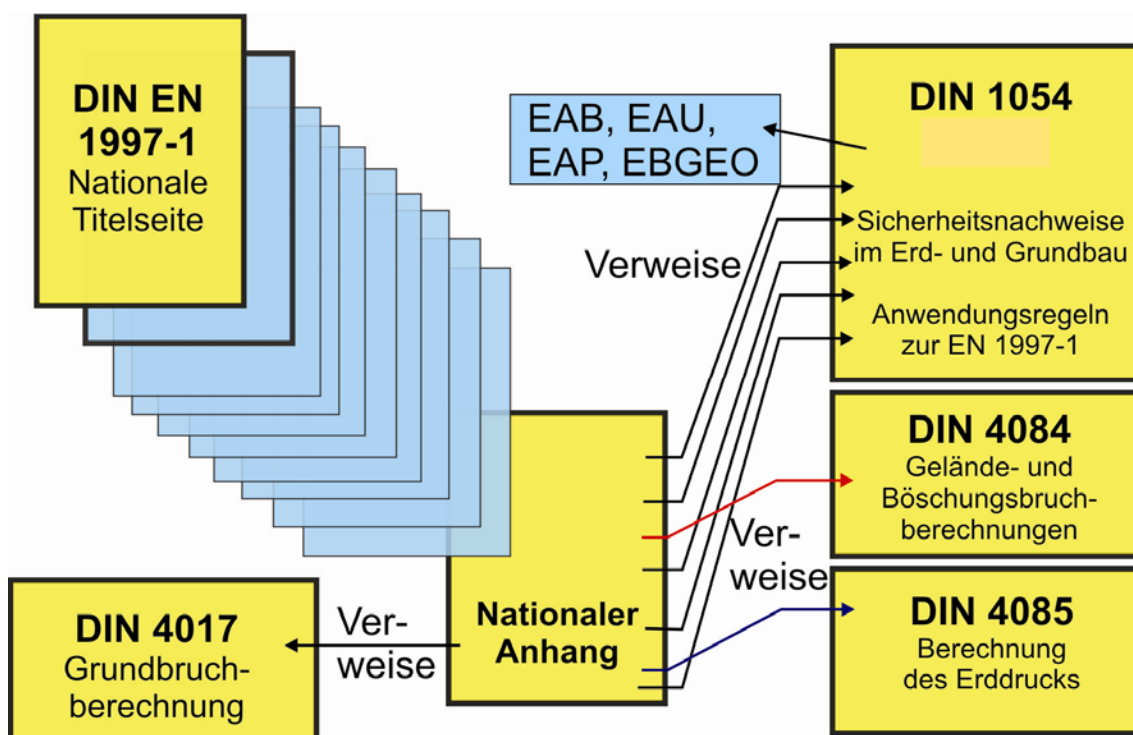


Bild 4 Künftige neue Normen-Welt in der Geotechnik mit dem Eurocode DIN EN 1997-1 als Kern-Norm

Wie die bauaufsichtliche Einführung der DIN EN 1997-1, des Nationalen Anhangs der DIN EN 1997-1-NA-1 und der DIN 1054-101 geregelt wird, ist zurzeit noch nicht eindeutig absehbar.

Die Koexistenz dieser drei Normen ist natürlich alles andere als anwenderfreundlich, denn der Nutzer muss bei der Arbeit immer zwischen drei Papieren hin- und herblättern. Deshalb wird als letzter Schritt ein DIN Fachbericht erstellt, in dem alle drei Normen in einem Dokument zusammengefasst werden. Dabei soll drucktechnisch

deutlich gemacht werden, welche Regelungen aus welcher Norm stammen. Dies wäre für den Anwender sicherlich eine praktikable Lösung.

3 Einblick: DIN 1054: 2005-01 – „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“

3.1 Übersicht

Vor mehr als 20 Jahren begann die Arbeit an der neuen DIN 1054 als Begleitpapier zum EC 7. Dieser EC 7 war von Anfang an eher abstrakt formuliert und für sich allein relativ schwer verständlich bzw. ohne zusätzliche Hilfen kaum anwendbar. Viele Regelungen mussten daher erklärt und durch weitere Angaben ergänzt werden. Die erste Fassung, der Baudruck von 1990 stand noch uneingeschränkt auf der Linie des EC 7, nach der die Teilsicherheitsbeiwerte auf die Bodenkenngrößen, insbesondere Reibungswinkel und Kohäsion, anzuwenden waren. Dann entwickelte sich die DIN 1054 immer mehr zu einem eigenständigen Konzept, insbesondere in der Frage, wie im Erd- und Grundbau die Schnittgrößen zu ermitteln und wie die bodenmechanisch bedingten Abmessungen nachzuweisen sind. Der vorgeschlagene Weg fand schließlich Anerkennung als eines von drei möglichen Nachweisverfahren in der "DIN EN 1997-1 Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln".

Unabhängig von ihren Beziehungen zum EC 7 ist die DIN 1054 nunmehr aber auch Teil einer neuen nationalen Normengeneration für alle Gebiete des konstruktiven Ingenieurbaus.

Die bisherige DIN 1054 aus dem Jahre 1976 beschäftigte sich nur mit der zulässigen Belastung des Baugrundes. Die DIN 1054:2005-01 dagegen regelt, wie ihr Name sagt, alle Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Sie ersetzt damit die entsprechenden Festlegungen in mehreren der bisherigen Grundbaunormen. Sie übernimmt die Rolle einer Grundlagennorm, die lediglich noch durch eine Reihe von Spezialnormen für Baugrunduntersuchung, Berechnung und Ausführung ergänzt wird. DIN 1054:2005 ist wie folgt gegliedert:

- 0 *Vorwort*
- 1 *Anwendungsbereich*
- 2 *Normative Verweisungen*
- 3 *Begriffe und Formelzeichen*
- 4 *Allgemeine Regelungen für Sicherheitsnachweise*
- 5 *Baugrund*
- 6 *Einwirkungen, Beanspruchungen und Widerstände*
- 7 *Flach- und Flächengründungen*
- 8 *Pfahlgründungen*
- 9 *Verankerungen mit Verpressankern*

- 10 *Stützbauwerke und im Boden eingebettete Bauwerke*
- 11 *Aufschwimmen und hydraulischer Grundbruch*
- 12 *Gesamtstandsicherheit*

Die Abschnitte 1 bis 6 enthalten allgemeine Regelungen, die Abschnitte 7 bis 12 enthalten Angaben zu den einzelnen Anwendungsgebieten. Hinzu kommen noch folgende Anhänge:

- Anhang A: Aufnehmbarer Sohldruck,*
- Anhang B: Charakteristische axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten für Bohrpfähle,*
- Anhang C: Charakteristische axiale Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten für Verdrängungspfähle,*
- Anhang D: Angaben zu charakteristischen Pfahlwiderständen aus Erfahrungswerten für verpresste Mikropfähle,*
- Anhang E: Verteilung von Einwirkungen und Widerständen für quer zur Pfahlachse belastete Pfahlgruppen,*
- Anhang F: Übergangsregelungen für Normen und Empfehlungen nach dem alten Nachweiskonzept mit globalen Sicherheitsbeiwerten,*
- Anhang G: Übergangsregelungen für Technische Baubestimmungen nach dem alten Nachweiskonzept mit globalen Sicherheitsbeiwerten.*

Mit diesen Anhängen werden wichtige Inhalte der bisherigen Grundbaunormen in die neue Zeit hinübergerettet. Im EC 7 gibt es nichts Vergleichbares. Außerdem werden Übergangsregelungen beschrieben, mit denen die Zeitspanne überbrückt wird, in der noch nicht alle Bemessungsnormen auf das Teilsicherheitskonzept umgestellt sind.

Nachfolgend werden die wichtigsten Regelungen der DIN 1054:2005-1 vorgestellt.

3.2 Grenzzustände

Das Teilsicherheitskonzept fordert den Nachweis zweier verschiedener Grenzzustände beispielhaft in Bild 8 anhand der Last-Setzungslinie eines Fundamentes qualitativ dargestellt.

- a) Grenzzustand GZ 1: Grenzzustand der Tragfähigkeit (ULS; ultimate limit state)

Durch die Einhaltung des Grenzzustandes der Tragfähigkeit werden Sachschäden und eine Gefährdung von Menschenleben ausgeschlossen. Der Grenzzustand der Tragfähigkeit wird in der Geotechnik in folgende Untergruppen gegliedert:

- GZ 1A: Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit (Aufschwimmen, hydraulischer Grundbruch, Kippen)

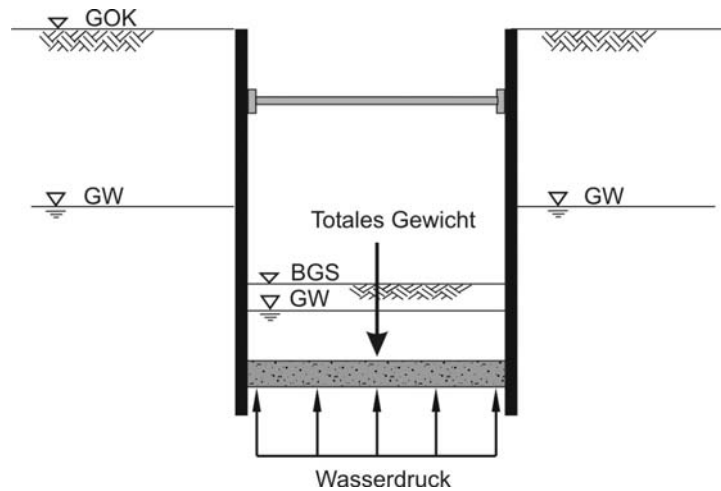


Bild 5 Beispiel für GZ 1A: Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen

- GZ 1B: Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen (Grundbruch, Gleiten etc.)

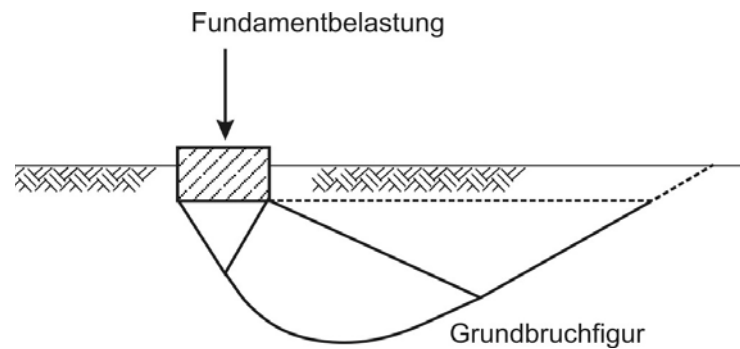


Bild 6 Beispiel für GZ 1B: Nachweis der Sicherheit gegen Grundbruch

- GZ 1C: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit

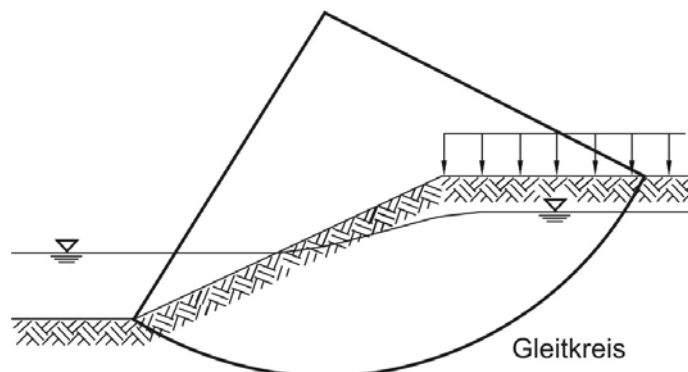


Bild 7 Beispiel für GZ 1C: Nachweis der Gesamtstandsicherheit

- b) Grenzzustand GZ 2: Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (SLS; serviceability limit state)

Ein Überschreiten des Grenzzustandes der Gebrauchstauglichkeit hat nicht zwingender Weise den Verlust der Tragfähigkeit zur Folge. Vielmehr werden durch den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit zu große Verformungen des Bauwerks vermieden.

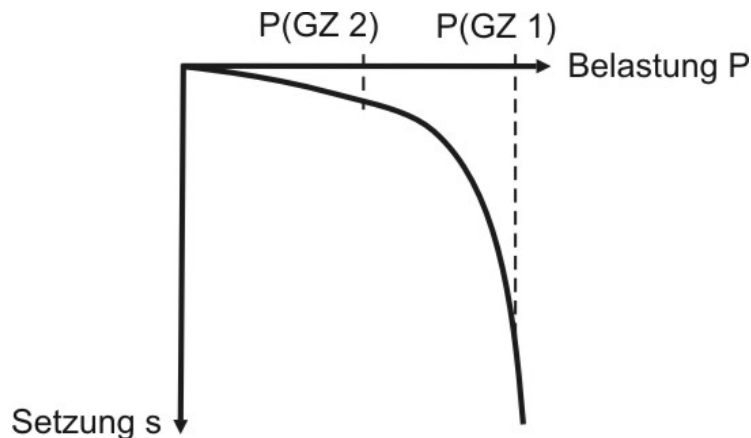


Bild 8 Grenzzustände GZ 1 und GZ 2 am Beispiel der Last-Setzungslinie eines Fundamentes

3.3 Charakteristische Werte und Bemessungswerte

Die charakteristischen Werte der Bodenkennwerte, wie z.B. die Scherparameter ϕ' und c' oder die Wichte γ , und der aus der Konstruktion resultierenden Lasten stellen die Eingangswerte für die nach dem Teilsicherheitskonzept geführten Nachweise dar. Indiziert werden die charakteristischen Werte mit dem Buchstaben „k“. Die charakteristischen Werte sind als Werte von Einwirkungen bzw. Widerständen definiert, die „mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit im Bezugszeitraum der Nutzungsdauer des Bauwerks und der entsprechenden Bemessungssituation nicht überschritten oder unterschritten werden“ (DIN 1054).

Die Nachweise im Grenzzustand GZ 1A sehen nur eine Gegenüberstellung von günstigen und ungünstigen Einwirkungen vor – Widerstände werden nicht angesetzt. Eine Ausnahme stellt hier der Nachweis der Sicherheit gegen Kippen dar, bei dem die Einhaltung der zulässigen Ausmitte der Sohldruckresultierenden mit charakteristischen Werten nachzuweisen ist.

Beim Nachweis in den Grenzzuständen GZ 1B und GZ 1C werden die Bemessungswerte (indiziert mit dem Buchstaben „d“ = design) der Beanspruchungen, d.h. derjenigen Größen, die durch die Einwirkungen hervorgerufen werden, den Bemessungswerten der Widerstände gegenübergestellt:

$$E_d \leq R_d$$

mit: E_d Bemessungswert der Beanspruchung allgemein (= **E**ffect)
 R_d Bemessungswert des Widerstandes allgemein (= **R**esistance)

Im Grenzzustand GZ 1B werden die Bemessungswerte aus den charakteristischen Werten mit Hilfe der Teilsicherheitsbeiwerte ermittelt, indem die Beanspruchungen vergrößert und die Widerstände verringert werden:

$$E_d = E_k \cdot \gamma_F \quad \text{bzw.} \quad R_d = \frac{R_k}{\gamma_R}$$

mit: E_d Bemessungswert der Beanspruchung allgemein
 E_k Charakteristische Beanspruchung allgemein
 γ_F Teilsicherheitsbeiwert für Einwirkungen allgemein
 R_d Bemessungswert des Widerstandes allgemein
 R_k Charakteristische Widerstand allgemein
 γ_R Teilsicherheitsbeiwert allgemein für Widerstände

Die charakteristischen Werte, die der Ermittlung der Bemessungswerte zugrunde liegen, werden bei den Nachweisen in den Grenzzuständen GZ 1A und GZ 1B mit Hilfe charakteristischer Werte für alle Einwirkungen F sowie für die Scherparameter φ' und c' ermittelt.

$$E_k = f(F_k, \varphi_k, c_k, \gamma_k, \dots)$$

mit: E_k Charakteristische Beanspruchung allgemein
 F_k Charakteristische Wert für Einwirkungen allgemein
 φ_k Charakteristischer Wert des Reibungswinkels allgemein
 c_k Charakteristischer Wert der Kohäsion allgemein
 γ_k Charakteristischer Wert für Wichten allgemein

Nur im Rahmen des Nachweises der Sicherheit gegen den Verlust der Gesamtstand-sicherheit (Grenzzustand GZ 1C) werden die Bemessungswerte der Scherparameter eingesetzt (analog der Fellenius-Regel).

Die charakteristischen Bodenkennwerte sind auf der Grundlage von ausgeführten Baugrundaufschlüssen gemäß DIN 4020 („Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke“) sowie von Labor- und Feldversuchen so festzulegen, „dass die Ergebnisse der damit durchgeführten Berechnungen auf der sicheren Seite liegen“ (DIN 1054), Gegebenenfalls sind für die Bodenkennwerte obere und untere Grenzen festzulegen, z.B. bezüglich der Baugrundsteifigkeit bei Bauwerken, die empfindlich gegenüber Setzungsunterschieden sind.

3.4 Einwirkungskombinationen, Sicherheitsklassen und Lastfälle

Einwirkungskombinationen umfassen die für den betrachteten Nachweis zu berücksichtigenden, gleichzeitig auftretenden Einwirkungen – zusammengestellt nach Ursache, Größe, Richtung und Häufigkeit. Es werden nach DIN 1054 folgende Einwirkungskombinationen unterschieden:

- *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 selten oder einmalige planmäßige Einwirkungen.
- *Außergewöhnliche Kombination EK 3:*
Außer den Einwirkungen der Regel-Kombination eine gleichzeitig mögliche außergewöhnliche Einwirkung, insbesondere bei Katastrophen oder Unfällen.

Mit Hilfe der *Sicherheitsklassen (SK)* wird der unterschiedliche Sicherheitsanspruch bei den Widerständen in Abhängigkeit von Dauer und Häufigkeit der maßgebenden Einwirkungen berücksichtigt. Hierbei wird zwischen folgenden Sicherheitsklassen unterschieden:

- SK 1: Auf die Funktionszeit des Bauwerks angelegte Zustände.
- SK 2: Bauzustände bei der Herstellung oder Reparatur des Bauwerks und Bauzustände durch Baumaßnahmen neben dem Bauwerk.
- SK 3: Während der Funktionszeit einmalig oder voraussichtlich nie auftretende Zustände.

Baugrubenkonstruktionen zählen zur Sicherheitsklasse SK 2.

Die *Lastfälle (LF)* ergeben sich für die Grenzzustände aus den Einwirkungskombinationen in Verbindung mit den Sicherheitsklassen bei den Widerständen (Tabelle 1). Durch die Einführung der Lastfälle LF 1, LF 2, und LF 3 bei geotechnischen Bauwerken werden die repräsentativen Werte der unabhängigen Einwirkungen unmittelbar bestimmt. Damit erübrigt sich eine Untersuchung des gleichzeitigen Auftretens von Einwirkungen mit Hilfe von Kombinationsbeiwerten (siehe z.B. Stahlbau: DIN 18800).

	EK 1	EK 2	EK 3
SK 1	LF 1	LF 2	(LF 3)
SK 2	LF 2	(LF 2)	LF 3
SK 3	(LF 3)	LF 3	$\gamma_F = \gamma_R = 1,0$

Tab. 1 Lastfälle

Bei Gründungen sind die Lastfälle wie folgt anzuwenden:

- Der *Lastfall 1* ist, abgesehen von Bauzuständen, maßgebend für alle ständigen und vorübergehenden Bemessungssituationen des aufliegenden Tragwerks; Lastfall 1 entspricht der „ständigen Bemessungssituation“ nach DIN 1055.
- Der *Lastfall 2* ist maßgebend für vorübergehende Beanspruchungen der Gründung in Bauzuständen des aufliegenden Tragwerkes; Lastfall 2 entspricht der „vorübergehenden Bemessungssituation“ nach DIN 1055.
- Der *Lastfall 3* ist maßgebend für außergewöhnliche Bemessungssituationen des aufliegenden Tragwerkes, soweit sich diese ungünstig auf die Gründung auswirken; Lastfall 3 entspricht der „außergewöhnlichen Bemessungssituation“ nach DIN 1055.

3.5 Teilsicherheitsbeiwerte

Die Teilsicherheitsbeiwerte für die Einwirkungen und Beanspruchungen sowie für die Widerstände können den Tabellen 2 und 3 entnommen werden. In Tabelle 2 werden die in den ersten drei Berichtigungen der DIN 1054:2005 zwischenzeitlich vorgenommenen Veränderungen berücksichtigt.

Einwirkung		Formelzeichen	Lastfall		
			LF 1	LF 2	LF 3
GZ 1A	Günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stab}$	0,95	0,95	0,95
	Ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	1,05	1,05	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
	Ungünstige veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	1,50	1,30	1,00
GZ 1B	Ständige Einwirkungen allgemein ^{*)}	γ_G	1,35	1,25	1,10
	Ständige Einwirkungen aus Erdruchdruck	γ_{E0g}	1,20	1,10	1,00
	Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,10
GZ 1C	Ständige Einwirkungen	γ_G	1,00	1,00	1,00
	Ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,30	1,20	1,00
GZ 2	Ständige Einwirkungen	γ_G	1,00		
	Veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,00		

^{*)} einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck

Tab. 2 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen
(kursiv gedruckte Teilsicherheitsbeiwerte gemäß Berichtigungen
Nr. 2 und 3 für DIN 1054:2005)

Widerstand		Formelzeichen	Lastfall		
			LF 1	LF 2	LF 3
GZ 1B	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	
Herausziehwiderstand des Verpresskörpers	γ_A	1,10	1,10	1,10	
GZ 1C	Scherfestigkeit				
	Reibungsbeiwert $\tan \varphi'$ des dränen Bodens	γ_φ	1,25	1,15	1,10
	Kohäsion c' des dränen Bodens und Scherfestigkeit c_u des undränen Bodens	γ_c, γ_{cu}	1,25	1,15	1,10
	Herausziehwiderstände				
	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	

Tab. 3 Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände

3.6 Geotechnische Kategorien

Die Mindestanforderungen an Umfang und Qualität geotechnischer Untersuchungen, Berechnungen und Überwachungsmaßnahmen richten sich nach den Geotechnischen Kategorien (GK) gemäß DIN 1054 und DIN 4020:

- Die *Geotechnische Kategorie GK 1* umfasst Baumaßnahmen mit geringem Schwierigkeitsgrad sowohl hinsichtlich Standsicherheit als auch Gebrauchstauglichkeit. Im Zweifelsfalle sollte ein Sachverständiger für Geotechnik hinzugezogen werden.
- In die *Geotechnische Kategorie GK 2* fallen Baumaßnahmen mit normalem Schwierigkeitsgrad. Durch einen Sachverständigen für Geotechnik ist ein geotechnischer Bericht gemäß DIN 4020 auf der Grundlage routinemäßiger Bau- grunduntersuchungen im Feld und Labor zu erstellen.
- Die *Geotechnische Kategorie GK 3* umfasst Baumaßnahmen mit hohem Schwierigkeitsgrad bzw. Baumaßnahmen, die nicht den Geotechnischen Kategorien GK 1 und GK 2 zuzuordnen sind. Das Mitwirken eines Sachverständigen für Geotechnik ist zwingend erforderlich. Bauwerke oder Baumaßnahmen, bei denen die Beobachtungsmethode angewendet werden soll, sind - bis auf begründete Ausnahmen - der Geotechnischen Kategorie GK 3 zuzuordnen.

Typische Beispiele für die Geotechnische Kategorie GK 3 sind u.a.:

- Unterfangungen
- Tiefe Baugruben
- Ausgedehnte Plattengründungen auf Boden mit unterschiedlichen Steifigkeitsverhältnissen im Grundriss
- Gründungen neben bestehenden Gebäuden, bei denen die Voraussetzungen der DIN 4123 nicht zutreffen.
- Teils als Flach- oder Flächengründung, teils als Tiefgründung ausgeführte Tiefgründungen
- Kombinierte Pfahl-Plattengründungen (KPP)

Die Einordnung der Baumaßnahme in eine der drei Geotechnischen Kategorien ist zu Beginn der Planung vorzunehmen. Hochstufungen in höhere Kategorien sind unbedingt vorzunehmen, wenn spätere Befunde dies erfordern.

3.7 Vergleich DIN 1054:1976:11 und DIN 1054:2005-01

Der Vergleich der Regelungen der neuen DIN 1054:2005-01 mit dem in der bisher gültigen DIN 1054:1976-11 verankertem Nachweiskonzept hinsichtlich der für die o.g. Grenzzustände anzuwendenden Bemessungsprozeduren zeigt, dass trotz der Umstellung auf das Teilsicherheitskonzept bei den meisten Aufgaben die grundlegenden Bemessungsprozeduren erhalten bleiben. Bei den Nachweisen in den Grenzzuständen GZ 1A und GZ 1B erfolgt die Faktorisierung mit Hilfe der Teilsicherheitsbeiwerte erst auf Schnittekraftebene, d.h. aus den Einwirkungen (z.B. Lasten aus dem Hochbau, Wasserdruck, Erddruck) als charakteristische Werte ergeben sich sowohl die charakteristischen Werte für die benötigten Beanspruchungen (z.B. Beanspruchungen in der Gründungssohle beim Nachweis der Sicherheit gegen Grundbruch und Gleiten) als auch die charakteristischen Werte für die Widerstände (Grundbruchwiderstand, Gleitwiderstand).

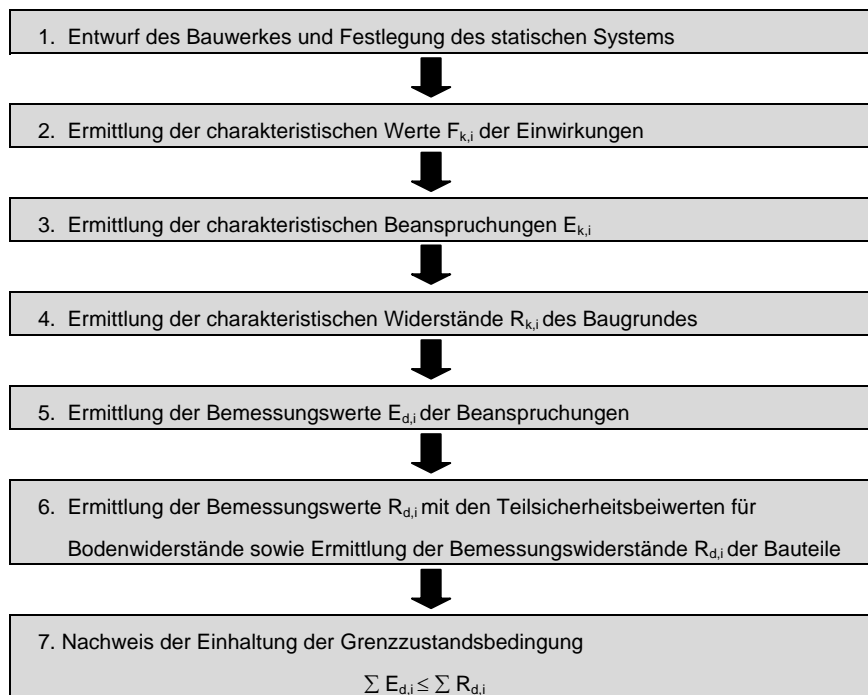


Bild 9 Allgemeiner Bemessungsablauf im GZ 1B

Die Nachweise im Grenzzustand GZ 1C dagegen werden mit abgeminderten Scherparametern geführt, so dass die Ermittlung der für den Nachweis maßgebenden Schnittgrößen auf der Grundlage von Bemessungswerten durchgeführt wird.

4 **Ausblick – Eurocode 7 und DIN-Normen: wie geht es weiter?**

4.1 **DIN EN 1997 Eurocode 7, Teil 1: Allgemeine Regelungen**

Der Eurocode DIN EN 1997 Eurocode 7 gliedert sich in zwei Teile:

Teil 1: Allgemeine Regeln und

Teil 2: Baugrunduntersuchung und -prüfung.

DIN EN 1997 Eurocode 7 · Teil 1 regelt den Entwurf, die Berechnung und die Bemessung in der Geotechnik sowie die geotechnischen Einwirkungen bei Gebäuden und Ingenieurbauwerken in Verbindung mit EN 1990 im Hinblick auf die Schnittgrößenermittlung und unter Berücksichtigung von EN 1991 bis EN 1999, soweit sie bei der Bemessung benötigt werden. Die Norm ist wie folgt gegliedert:

<i>Abschnitt 1:</i>	<i>Allgemeines</i>
<i>Abschnitt 2:</i>	<i>Grundlagen der geotechnischen Bemessung</i>
<i>Abschnitt 3:</i>	<i>Geotechnische Kenngrößen</i>
<i>Abschnitt 4:</i>	<i>Bauüberwachung, Kontrollmessungen und Instandhaltung</i>
<i>Abschnitt 5:</i>	<i>Schüttungen, Wasserhaltung, Bodenverbesserung und Bodenbewehrung</i>
<i>Abschnitt 6:</i>	<i>Flachgründungen</i>
<i>Abschnitt 7:</i>	<i>Pfahlgründungen</i>
<i>Abschnitt 8:</i>	<i>Verankerungen</i>
<i>Abschnitt 9:</i>	<i>Stützbauwerke</i>
<i>Abschnitt 10:</i>	<i>Hydraulisch verursachtes Versagen</i>
<i>Abschnitt 11:</i>	<i>Geländebruchsicherheit</i>
<i>Abschnitt 12:</i>	<i>Erddämme</i>

Ebenso wie die anderen Eurocodes enthält auch der EC 7 · Teil 1 Angaben über Teilsicherheitsbeiwerte. Sie sollen zwar europaweit gelten, sind aber letztlich unverbindlich, weil durch die Eurocodes nicht in die nationale Zuständigkeit für das jeweils für erforderlich gehaltene Sicherheitsniveau eingegriffen werden darf. Zumindest aber sollten im EC 7 · Teil 1 gemeinsame Regeln für die formale Behandlung von Berechnung und Bemessung entwickelt werden. Dies war im Grundbau, anders als bei allen anderen Eurocodes, zumindest in wichtigen Teilbereichen leider nicht möglich. Nach langwierigen Diskussionen einigte man sich darauf, der Norm im Hinblick auf Berechnung und Bemessung den Charakter einer Rahmennorm zu geben, innerhalb derer in begrenztem Umfang nationale Regelungen möglich sind. Die zukünftige DIN EN 1997-1 wird folgende Varianten bei den Nachweisverfahren zulassen:

- a) Beim *Nachweisverfahren 1* werden zwei Durchrechnungen erforderlich, wobei im einen Fall die Teilsicherheitsbeiwerte auf die Einwirkungen, im anderen Fall auf die Scherfestigkeitsparameter gelegt werden.
- b) Beim *Nachweisverfahren 2* werden die Teilsicherheitsbeiwerte auf die vorgegebenen Einwirkungen und auf die mit charakteristischen Scherfestigkeiten ermittelten Erddruckkräfte und Bodenwiderstände angewendet.
- c) Beim *Nachweisverfahren 3* werden die Einwirkungen mit Teilsicherheitsbeiwerten vergrößert, zur Ermittlung von Bodenwiderständen dagegen wird die Scherfestigkeit abgemindert.

Es ist den einzelnen Mitgliedsländern erlaubt festzulegen, in welchen Fällen welches Nachweisverfahren anzuwenden ist. Sie sind dann in dem jeweiligen Land für alle am Bau Beteiligten verbindlich, unabhängig davon, aus welchem Land sie selbst kommen. Das gleiche gilt für die zahlenmäßige Festlegung der Teilsicherheitsbeiwerte und vergleichbarer Faktoren. Damit wird es den einzelnen Ländern ermöglicht, ihr jeweiliges Sicherheitsniveau beizubehalten. In Deutschland wird für Schnittgrößenermittlung und Bemessung das Nachweisverfahren 2 gelten.

Im Eurocode 7 werden die *Grenzzustände der Tragfähigkeit* - gegenüber DIN 1054: 2005-01 verändert - in folgende 5 Gruppen gegliedert:

- **EQU**: Gleichgewichtsverlust des Bauwerks oder des Baugrunds als starrer Körper, bei dem weder im Bauwerk noch im Boden nennenswert Festigkeit mobilisiert wird.
- **STR**: Sehr große Verformungen oder *Bruch des Bauwerks* oder konstruktiver Elemente einschließlich Fundamente, Pfähle usw., bei dem die Festigkeit des Materials mobilisiert wird.
- **GEO**: Sehr große Verformungen oder *Bruch im Baugrund*, bei dem die Festigkeit des Baugrunds mobilisiert wird.
- **UPL**: Gleichgewichtsverlust des Bauwerks oder des Baugrunds infolge von *Auftrieb* oder anderer Vertikalkräfte
- **HYD**: hydraulischer Grundbruch und Materialtransport im Boden infolge von hydraulischen Gradienten

Die Nachweise werden unverändert im Format von Grenzzustandsnachweisen geführt. Dabei wird für STR und GEO nachgewiesen, dass der Bemessungswert einer Einwirkung oder einer Beanspruchung kleiner oder gleich ist dem Bemessungswert des Widerstandes. Bei EQU, UPL und HYD wird nachgewiesen, dass die Bemessungswerte ungünstiger Einwirkungen kleiner sind als die Bemessungswerte günstiger Einwirkungen.

Die nach DIN EN 1997-1 zu führenden Grenzzustandsnachweise und die Festlegungen der Nachweisverfahren sind in Tabelle 4 den Definitionen der DIN 1054:2005 gegenübergestellt.

DIN 1054:2005-01	DIN EN 1997-1:2008-10 mit Nationalem Anhang und DIN 1054-101:2009-02
GZ 1A: Grenzzustand des Verlustes der Lage-sicherheit (keine Widerstände, nur Gleichgewichtsbetrachtung)	EQU Gleichgewichtsverlust
	UPL Auftrieb
	HYD Hydraulischer Grundbruch
GZ 1B: Grenzzustand des Versagens im Boden und von Bauwerken und Bauteilen (Nachweisverfahren 2)	GEO Bruch im Baugrund
GZ 1C: Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit (Nachweisverfahren 3)	

Tab. 4 Grenzzustandsnachweise nach DIN 1054:2005-01 und DIN EN 1997-1:2008-10

Der in DIN 1054:2005 gewählte Weg, Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen zu definieren, aus deren Kombination sich die Lastfälle ergeben, wurde allgemein als schwer verständlich kritisiert, vor allem, da die zwei Eingangsparameter nicht voneinander unabhängig sind. So ist die außergewöhnliche Einwirkungs-Kombination EK 3, die insbesondere bei Katastrophen oder Unfällen gilt, gleichzeitig sicher auch ein während der Funktionszeit einmalig oder voraussichtlich nie auftretender Zustand, der als Merkmal der Sicherheitsklasse 3 definiert ist.

In der DIN EN 1997-1 und ihren Anwendungsdokumenten werden daher neue Definitionen stehen. Anstelle der drei Lastfälle 1, 2 und 3 treten die ihnen gleichwertigen Bemessungssituationen BS-P, BS-T und BS-A. Die drei Bemessungssituationen werden wie folgt definiert:

a) Bemessungssituation **BS-P**:

Den ständigen Situationen (Persistent situations), die den üblichen Nutzungsbedingungen des Tragwerks entsprechen, wird die Bemessungssituation BS-P zugeordnet. In ihr werden ständige und während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen berücksichtigt.

b) Bemessungssituation **BS-T**:

Den vorübergehenden Situationen (Transient situations), die sich auf zeitlich begrenzte Zustände beziehen, z.B. in Bauzuständen oder bei der Instandsetzung, bei Aufgrabungen oder Unterfangungsarbeiten, wird die Bemessungssituation BS-T zugeordnet. In ihr werden ständige und während des genannten zeitlich begrenzten Zustands regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen einschließlich des Auftre-

tens einer seltenen, planmäßig einmaligen oder möglicherweise nie auftretenden Einwirkung berücksichtigt. Sie gilt regelmäßig für Baugrubenböschungen und Baugrubenkonstruktionen, soweit z.B. für Steifen, Anker und Mikropfähle nichts anderes festgelegt ist.

c) Bemessungssituation **BS-A**:

Den außergewöhnlichen Situationen (Accidental situations), die sich auf außergewöhnliche Einwirkungen des Tragwerks oder seiner Umgebung beziehen, z.B. auf Feuer oder Brand, Explosion, Anprall, extremes Hochwasser oder Ankerausfall, wird die Bemessungssituation BS-A zugeordnet. In ihr werden neben den außergewöhnlichen Einwirkungen ständige und regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen wie bei den Bemessungssituationen BS P und BS T berücksichtigt. Eine außergewöhnliche Situation ist auch dann gegeben, wenn gleichzeitig mehrere seltene, planmäßig einmalig oder möglicherweise nie auftretende Einwirkungen auftreten, sofern sie voneinander unabhängig sind.

Den Situationen infolge von Erdbeben, die sich auf seismische Einwirkungen des Tragwerks beziehen, wird ebenfalls die Bemessungssituation BS-A zugeordnet.

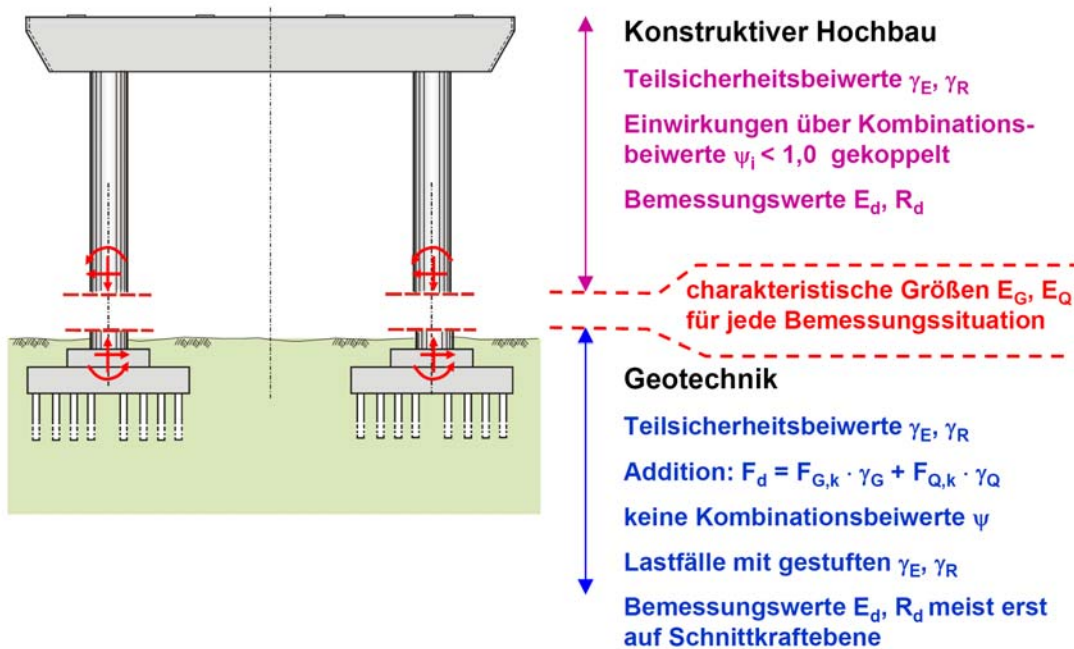
Gegenüber anderen Disziplinen des Bauingenieurwesens werden die Bemessungssituationen BS-P und BS-T getrennt und lassen traditionell für temporäre Zustände ein etwas abgemindertes Sicherheitsniveau zu (Vogt 2008).

Das Thema der Einwirkungskombinationen wird in Zukunft auch in der DIN 1054 konsequent und durchgängig mit Kombinationsbeiwerten gelöst. Dabei wird von den veränderlichen Einwirkungen eine als Leiteinwirkung behandelt, weitere begleitende Einwirkungen werden entsprechend ihrer Wahrscheinlichkeit, gleichzeitig in voller Höhe aufzutreten, abgemindert. Hierbei werden die Kombinationsbeiwerte ψ aus dem Hochbau übernommen und um solche für geotechnische Einwirkungen ergänzt. Auch mit der gültigen DIN 1054:2005 ist die Anwendung von Kombinationsbeiwerten zulässig, leider ist dieses Vorgehen nicht ausführlich behandelt. An allen Stellen, an denen der Begriff "charakteristische Beanspruchung" steht, darf man "charakteristische bzw. repräsentative Beanspruchung" verstehen. Ein entsprechender Hinweis findet sich in 6.1.2 (2).

Die Schnittstelle zwischen Bodenkontinuum und Gründung auf der einen und Tragwerk auf der anderen Seite bedarf dabei stets einer sorgfältigen Abstimmung hinsichtlich der Ermittlung der maßgebenden charakteristischen Beanspruchung für die Dimensionierung der Gründung (Bild 10).

Ermittlung der Gründungslasten (DIN 1054, 6.1.2):

Die Gründungslasten ergeben sich aus der Berechnung des Tragwerksplaners als Schnittgrößen in Höhe der Oberkante der Gründungskonstruktion für jede kritische Einwirkungskombination in den maßgebenden Bemessungssituationen für GZ 1 und GZ 2.



bei linear elastischer statischer Berechnung:

Charakteristische Beanspruchung lässt sich ermitteln, indem die einzelnen Auswirkungen infolge Bemessungseinwirkungen durch die jeweiligen Teilsicherheitsbeiwerte dividiert werden und anschließend zur charakteristischen Beanspruchung addiert werden.

bei nichtlinearer statischer Berechnung:

Beanspruchung lässt sich nicht mehr einfach in ständige und veränderliche Einwirkungen aufteilen.

DIN 1054, 6.1.2(2): 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 oder anderen maßgebenden Einwirkungsnormen in charakteristische bzw. repräsentative Beanspruchungen umzuwandeln

→ Bedarf einer Präzisierung.

DIN 1054 6.1.2 (3):

„... dass es in Ausnahmefällen erforderlich werden kann, die charakteristischen Werte der Beanspruchungen ohne Berücksichtigung von Kombinationsbeiwerten, getrennt nach den einzelnen Ursachen, zur Verfügung zu stellen“

→ keine eindeutige Regelungen

→ fallbezogene Entscheidung im Dialog zwischen Entwurfsverfasser, Tragwerksplaner und Geotechnischem Sachverständigen erforderlich

Bild 10 Bemessung von Gründungen: Verfahrensvorschlag an der Schnittstelle Tragwerk ./ . Gründung

4.2 Europäische Ausführungsnormen

Mit DIN EN 1997 Eurocode 7 Teil 1 in Verbindung mit DIN EN 1997 Eurocode 7 Teil 2 und den übrigen Eurocodes waren zwar Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik geregelt, aber nicht die Ausführung. Es lag somit nahe, auch hier eine Reihe von europäischen EN-Normen zu erarbeiten. Obwohl die Erarbeitung von Ausführungsnormen dem Ziel der Europäischen Gemeinschaft, im Sinne der Bauproduktenrichtlinie von 1992 einheitliche "Technische Spezifikationen" zu erarbeiten, wesentlich näher gelegen hat als die Erarbeitung von Bemessungsnormen, sah sich die Kommission der Europäischen Gemeinschaften nicht in der Lage, dieses Vorhaben ebenso finanziell zu unterstützen wie es bei den Bemessungsnormen der Fall war. Schließlich gründeten die europäischen Spezialtiefbauunternehmen die "Vereinigung der Europäischen Grundbauunternehmer (EFFC)", veranlassten die Gründung eines neuen technischen Komitees CEN/TC 288 "Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)" und beteiligten sich an der Finanzierung der einzelnen Arbeitsgruppen. Inzwischen sind die unter der Überschrift 'Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)' stehenden Normen:

EN 1536:	Bohrpfähle
EN 1537:	Verpressanker
EN 1538:	Schlitzwände
EN 12063:	Spundwandkonstruktionen
EN 12699:	Verdrängungspfähle
EN 12715:	Injektionen
EN 12716:	Düsenstrahlverfahren
EN 12794:	Vorgefertigte Gründungspfähle aus Beton
EN 14199:	Mikropfähle
EN 14475:	Bewehrte Schüttkörper
EN 14490:	Bodenvernagelung
EN 14679:	Tiefgreifende Bodenstabilisierung
EN 14731:	Tiefenrüttelverfahren

überwiegend fertig gestellt, einige wenige sind noch in der finalen Abstimmung.

In die Musterliste der Technischen Baubestimmungen ist aber bisher nur die DIN EN 1536:1999-06, also die Ausführungsnorm für Bohrspfähle, aufgenommen worden, für die der DIN Fachbericht 129 ('Richtlinie zur Anwendung von DIN EN 1536') mit Ausgabe Februar 2005 vorliegt. Für andere Ausführungsnormen, so beispielsweise für die DIN EN 12699 · 'Verdrängungspfähle', sind die DIN Fachberichte noch in der Vorbereitung bzw. Abstimmung.

4.3 Neue Normen zur Erkundung des Baugrundes

Zusätzlich zu den Eurocodes und den Europäischen Ausführungsnormen erarbeiten die Technischen Komitees TC 182 "Baugrund; Klassifizierung und Darstellung" und TC 341 "Geotechnische Erkundung und Versuche" unter Mitwirkung der internationalen Normenorganisation ISO (International Standardization Organisation) weitere Normen für den Bereich der Geotechnik.

Das Technische Komitee TC 182 ist zuständig für Normen zur Erkennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden und Fels. Zurzeit liegen als Arbeitsergebnisse folgende Normen und Normentwürfe vor:

- ISO 14688-1: Benennung und Beschreibung von Boden
- ISO 14688-2: Grundlagen der Klassifizierung
- ISO 14688-3: Elektronischer Austausch von Daten von Boden
- ISO 14689-1: Benennung und Beschreibung von Fels
- ISO 14689-2: Elektronischer Austausch von Daten von Fels

Das Technische Komitee TC 341 beschäftigt sich mit Normen zur Durchführung von geotechnischen Untersuchungen im Feld und von Laborversuchen. Folgende Normen sind in Bearbeitung:

- ISO 22457: Aufschluss- und Entnahmeverfahren und Grundwassermessungen
- ISO 11476: Sondierungen und Bohrlochversuche
- ISO 22477: Pfahlprobelastungen, Zugversuche an Ankern und Nägeln sowie Versuche an Bewehrter Erde
- ISO 17892: Bodenmechanische Laborversuche

Die ISO 22457 wird 16 Teile haben; für die ISO 17892 sind 12 Teile vorgesehen.

4.4 Weiterhin gültige Grundbaunormen

Weiterhin gültig bleiben, abgesehen von der laufenden Aktualisierung, folgende Grundbaunormen:

Normen zur Erkundung, Untersuchung und Beschreibung des Baugrundes:

- DIN 4020: Geotechnische Untersuchungen (Neufassung 2003)
- DIN 4021: Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen
- DIN 4022: Benennen und Beschreiben von Boden und Fels
- DIN 4023: Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen

- DIN 4094: Erkundung durch Sondierungen (Neufassung 2002)
- DIN 18121 bis DIN 18137: Untersuchung von Bodenproben
- DIN 18196: Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke

Normen über Lastannahmen bzw. Einwirkungen:

- DIN 1055-2: Bodenkenngrößen

Ausführungsnormen:

- DIN 4095: Dränung zum Schutz baulicher Anlagen
- DIN 4123: Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude
- DIN 4124: Baugruben und Gräben

Sie sind vom Wechsel des Sicherheitskonzeptes inhaltlich nicht betroffen. Die erforderliche formale Anpassung und gegebenenfalls eine inhaltliche Überarbeitung ist zum Teil bereits vollzogen worden.

4.5 Auf das Teilsicherheitskonzept umgestellte Berechnungsnormen

Die bisherigen Normen bleiben teilweise erhalten, werden aber auf das Teilsicherheitskonzept umgestellt bzw. bereits überarbeitet:

- DIN 4017: Berechnung des Grundbruchwiderstands,
- DIN 4019: Setzungsberechnungen,
- DIN 4084: Böschungs- und Geländebruchberechnungen,
- DIN 4085: Ermittlung des Erddrucks,
- DIN 4126: Standsicherheit von Schlitzwänden.

4.6 Umstellung Technischer Empfehlungen auf das Teilsicherheitskonzept

Alle bisherigen Empfehlungen bleiben im Grundsatz erhalten, werden aber auf das Teilsicherheitskonzept umgestellt und überarbeitet:

- EAB: Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben,
- EAU: Empfehlungen des Arbeitsausschusses "Ufereinfassungen",
- EBGEO: Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen,
- EVB: Empfehlungen "Verformungen des Baugrundes bei baulichen Anlagen" Empfehlungen für statische und dynamische Probelas-

- tungen von Pfählen Merkblatt über den Einfluss der Hinterfüllung auf Bauwerke,
KPP: Richtlinie für den Entwurf, die Bemessung und den Bau von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP),
Bedingungen für die Anwendung des Bauverfahrens "Bewehrte Erde".

Die EAB und die EAU, beide Ausgabe 2006, sind bereits auf das Teilsicherheitskonzept der DIN 1054:2005-01 abgestellt.

Ferner sind im April 2007 die von dem Arbeitskreis 2.1 „Pfähle“ der DGGT, der in Personalunion als Normenausschuss arbeitet, erarbeiteten Empfehlungen des Arbeitskreises Pfähle, kurz die „EA-Pfähle“ erschienen, die ebenfalls auf das Teilsicherheitskonzept der DIN 1054:2005-01 berücksichtigen.

4.7 Künftig entfallende Normen

Durch die Erarbeitung von Europäischen Normen für Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik sowie der Europäischen Normen für die "Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)" (siehe Abschnitt 3.2) werden folgende zurzeit noch gültigen, in der Muster-Liste der Technischen Baubestimmungen derzeit enthaltenen, deutschen Normen entfallen:

DIN 1054:1976-11:	Zulässige Belastung des Baugrunds (Ausgabe 1976-11)
DIN 4014:1990-03	Bohrpfähle
DIN 4026:1975-08	Rammpfähle
DIN 4125:1990-11	Verpressanker, Kurzzeitanker und Daueranker
DIN 4126:1986-08	Ortbeton-Schlitzwände
DIN 4128:1983-04	Verpresspfähle (Ortbeton- und Verbundpfähle) mit kleinem Durchmesser

Außerdem entfallen werden DIN 4018 „Berechnung der Sohldruckverteilung unter Flächen Gründungen“ und DIN 4127 „Schlitzwandtone für stützende Flüssigkeiten“.

5 Anwendung: Bemessung von Pfahlgründungen und Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP) nach DIN 1054:2005-01

5.1 Einleitung

Die Bemessung von Pfahlgründungen und Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP) ist in DIN 1054:2005-01 in Abschnitt 8 „Pfahlgründungen“ geregelt. Unter Berücksichtigung der in den bisherigen Pfahlnormen enthaltenen Regelungen und nationalen Erfahrungen orientiert sich die neue DIN 1054 unter anderem bezüglich formaler Aspekte wie der Nomenklatur und den Bezeichnungen, aber auch im Hinblick auf das Bemessungs- und Nachweiskonzept auch bei den Pfahlgründungen bereits stark an den Regelungen der DIN EN 1997-1 (Eurocode EC 7), deren spätere Einführung und Anwendung durch die neue DIN 1054 vorbereitet werden soll. In der gegenwärtigen Ausgabe der neuen DIN 1054 sind in den Anhängen B bis D der Norm zumindest die bisherigen nationalen Erfahrungswerte zur Abschätzung der axialen Tragfähigkeit von Einzelpfählen aus den bisherigen Normen, i.e. DIN 4014, DIN 4026 (teilweise) und DIN 4128 (teilweise) zusammenfassend aufgenommen worden und werden hier als „informative“ (nicht: „normative“) Tabellenwerte dokumentiert.

Ergänzende und weitergehende Erläuterungen zu Abschnitt 8 der DIN 1054:2005-01 werden sich in den entsprechenden, von Kempfert (2004) erarbeiteten Abschnitten des gegenwärtig in Vorbereitung befindlichen Kommentars zur DIN 1054 finden. Eine umfassende Zusammenstellung von Empfehlungen zur Berechnung und Ausführung von Pfahlgründungen unter Berücksichtigung der neuen Normengeneration wird zudem gegenwärtig vom Arbeitskreis 2.1 „Pfähle“ der DGGT erarbeitet.

Die Herstellung von Pfahlgründungen ist nicht in DIN 1054:2005-01, sondern in separaten Herstellungsnormen geregelt, dies sind:

- Bohrpfähle: DIN EN 1536: 1999-06
„Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau); Bohrpfähle“
- Verdrängungspfähle: DIN EN 12699: 2001-05
„Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau); Verdrängungspfähle“
- Fertigteilrammpfähle aus Beton: DIN EN 12794:2005-06
„Vorgefertigte Gründungspfähle aus Beton“
- Mikropfähle (Pfähle mit kleinem Durchmesser): DIN EN 14199: 2005-05
„Pfähle mit kleinem Durchmesser (Minipfähle)“

Die Pfahlnormen, die die Bemessung *und* die Herstellung/Ausführung von Pfählen bisher, teilweise seit mehr als 25 Jahren, geregelt haben, i.e.:

- Bohrpfähle: DIN 4014: 1990-03
„Bohrpfähle; Herstellung, Bemessung und Tragverhalten“
- Rammpfähle: DIN 4026: 1975-08
„Rammpfähle; Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung“
- Verpresspfähle: DIN 4128: 1983-04
„Verpresspfähle (Ortbeton- und Verbundpfähle) mit kleinem Durchmesser; Herstellung, Bemessung und zulässige Belastung“

entfallen mit Einführung der neuen Normen. Im Übergang zur neuen Normengeneration erfolgt also quasi eine Aufsplittung des Inhaltes der bisherigen Pfahlnormen in die bemessungsrelevanten Regelungen, die sich nun zusammengefasst in DIN 1054: 2005-01 („Bemessungsdachnorm“) finden, und die Regelungen zur Herstellung und Ausführung von Pfählen, die in den vor genannten neuen, pfahltypspezifischen Herstellungsnormen enthalten sind.

Die für Bohrpfähle relevante DIN EN 1536:1999-06 ist als erste Herstellungsnorm in Verbindung mit DIN 1054:2005-01 eingeführt worden. Der DIN-Fachbericht 129, dies ist das Nationale Anwendungsdokument zu DIN EN 1536, liegt seit 2003 ebenso vor wie ein Kommentar zu DIN EN 1536 (Linder & Siebke 2004). Zur DIN EN 12699 (Verdrängungspfähle) wird das Nationale Anwendungsdokument (Fachbericht) derzeit erarbeitet.

5.2 Grundsätze zum Entwurf und Berechnung von Pfahlgründungen nach DIN 1054:2005-01

5.2.1 Anwendungsbereich

Die Regelungen des Abschnittes 8 der DIN 1054:2005-01 gelten zunächst nur für konventionelle Pfahltypen, nämlich für Pfahlgründungen aus:

- Bohrpfählen (verrohrt oder unverrohrt mit Stützflüssigkeit hergestellt),
- Verdrängungspfählen (Fertigteil- und Ortbetonrammpfähle, Teil- und Vollverdrängungsbohrpfähle) und
- Mikropfählen ($D_s \leq 0,30$ m bei gebohrten Pfählen, $D_s \leq 0,15$ m bei Verdrängungspfählen).

Auf neue Pfahlverfahren und pfahlähnliche Gründungselemente, z.B. Betonrüttelsäulen, Schlitzwandelemente oder im Düsenstrahlverfahren hergestellte Säulen können die An-

forderungen der Norm jedoch ebenfalls angewendet werden, sofern keine speziellen Regelungen vorliegen.

5.2.2 Geotechnische Kategorie

Wichtig ist, dass Pfahlgründungen zukünftig in der Regel mindestens in die geotechnische Kategorie GK 2 oder aber in die höchste Geotechnische Kategorie GK 3 einzustufen sind. Merkmale, die in der Regel eine Einstufung in die Kategorie GK 2 erfordern, sind nach DIN 1054, Abs. 8.2.2:

- Pfahlgründungen, bei denen das Setzungsverhalten für das Tragwerk von Bedeutung ist;
- Ermittlung der Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten;
- Schwell-, Wechsel- und dynamische Beanspruchungen, sofern Erfahrungen vorliegen;
- aktive Beanspruchung von Pfählen quer zur Pfahlachse, z.B. aus Bauwerkslasten;
- Beanspruchung von Pfählen durch negative Mantelreibung.

Eine Einstufung in die Kategorie GK 3 wird erforderlich, für:

- Schwell-, Wechsel- und dynamische Beanspruchungen, sofern keine Erfahrungen für den verwendeten Pfahltyp unter entsprechenden Bodenverhältnissen vorliegen;
- Zugpfähle mit einer Neigung flacher als 45° ;
- passive Beanspruchung von Pfählen quer zur Pfahlachse, z.B. Seitendruck auf Pfähle und Setzungsbiegung;
- hoch ausgelastete Pfähle in Verbindung mit sehr geringen zulässigen Setzungen;
- hoch ausgelastete Pfähle in Verbindung mit einer Mantel- und/oder Fußverpressung.

Kombinierte Pfahl-Plattengründungen sind grundsätzlich in die Geotechnische Kategorie GK 3 einzustufen.

Diese Zuordnungen sollen gewährleisten, dass bei Pfahlgründungen grundsätzlich ein Sachverständiger für Geotechnik (Anforderungen nach DIN 4020:2003-09) hinzugezogen wird und die in DIN 1054:2005-01, Abs. 4.2 bzw. in DIN 4020:2003-09, Abs. 7.2 definierten Mindestanforderungen bei der Erkundung, Bemessung und Ausführung erfüllt werden. Bei der Planung direkter Aufschlüsse ist auf eine ausreichende Erkundungstiefe zu achten. Entsprechende Mindestanforderungen werden in DIN 4020:2003-09, Abs. 7.4.4 für Pfahlgründungen definiert und sind in dieser Form auch auf Kombinierte Pfahl-Plattengründungen übertragbar.

Formelzeichen DIN 1054: DIN 4014, 2005-01 DIN 4026, DIN 4128		Benennung	übliche Einheit
R	Q	Widerstand eines Einzelpfahls	MN
$R_{1,k}$		charakteristischer Pfahlwiderstand im Grenzzustand der Tragfähigkeit	MN
$R_{2,d}$		Bemessungswert des Pfahlwiderstandes im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit	MN
R_b	Q_s	Pfahlfußwiderstand eines Einzelpfahls (<i>base resistance</i>)	MN
R_s	Q_r	Pfahlmantelwiderstand eines Einzelpfahls (<i>shaft resistance</i>)	MN
q_b	σ_s	Pfahlspitzenwiderstandsspannung	kN/m ²
q_s	τ_m	positive Pfahlmantelreibung	kN/m ²
τ_n		negative Mantelreibung	kN/m ²
s	s	Setzung	cm
s_1	s_f	Setzung im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZ 1)	cm
s_g	s_g	Grenzsetzung bzw. Bruchsetzung	cm
s_{sg}	s_{rg}	Grenzsetzung für den setzungsabhängigen Pfahlmantelwiderstand	cm
D_b	D_F, d_F	Pfahlfußdurchmesser	m
D_s	D, d	Pfahlschaftdurchmesser	m
A_b	A_F	Nennwert der Pfahlfußfläche	m ²
A_s	A_m	Nennwert der Pfahlmantelfläche	m ²
a_s	b	Seitenlänge eines Pfahles mit quadratischem Querschnitt	m ²
k_s	k_s	Bettungsmodul quer zur Pfahlachse	MN/m ³
	e	Pfahlachsabstand zwischen den Pfählen einer Gruppe	m
$A_{s,i}$		Nennwert der Einzelpfahlmantelfläche in der Schicht i	m ²
L	L	elastische Länge eines Pfahles	m
q_u	q_u	einaxiale Druckfestigkeit	MN/m ²
q_c	q_s	Spitzenwiderstand der Drucksonde	MN/m ²
N		Zahl der Probebelastungen	-
α_L, α_Q	α_L, α_Q	Abminderungsfaktoren bei horizontal beanspruchten Pfahlgruppen	-
ξ		Streuungsfaktor zur Bewertung von Pfahlprobebelastungen	-
κ		Faktor zur Festlegung oberer und unterer Grenzwerte für die aufnehmbare Setzung im GZ 2	-
E		Beanspruchung (allgemein)	
F	Q	Einwirkung	
H	H	Horizontalkomponente der Einwirkung	MN

Tab. 5 Bezeichnungen für die Bemessung von Pfahlgründungen nach DIN 1054:2005-01 im Vergleich zu bisherigen Bezeichnungen (nach Kempfert 2003)

5.2.3 Bezeichnungen

Gegenüber den bislang gewohnten Formelzeichen und Bezeichnungen ergeben sich mit Einführung der DIN 1054:2005-01 und ihrer angelsächsisch geprägten Nomenklatur auch für Pfahlgründungen Umstellungen, die in Tabelle 5 zusammengefasst sind.

5.3 Einwirkungen und Beanspruchungen

5.3.1 Charakteristische Einwirkungen und Beanspruchungen

Die von Pfahlgründungen aufzunehmenden Einwirkungen können sich zusammensetzen aus:

- Gründungslasten (Bauwerkslasten);
- grundbauspezifischen Einwirkungen, insbesondere aus Verformungen des Baugrundes, z.B. negative Mantelreibung, Seitendruck und Setzungsbiegung;
- dynamische Einwirkungen.

Dabei gilt:

- Es sind die maßgebenden Kombinationen von ständigen und veränderlichen Einwirkungen zu untersuchen.
- Die Neigung der resultierenden Einwirkungen wird immer mit den charakteristischen Werten ermittelt.
- Bei der rechnerischen Ermittlung der negativen Mantelreibung, des Seitendrucks und der Setzungsbiegung kann auf die bislang in der Praxis bewährten Verfahren zurückgegriffen werden (u.a. Fedders 1978, Winter 1980, Schmiedel 1984, FGSV 1994, Kempfert 2001).
- Die Eigenlast von Pfählen darf bei Druckbeanspruchung weiterhin vernachlässigt werden.

Aus den charakteristischen Einwirkungen ergeben sich für die Pfähle die charakteristischen Beanspruchungen E_k , für die Kempfert (2003) folgende differenzierende Bezeichnungen vorschlägt:

- $N_{G,k}$ bzw. $N_{Q,k}$ aus ständigen bzw. veränderlichen Einwirkungen in axialer Richtung,
- $H_{G,k}$ bzw. $H_{Q,k}$ aus ständigen bzw. veränderlichen Einwirkungen quer zur Pfahlachse,
- $M_{G,k}$ bzw. $M_{Q,k}$ Biegemoment infolge ständiger bzw. veränderlicher Einwirkungen.

5.3.2 Bemessungswerte der Einwirkungen und Beanspruchungen

Für den Nachweis der Tragfähigkeit sind die unter den charakteristischen Einwirkungen ermittelten charakteristischen Schnittgrößen $E_{1,k}$ mit Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 6 für den Grenzzustand GZ 1B („Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen“) in Bemessungswerte $E_{1,d}$ der Beanspruchungen umzurechnen:

$$E_{1,d} = E_{k,G} \cdot \gamma_G + E_{k,Q} \cdot \gamma_Q \quad (1)$$

Besondere Regelungen bei der Wahl der Teilsicherheitsbeiwerte sind bei Pfählen, die sowohl Druck- als auch Zugbeanspruchungen ausgesetzt sind, bei Zugpfahlgruppen und bei Pfählen, die durch negative Mantelreibung beansprucht werden, zu beachten (DIN 1054:2005-01, Abs. 8.3.4).

Einwirkungen	Formelzeichen	DIN 1054:2005-01		
		LF 1	LF 2	LF 3
ständige Einwirkungen	γ_G	1,35	1,26	1,10
ungünstige veränderliche Einwirkungen	γ_Q	1,50	1,30	1,10

Tab. 6 Teilsicherheitsbeiwerte der Einwirkungen bzw. Beanspruchungen nach DIN 1054:2005-1, Tab. 2 für den Grenzzustand GZ 1B

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2) dürfen in der Regel die Bemessungswerte $E_{2,d}$ der Beanspruchungen gleich den charakteristischen Beanspruchungen $E_{2,k}$ gesetzt werden.

5.4 Tragfähigkeit und Widerstände von Einzelpfählen

5.4.1 Allgemeines

Der axiale Pfahlwiderstand R eines Einzelpfahles enthält die von der axialen Pfahlkopfsetzung s abhängigen Anteile: Fußwiderstand (‘*base resistance*’) R_b (nur Druckpfähle) und Mantelwiderstand (‘*shaft resistance*’) R_s :

$$R(s) = R_b(s) + R_s(s) \quad (2)$$

Die charakteristischen axialen Pfahlwiderstände sind auf der Grundlage von

- statischen Pfahlprobelastungen,
- dynamischen Pfahlprobelastungen oder
- aus Erfahrungswerten

zu ermitteln. Damit wird der in Deutschland seit Jahrzehnten übliche und u.a. der DIN 4014 zugrundeliegende Bemessungsgrundsatz fortgeschrieben, dass Pfahlwiderstände nicht über rechnerische/analytische Berechnungsmodelle oder erdstatische Verfahren ermittelt werden dürfen. Dennoch bestehen im Sinne der allgemeinen Grundsätze der DIN 1054:2005-01 Möglichkeiten, unter bestimmten Randbedingungen rechnerische Methoden, insbesondere numerische Verfahren (z.B. Methode der Finiten Elemen-

te) zur Bemessung von Pfahlgründungen und Kombinierten Pfahl-Plattengründungen einzusetzen, sofern die Modellbildungen durch die rechnerische Simulation von vergleichbaren Pfahlprobelastungsergebnissen kalibriert bzw. verifiziert worden sind.

DIN EN 1997-1 sieht für die Bestimmung des Pfahlwiderstandes axial beanspruchter Pfähle neben statischen und dynamischen Pfahlprobelastungen auch den Einsatz empirischer oder analytischer Berechnungsverfahren und den Abgleich mit dem beobachteten Verhalten vergleichbarer Pfahlgründungen vor. Die Anwendung dieser Vorgaben in Deutschland ist im Rahmen des zu erarbeitenden Nationalen Anwendungsdokumentes zur DIN EN 1997-1 zu klären.

5.4.2 Ermittlung axialer Pfahlwiderstände aus statischen Pfahlprobelastungen

Das Ziel von statischen Probelastungen ist die versuchstechnische Ermittlung einer Widerstands-Setzungs- bzw. Widerstands-Hebungs-Linie, aus der die Pfahlwiderstandsgrößen $R_{1,k}$ und $R_{2,k}$ für die Nachweise der Grenzzustände der Tragfähigkeit (GZ 1) und der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2) abgeleitet werden können. Die Durchführung von statischen und dynamischen Probelastungen ist in den Empfehlungen des Arbeitskreises 2.1 der DGGT (1998) detailliert geregelt.

Grundsätzlich - und dies ist im Vergleich zu der bisherigen Praxis neu - folgt DIN 1054:2005-01 den Regelungen der E DIN EN 1997-1, wonach die Ergebnisse einer oder mehrerer Probelastungen zunächst als Messwerte $R_{m,i}$ zu behandeln sind, aus denen die charakteristische Widerstands-Setzungs-/Hebungs-Linie bzw. die charakteristischen Pfahlwiderstände unter Berücksichtigung der Anzahl der Probelastungen und von Streuungen erst abzuleiten sind. Dabei sind zwei Bereiche zu unterscheiden:

- (a) charakteristische Pfahlwiderstände im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZ 1B) und
- (b) charakteristische Pfahlwiderstände im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2).

(a) Charakteristische Pfahlwiderstände im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZ 1B)

Bei der Ermittlung des charakteristischen Pfahlwiderstandes $R_{1,k}$ im Grenzzustand der Tragfähigkeit (GZ 1B) aus gemessenen Werten $R_{m,i}$ wird ein Streuungsfaktor ξ (Tabelle 7) eingeführt, mit dem die mögliche Veränderlichkeit des Baugrundes und mögliche Unregelmäßigkeiten bei der Pfahlherstellung berücksichtigt werden sollen.

Bei „unabhängig voneinander wirkenden Einzelpfählen“, eine Voraussetzung, die bei sehr weichen Pfahlkopffplatten weitgehend erfüllt ist, ist der charakteristische Pfahlwiderstand $R_{1,k}$ aus dem Kleinstwert $R_{1m,min}$ der Probelastungsergebnisse $R_{1m,i}$ zu ermitteln:

$$R_{1,k} = R_{1m,min} / \xi \quad (3)$$

Sofern es, z.B. durch eine weitgehend starre Pfahlkopfplatte zu einer Lastverteilung auf mehrerer Pfähle kommt und der Variationskoeffizient $s_N / \bar{R}_{1m} \leq 0,25$ ist, darf der Streuungsfaktor auf den Mittelwert \bar{R}_{1m} der Probelastungsergebnisse $R_{1m,i}$ bezogen werden:

$$R_{1,k} = \bar{R}_{1m} / \xi \quad (4)$$

Zahl der Probelastungen N	Streuungsfaktor ξ [-]		
	Mittelwert \bar{R}_{1m} *)		Kleinstwert $R_{1m,min}$
	$s_N / \bar{R}_{1m} = 0$	$s_N / \bar{R}_{1m} = 0,25$	
1	-	-	1,15
2	1,05	1,10	1,05
> 2	1,00	1,05	1,00

*) Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

Ermittlung der Standardabweichung: $s_N = \sqrt{\sum_{i=1}^N (\bar{R}_{1m} - R_{1m,i})^2 / (N - 1)}$

Tab. 7 Streuungsfaktor ξ nach DIN 1054:2005-01 zur Berücksichtigung von Anzahl und Streuung der Ergebnisse von Pfahlprobelastungen

Ist der Pfahlwiderstand $R_{1m,i}$ nicht als Grenzwert aus der Widerstands-Setzungs-Linie erkennbar oder tritt er erst bei Setzungen auf, die größer sind als die Grenzsetzung

$$s_1 = 0,10 \cdot D_b \quad (5)$$

so ist $R_{1m,i} = R_{m,i} (0,10 \cdot D_b)$.

(b) Charakteristische Pfahlwiderstände im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2)

Der Ermittlung der charakteristischen Pfahlwiderstände $R_{2,k}$ im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist die charakteristische Widerstands-Setzungs-Linie $R_k(s)$ zu Grunde zu legen. Liegen mehrere Probelastungen vor, empfiehlt DIN 1054:2005-01 dabei eine qualifizierte Wichtung der Einzelergebnisse und daraus entsprechend (a) die Ableitung der charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie. Bei diesem Vorgehen kann es im Falle nicht gleichmäßig bezogener Streuungen der einzelnen Probelastungsergebnisse über den Verlauf der Pfahlsetzungen bei der rein formalen Übertragung der Streuungsfaktoren ξ auf die gesamte Widerstands-Setzungs-Linie theoretisch zu

Sprünge in der charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie kommen, wenn die Probelastungsergebnisse sowohl über als auch unterhalb $s_N/\bar{R}_{1m} = 0,25$ bzw. $s_N/\bar{R}_m = 0,25$ liegen. In diesem Fall ist eine sinnvolle Korrektur mit einem stetigen Verlauf der charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie vorzunehmen.

5.4.3 Ermittlung axialer Pfahlwiderstände aus dynamischen Pfahlprobelastungen

DIN 1054:2005-01 erlaubt nun auch die Ermittlung des charakteristischen axialen Pfahlwiderstandes $R_{1,k}$ auf der Basis von dynamischen Pfahlprobelastungen. Voraussetzung ist, dass mindestens zwei Pfähle je Pfahltyp und einheitlichen Baugrundverhältnissen beprobt werden und die die Probelastung durchführende Institution eine langjährige Erfahrung mit der Messmethode nachweisen kann. Bei der Ermittlung des charakteristischen Pfahlwiderstandes aus den Messergebnissen sind ebenfalls die Streufaktoren ξ nach Tabelle 7 zu berücksichtigen, wobei diese Faktoren hier zusätzlich um einen Wert $\Delta\xi$ zu erhöhen ist. Die erforderliche Erhöhung $\Delta\xi$ ist abhängig von der Vorabinformation bzw. Kalibrierung durch statische Probelastungen auf dem Baufeld bzw. unter vergleichbaren Randbedingungen und dem verwendeten Auswerteverfahren. Eine Darstellung von Kempfert (2003) aufgreifend, sind die wesentlichen Regelungen der DIN 1054:2005-1, Abs. 8.4.3 zusammenfassend in Tabelle 8 dokumentiert.

1) Kalibrierung der dynamischen Probelastungen an einer statischen Probelastung ...		
Ort der statischen Probelastung	Auswerteverfahren	Erhöhung $\Delta\xi$
... auf dem gleichen Baufeld	erweitertes Verfahren (z.B. CAPWAP)	$\Delta\xi = 0$
	direktes Verfahren (z.B. CASE)	$\Delta\xi = 0,10$
... aus anderer Baumaßnahme	erweitertes Verfahren (z.B. CAPWAP)	$\Delta\xi = 0,05$
	direktes Verfahren (z.B. CASE)	$\Delta\xi = 0,15$
2) Kalibrierung der dynamischen Probelastungen aus allgemeinen Erfahrungswerten (Auswertung: nur erweitertes Verfahren zulässig)		$\Delta\xi = 0,15$
Wichtig: bei der Anwendung der Streufaktoren ξ der Tabelle 2 für dynamische Probelastungen muss jeweils die doppelte Zahl N von Probelastungen vorliegen (also N = 2, 4, > 4 statt N = 1, 2, > 2).		

Tab. 8 Erhöhung $\Delta\xi$ des Streufaktors ξ nach Tabelle 2 bei der Auswertung von dynamischen Probelastungen

5.4.3 Ermittlung axialer Pfahlwiderstände aus Erfahrungswerten

Wenn keine Pfahlprobelastungen durchgeführt werden und keine Erfahrungen aus unmittelbar vergleichbaren Probelastungen vorliegen, darf - unter Inkaufnahme

höherer Teilsicherheitsbeiwerte γ_R für die Pfahlwiderstände (Abschnitt 5, Tabelle 10) - der charakteristische axiale Pfahlwiderstand des Einzelpfahles aus allgemeinen Erfahrungswerten ermittelt werden (DIN 1054:2005-01, Abs. 8.4.4). Gegenüber den bisher gültigen Pfahlnormen wird die Anwendbarkeit von Erfahrungswerten erweitert: neben den bekannten, durch eine langjährige Anwendung in der Baupraxis abgesicherten Tabellenwerten aus den bisherigen Pfahlnormen DIN 4014, DIN 4026 und DIN 4128, die in die informativen Anhängen B bis D der DIN 1054:2005-01 übernommen worden sind, dürfen auch andere Erfahrungswerte gewählt werden. In jedem Fall, d.h. auch bei Anwendung der in den Anhängen zusammengestellten Tabellenwerte, ist die jeweilige Anwendbarkeit der Erfahrungswerte ausdrücklich vom Sachverständigen für Geotechnik für die vorgesehene Baumaßnahme zu bestätigen.

Bei Zugpfähle folgt DIN 1054:2005-01 der Auffassung, dass stets statische Pfahlprobelastungen durchzuführen sind. Hiervon darf nur ausnahmsweise abgewichen werden und nur, wenn dies für den vorgesehenen Anwendungsfall ausdrücklich durch einen Sachverständigen für Geotechnik bestätigt wird.

Für Bohrpfähle mit einem Durchmesser von D_s bzw. $D_b = 0,30$ m bis 3,0 m ist in Anhang B der DIN 1054:2005-01 das von DIN 4014:1990-03 bekannte Verfahren zur theoretischen Ermittlung einer charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie nach Bild 11 dokumentiert, das auch weiterhin angewendet werden darf. Die im Anhang B genannten Erfahrungswerte sowie die Anwendungsvoraussetzungen und Anwendungsgrenzen entsprechen den bekannten Regelungen der DIN 4014. Die Erfahrungswerte dürfen für verrohrte, aber auch ohne Abschlag für unverroehrt bei Verwendung einer Stützflüssigkeit hergestellte Pfähle angewendet werden. Zudem dürfen nach DIN 1054:2005-01, Anhang B.2(7) die Erfahrungswerte auch für „wandartige Bohrfahlelemente“, also Schlitzwandelemente angewendet werden, da - abweichend von den Regelungen der DIN 1054:2005-01, Abs. 8.1.1(2) - nach DIN EN 1536: 1999-06 auch Schlitzwandelemente (*'barrettes'*) in den Anwendungsbereich der Bohrfahlnorm aufgenommen werden und unter bestimmten Voraussetzungen (DIN EN 1536, Abs. 1) als reguläre Pfähle behandelt werden können.

Der charakteristische Pfahlwiderstand ist aus dem Ansatz

$$R_k(s) = R_{b,k}(s) + R_{s,k}(s) = q_{b,k}(s) \cdot A_b + \sum_i q_{s,k,i}(s) \cdot A_{s,i} \quad (6)$$

zu ermitteln. Die charakteristischen Werte des Pfahlspitzenwiderstandes und der Pfahlmantelreibung in der Schicht i können in Abhängigkeit

- vom über die Tiefe gemittelten Spitzenwiderstand q_c der Drucksonde bei nichtbindigen Böden und
- von der undrainierten Scherfestigkeit $c_{u,k}$ bei bindigen Böden

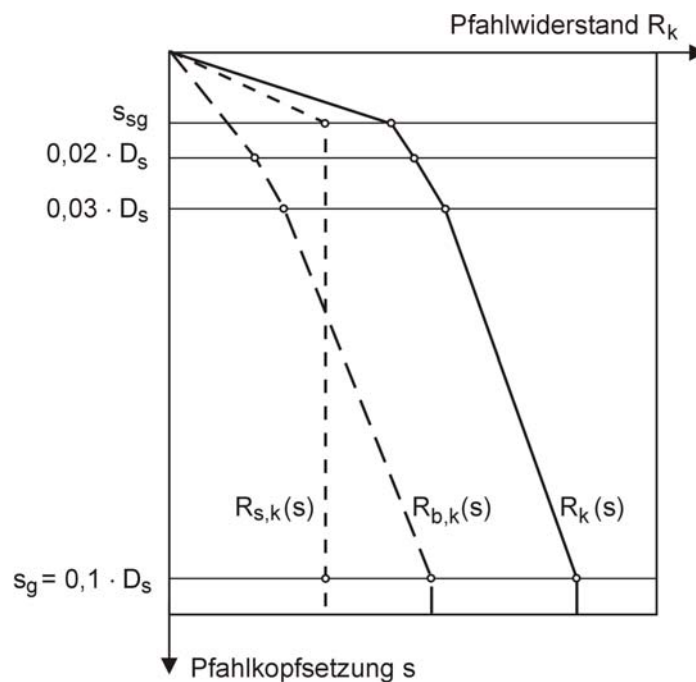


Bild 11

Elemente der aus Erfahrungswerten ermittelten charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie für Bohrpfähle nach DIN 1054:2005-01

den Tabellen 9 bis 12 entnommen werden. Für Pfähle im Fels gelten die Werte der Tabelle 13. Alle Tabellenwerte entsprechen ohne Veränderung den Angaben der bisherigen DIN 4014. Für den Übergangsbereich vom Locker- zum Festgestein werden zunächst auch weiterhin keine Erfahrungswerte genannt.

Für den Pfahlfußwiderstand $R_{b,k}$ ($s_1 = s_g$) gilt eine Grenzsetzung s_1 nach Gleichung 5. Für die Mobilisierung des Pfahlmantelwiderstandes $R_{s,k}$ (s_{sg}) im Bruchzustand gilt eine Grenzsetzung s_{sg} :

$$s_{sg} = 0,5 \cdot R_{s,k}(s_{sg}) \text{ [MN]} + 0,5 \text{ cm} \leq 3,0 \text{ cm} \quad (7)$$

Bei der - nur in Ausnahmefällen zulässigen - Ermittlung einer charakteristischen axialen Widerstands-Hebungs-Linie ist:

$$s_{sg,zug} = 1,3 \cdot s_{sg} \quad (8)$$

mit s_{sg} nach Gleichung 7 anzusetzen.

Der charakteristische axiale Pfahlwiderstand von (vorgefertigten) gerammten Verdrängungspfählen kann nach dem informativen Anhang C der DIN 1054:2005-01 ermittelt werden. Für Fertigteilepfähle aus Stahl- oder Spannbeton gilt Gleichung 6 aber zunächst nur für den Nachweis der Tragfähigkeit (GZ 1B) mit:

$$R_{1,k} = R_{b1,k} + R_{s1,k} = q_{b1,k} \cdot A_b + \sum_i q_{s1,k,i} \cdot A_{s,i} \quad (9)$$

bezogene Pfahlkopf- setzung s/D_s bzw. s/D_b	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²] *)			
	bei einem mittleren Spitzen- widerstand q_c der Drucksonde [MN/m ²]			
	10	15	20	25
0,02	0,70	1,05	1,40	1,75
0,03	0,90	1,35	1,80	2,25
0,10 = s_g	2,00	3,00	3,50	4,00

*) Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden. Bei Bohrpfählen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75 % abzumindern.

Tab. 9 Bohrpfähle: charakteristischer Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ für nichtbindige Böden

bezogene Pfahlkopf- setzung s/D_s bzw. s/D_b	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²] *)	
	bei einer Scherfestigkeit $c_{u,k}$ des undrännierten Bodens [MN/m ²]	
	0,10	0,20
0,02	0,35	0,90
0,03	0,45	1,10
0,10 = s_g	0,80	1,50

*) Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden. Bei Bohrpfählen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75 % abzumindern.

Tab. 10 Bohrpfähle: charakteristischer Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ für bindige Böden

mittlerer Spitzen- widerstand q_c der Drucksonde [MN/m ²]	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantel- reibung [MN/m ²] *)
0	0
5	0,04
10	0,08
≥ 15	0,12

*) Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

Tab. 11 Bohrpfähle: charakteristische Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ für nichtbindige Böden

Scherfestigkeit $c_{u,k}$ des undrännierten Bodens [MN/m ²]	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantel- reibung [MN/m ²] *)
0,025	0,025
0,10	0,040
≥ 0,2	0,060

*) Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

Tab. 12 Bohrpfähle: charakteristische Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ für bindige Böden

Einaxiale Druckfestigkeit $q_{u,k}$ [MN/m ²]	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²] *)	Bruchwert $q_{s,k}$ der Pfahlmantelreibung [MN/m ²] *)
0,5	1,5	0,08
5,0	5,0	0,50
20,0	10,0	0,50

*) Zwischenwerte dürfen geradlinig interpoliert werden.

Tab. 13 Bohrpfähle: charakteristische Werte des Pfahlspitzenwiderstandes $q_{b,k}$ und der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ im Fels

Für die charakteristischen Werte des Pfahlspitzenwiderstandes und der Pfahlmantelreibung im Grenzzustand GZ 1B werden in Anhang C Tabellenwerte für nichtbindige Böden angegeben, die u.a. auf Schenck (1966) zurückgehen. Bei Anwendung dieser Erfahrungswerte kann ein gesonderter Nachweis der Pfahltragfähigkeit im Grenzzustand GZ 2 entfallen.

Für Stahl- und Spannbetonfertigpfähle in bindigen Böden sowie für Holz- und Stahlpfähle dürfen, da abgesicherte Angaben für den charakteristischen Pfahlfußwiderstand und für die Pfahlmantelreibung derzeit nicht vorliegen, aus den Tabellenwerten in Anhang C der DIN 1054:2005-01 Pfahlwiderstände für den Grenzzustand GZ 2 abgeleitet werden. Die Tabellenwerte stellen eine Auswahl der in DIN 4026 enthaltenen Erfahrungswerte dar.

Für Mikropfähle sind nach DIN 1054:2005-01 immer statische Probelastungen auszuführen: an mindestens 3 % der vorgesehenen Anzahl der Pfähle, mindestens aber an $N \geq 2$ Pfählen. Nur in Ausnahmefällen darf der charakteristische axiale Pfahlwiderstand $R_{1,k}$ im Grenzzustand GZ 1B aus den im Anhang D genannten Erfahrungswerten für die Pfahlmantelreibung $q_{s1,k}$ verpresster Mikropfähle ermittelt werden.

5.4.4 Ermittlung von Pfahlwiderständen quer zur Pfahlachse

Pfahlwiderstände quer zur Pfahlachse werden üblicherweise in Form von Bettungsmoduln angegeben. Nach DIN 1054:2005-1, Abs. 8.4.5 sollte der charakteristische Querwiderstand eines Einzelpfahles aufgrund von Probelastungen festgelegt werden.

Wird der Querwiderstand zur Ermittlung der inneren Beanspruchung des Pfahles (Schnittgrößen) benötigt, dürfen die Bettungsmoduln aus der bekannten Näherung:

$$k_{s,k} = E_{s,k} / D_s \quad (10)$$

ermittelt werden, wobei für große Pfahldurchmesser $D_s > 1,0$ m rechnerisch $D_s = 1,0$ m zu setzen ist. Aufgrund der mit diesem Ansatz verbundenen Unsicherheiten ist die Bettungsmodulverteilung längs des Pfahles hingegen aus Probelastungen zu ermitteln, wenn die Verformungen der Pfahlgründung nachzuweisen sind.

Die im informativen Anhang E der DIN 1054:2005-1 enthaltenen Angaben zur Verteilung von Einwirkungen und Widerständen in quer zur Pfahlachse belasteten Pfahlgruppen entsprechen den bisher gebräuchlichen Regelungen in DIN 4014:1990-03, Abs. 7.4 mit den Abminderungsfaktoren α_L und α_Q .

5.5 Nachweis der Tragfähigkeit (GZ 1)

Die bei Pfahlgründungen durchzuführenden Nachweise der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sind in den Abschnitten 8.5 und 8.6 der DIN 1054:2005-01 behandelt.

Die nach Abschnitt 5.4 ermittelten charakteristischen Pfahlwiderstände sind mit den Teilsicherheitsbeiwerten nach Tabelle 14 für den Grenzzustand GZ 1B in Bemessungswerte der Pfahlwiderstände umzurechnen:

$$R_{1,d} = R_{1,k} / \gamma_R \quad (11)$$

Die angegebenen Teilsicherheitsbeiwerte erfassen gleichermaßen den Fuß- und Mantelwiderstand.

Pfahlwiderstand	Formelzeichen	DIN 1054:2005-01 LF 1 – LF 3
Druckpfahlwiderstand bei Probelastung	γ_{Pc}	1,20
Zugpfahlwiderstand bei Probelastung	γ_{Pt}	1,30
Pfahlwiderstand auf Druck und Zug aufgrund von Erfahrungswerten	γ_P	1,40

Tab. 14 Teilsicherheitsbeiwerte γ_R der Pfahlwiderstände für den Grenzzustand GZ 1B, nach DIN 1054:2005-1, Tab. 3

Für den Nachweis der Tragfähigkeit, d.h. der ausreichenden Sicherheit gegen Versagen eines axial belasteten Einzelpfahles durch Bruch des Bodens in der Pfahlumgebung, dies ist der Versagensfall Grenzzustand GZ 1B, ist die Grenzzustandsbedingung

$$E_{1,d} \leq R_{1,d} \quad (12)$$

einzuhalten.

Bei quer zur Achse belasteten Pfählen kann der Nachweis der Tragfähigkeit im Grenzzustand GZ 1B entfallen, wenn die Pfähle vollständig im Boden eingebettet sind und die waagerechte charakteristische Beanspruchung im Lastfall 1 höchstens 3 % (LF 2: 5 %) der lotrechten Beanspruchung erreicht. In allen anderen Fällen sind die charakteristischen Schnittgrößen mit den charakteristischen Werten der Einwirkungen und den charakteristischen Werten der Bettungsmoduln zu ermitteln und nach Umwandlung der charakteristischen Schnittgrößen in Bemessungswerte der Beanspruchungen der Nachweis auf der Schnittkraftebene zu führen.

DIN 1054:2005-01 enthält die neue Regelung, dass bei axial belasteten Druckpfahlgruppen und Pfahlrosten mit „ausreichend steifer Pfahlkopfplatte/Überbau“ das Auftreten eines Grundbruchs unterhalb der Pfahlgruppe ausgeschlossen werden kann, so dass der Nachweis der Tragfähigkeit der Pfahlgruppe im Grenzzustand GZ 1B (Grenzzustand des Versagens von Bauwerken und Bauteilen) entfallen kann.

Besondere Regelungen gelten für Zugpfahlgruppen, bei denen im Grenzzustand GZ 1A (Grenzzustand des Verlustes der Lagesicherheit) sowohl der Nachweis für die Summe der Einzelpfahlwiderstände als auch zur Berücksichtigung der Gruppenwirkung eng stehender Zugpfähle der Nachweis des angehängten Bodengewichts zu führen ist (Details in: DIN 1054:2005- 1, Abs. 8.5.4).

In DIN 1054:2005-01 ist jetzt auch das Gründungskonzept der **Kombinierten Pfahl-Plattengründung (KPP)** aufgenommen. Der von der Setzung s abhängige charakteristische Gesamtwiderstand $R_{\text{tot},k}(s)$ einer KPP setzt sich aus der Summe der charakteristischen Pfahlwiderstände der KPP $\sum_{j=1}^m R_{\text{pile},k,j}(s)$ und dem charakteristischen Sohldruckwiderstand $R_{\text{raft},k}(s)$ zusammen, der sich aus dem Integral des Sohldrucks $\sigma(x,y)$ über die Grundrissfläche A der Fundamentplatte ergibt:

$$R_{\text{tot},k}(s) = \sum_{j=1}^m R_{\text{pile},k,j}(s) + R_{\text{raft},k}(s) \quad (13)$$

mit:

$$R_{\text{pile},k,j}(s) = R_{b,k,j}(s) + R_{s,k,j}(s) \quad (14)$$

Bei der Bemessung und dem Nachweis von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen (KPP) fordert DIN 1054:2005-01 die Hinzuziehung eines Sachverständigen für Geotechnik zur Ermittlung und Bewertung des Tragverhaltens, verweist ansonsten aber auf die KPP-Richtlinie (Hanisch et al. 2002), in der die das Tragverhalten von Kombinierten Pfahl-Plattengründungen prägenden Wechselwirkungen zwischen Fundamentplatte, Gründungspfähle und Bodenkontinuum auf der Basis von Untersuchungen von Katzenbach & Moormann (1999) erläutert, Anforderungen an Berechnungsverfahren für die Bemessung einer KPP definiert und die Nachweisführung für den Nachweis der äußeren und inneren Tragfähigkeit im Grenzzustand GZ 1 und für den Nachweis der äußeren und inneren Gebrauchstauglichkeit im Grenzzustand GZ 2 dokumentiert ist. Während in der Richtlinie selbst die Nachweise auf dem Globalsicherheitskonzept aufbauen, werden im Anhang A, Kapitel 3 der Richtlinie auch Teilsicherheitsbeiwerte für Nachweise nach dem Partialsicherheitskonzept angegeben. Grundsätzlich ist auch bei Kombinierten Pfahl-Plattengründungen das Tragverhalten unter charakteristischen Einwirkungen und unter Ansatz charakteristischer Bodenkenngrößen zu untersuchen und der Nachweis mit Bemessungswerten erst auf der Schnittkraftebene zu führen.

5.6 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2)

Nach DIN 1054:2005-01 ist der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit nur zu führen, wenn eine entsprechende Prüfung ergibt, dass die Verformungen der Pfahlgründung für das Gesamttragwerk von Bedeutung sind. Unabhängig von dieser Erleichterung sollte der Nachweis einer ausreichenden Sicherheit gegen Verlust der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2) aber stets in der Form:

$$E_{2,d} = E_{2,k} \leq R_{2,d} = R_{2,k} \quad (15)$$

geführt werden.

Bei der Ermittlung des charakteristischen Pfahlwiderstandes $R_{2,k}$ ist die Abschätzung der Setzungsdifferenzen zwischen den Einzelpfählen oder Pfahlgruppen von besonderer Bedeutung, weil diese Setzungsdifferenzen $\Delta s_{2,k}$ im aufgehenden Tagwerk durch die sich hieraus ergebenden Zwangsbeanspruchungen einen Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2) oder gar der Tragfähigkeit (GZ 1B) hervorrufen können.

Sind nur geringe Setzungsdifferenzen zu erwarten, dann ist der charakteristische Pfahlwiderstand $R_{2,k}$ gemäß Bild 12a in der üblichen Weise unter Vorgabe einer zulässigen charakteristischen Setzung, hier als s_2 bezeichnet, aus den Pfahlprobelastungen abzuleiten.

Sind im Gebrauchszustand erhebliche Setzungsdifferenzen zwischen den Einzelpfählen bzw. den Pfahlgruppen zu erwarten, ist zunächst wie in Bild 12a vorzugehen, in einem zweiten Schritt aber für den sich ergebenden Pfahlwiderstand $R_{2,k}$ die auftretende zwangserzeugende Setzungsdifferenz mit dem Ansatz

$$\Delta s_{2,k} = \kappa \cdot s_{2,k} \quad (16)$$

abzuschätzen (Bild 12b). Hieraus können mögliche obere Grenzwerte $s_{2,k \max}$ und untere Grenzwerte $s_{2,k \min}$ ermittelt werden. Der Faktor κ ist abhängig von der Pfahlherstellung, der Baugrundsichtung und der Stellung der Pfähle innerhalb der Pfahlgruppe. Anhaltswerte für die κ -Werte werden in DIN 1054 nicht definiert. Kempfert (2003) nennt vorbehaltlich genauerer Untersuchungen als Anhaltswerte für eine erste Abschätzung: $\kappa = 0,15$.

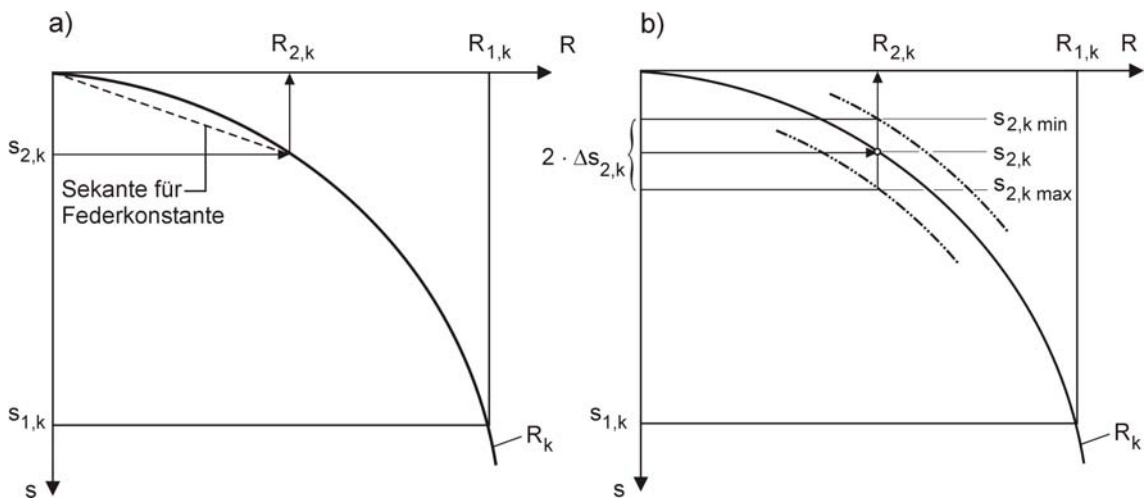


Bild 12 Ermittlung des charakteristischen Pfahlwiderstandes $R_{2,k}$ nach DIN 1054:2005-01 in Abhängigkeit von der Größe der Setzungsdifferenzen:

- a) bei zu erwartenden geringen Setzungsdifferenzen zwischen den Pfählen oder Pfahlgruppen;
- b) bei zu erwartenden erheblichen Setzungsdifferenzen.

Bei Pfahlgruppen ist der durch die Gruppenwirkung bzw. die Ausdehnung der Pfahlgruppe bedingte zusätzliche Setzungsanteil zu berücksichtigen, wobei bei Spitzendruckpfählen das Modell der tiefliegenden Flachgründung angewendet werden darf.

Zur detaillierteren Untersuchung der Pfahlkopfplatte bzw. des aufgehenden Tragwerks empfiehlt es sich, das standortabhängige Tragverhalten der Gründungspfähle durch Ersatzfedersteifigkeiten (Federkonstanten) abzubilden, die aus der jeweils maßgebenden Widerstands-Setzungs-Linie als Sekante für den maßgebenden Belastungsbereich abzuleiten sind (Bild 12a). Dabei ist die Gruppenwirkung, also die gegenseitige Beeinflussung benachbarter Pfähle zu berücksichtigen. DIN 1054:2005-01 erlaubt hier die Berücksichtigung durch die Angabe von Setzungsdifferenzen, deutlich zuverlässiger ist aber die projektbezogene, rechnerische Ermittlung der standortabhängigen Widerstands-Setzungs-Linien der Pfähle einer Pfahlgruppe durch einen Sachverständigen für Geotechnik und die Ableitung der Ersatzfedersteifigkeiten aus diesen Widerstands-Setzungs-Linien.

5.7 Bemessungsbeispiele

5.7.1 Beispiel 1:

Ermittlung von Pfahlwiderständen aus statischen Probelastungen

Das gewählte Beispiel für die Ermittlung von Pfahlwiderständen aus statischen Probelastungen orientiert sich an einem Praxisbeispiel: der statischen axialen Pfahlprobelastung für das Sony-Center in Berlin, die in Katzenbach & Moormann (1997) dokumentiert ist. In Bild 13 ist der Probepfahl, ein Großbohrpfahl mit einem Durchmesser $D = 0,88 \text{ m}$ und einer Länge von $l = 23 \text{ m}$ (11,6 m lange Hülse im oberen Bereich), und die im Bereich der Pfahltragstrecke durch mitteldicht bis dicht gelagerte Sande geprägte Baugrundsituation dargestellt. Als Ergebnis der Probelastung ist in Bild 14a die gemessene Widerstands-Setzungs-Linie ausgewertet. Bei einer nach Gleichung 5 festgelegten Grenzsetzung $s_1 = 0,1 \cdot D_s$ beträgt der gemessene Pfahlwiderstand $R_{1m} = 8,5 \text{ MN}$.

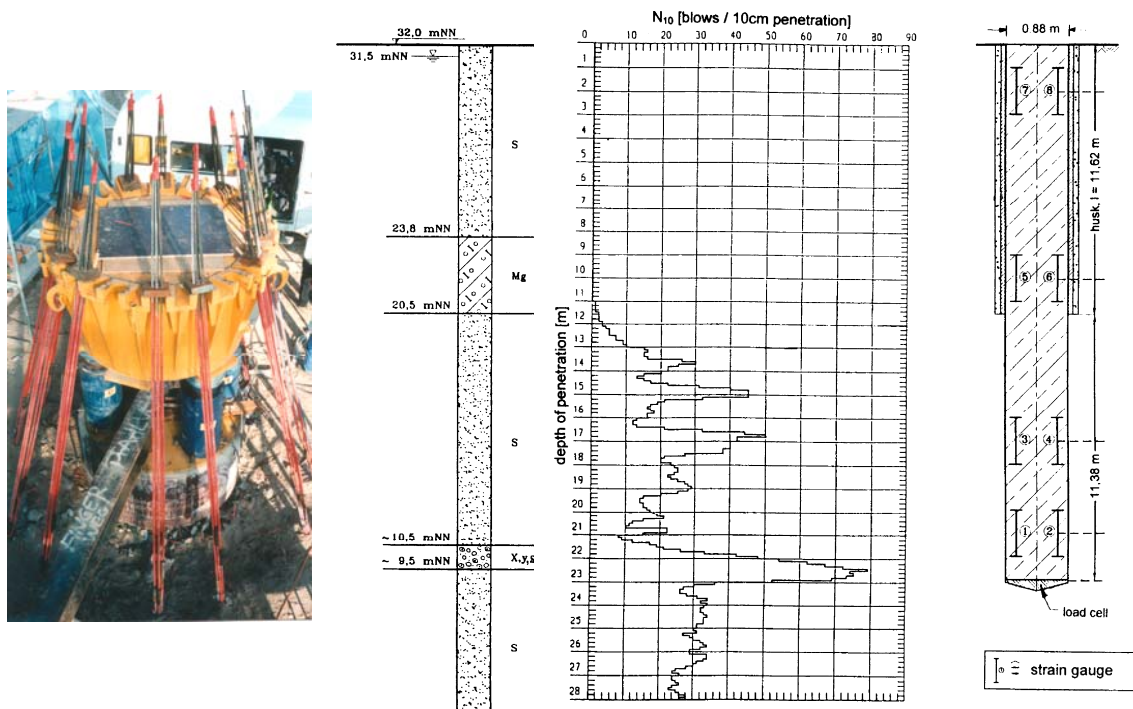


Bild 13 Probelastung für das Sony-Center · Berlin: Baugrundsituation und Probepfahl (Katzenbach & Moormann 1997)

Ableitung der charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie

Bei nur einer ausgeführten Probelastung ergibt sich die charakteristische Widerstands-Setzungs-Linie (WSL) $R_k(s)$ aus der gemessenen WSL, indem die Widerstände durch einen mit $\xi = 1,15$ konstanten Streuungsfaktor (Tabelle 13) dividiert werden (Bild 14b, Tab. 15). Um die Ableitung einer charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linie aus mehreren Probelastungen zu verdeutlichen, wird im Folgenden angenommen, dass im Baufeld

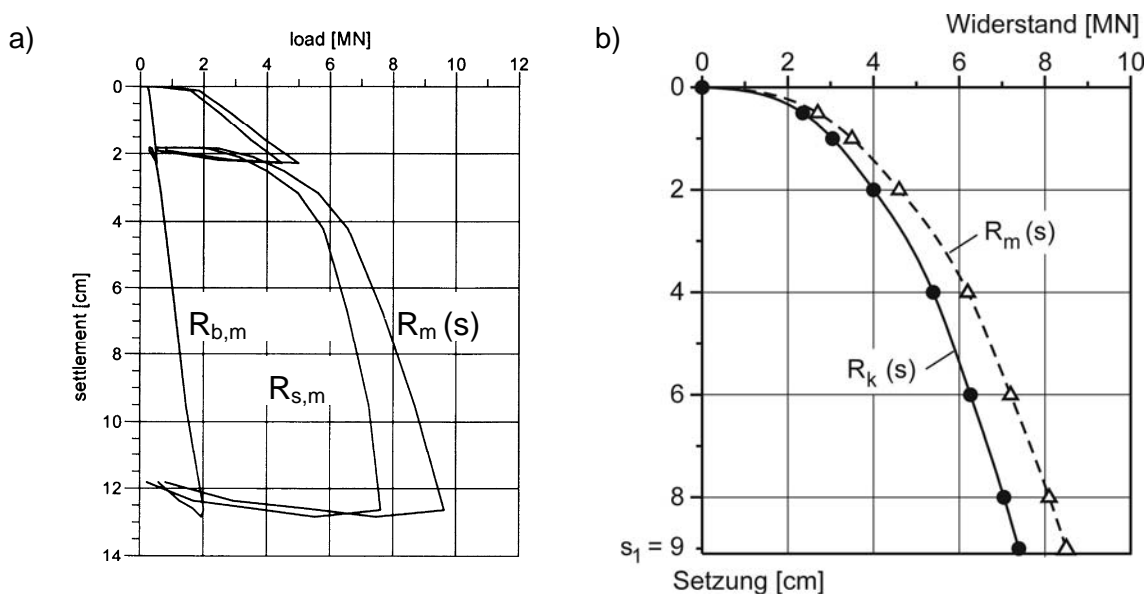


Bild 14 Probelastung für das Sony-Center · Berlin: a. gemessene Widerstands-Setzungs-Linie $R_m(s)$ (Katzenbach & Moormann 1997).
 b. abgeleitete charakteristische WSL bei einer Probelastung $R_k(s)$

ein zweiter Pfahl mit gleichen Abmessungen probelastet worden sei. Bei diesem zweiten Pfahl seien etwas höhere Tragfähigkeiten ($R_{m,2} = R_{m,max}$) nachgewiesen worden als bei dem ersten Pfahl ($R_{m,1} = R_{m,min}$) (Bild 15, Tabelle 15).

In diesem Fall ist die Ableitung der charakteristischen WSL von der Steifigkeit der Pfahlkopfplatte der späteren Gründung abhängig. Ist die Pfahlkopfplatte weich, so dass

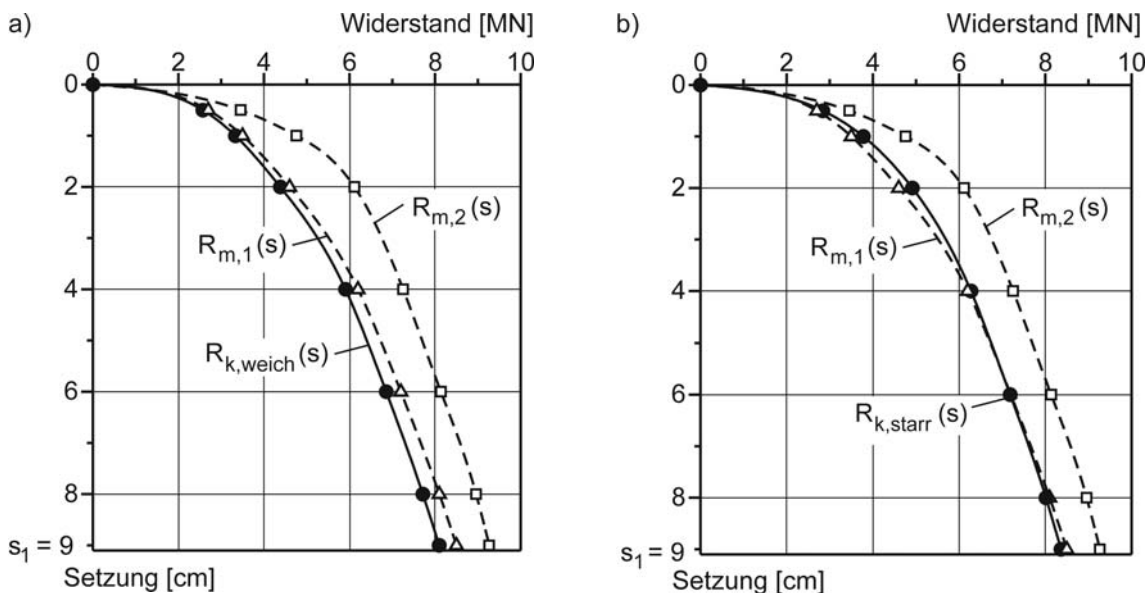


Bild 15 Beispiel zur Ableitung der charakteristische WSL bei zwei Probelastungen $R_k(s)$. a. bei System ohne Lastverteilung („weiche“ Kopfplatte). b. bei System mit Lastverteilung („starre“ Kopfplatte)

die Bauwerkslasten nicht annähernd gleichmäßig auf mehrere Pfähle verteilt werden können, so sind die charakteristischen Werte der WSL auf den Kleinstwert der Probebelastungen $R_{m,min}$ zu beziehen. Obwohl hier der schon in Bild 14 betrachtete Pfahl 1 maßgebend wird, ergeben sich in diesem Fall dennoch höhere Pfahlwiderstände, da der Streuungsfaktor nach Tabelle 7 nun $\xi = 1,05$ beträgt (statt $\xi = 1,15$ bei nur einer Probebelastung). Bild 15a zeigt die damit abgeleitete charakteristische WSL. Ist die Pfahlkopfplatte hingegen vergleichsweise starr, so dass eine Lastverteilung auf mehrere Pfähle gewährleistet ist, so kann der charakteristische Pfahlwiderstand aus dem Mittelwert \bar{R}_m der Probebelastungen abgeleitet werden, wobei der Streuungsfaktor ξ durch Interpolation berechnet wird (Tabelle 15). Ist wie hier im Beispiel der Variationskoeffizient über den gesamten Verlauf der WSL $s_N/\bar{R}_{1m} \leq 0,25$, so ergibt sich per se ein stetiger Verlauf der WSK ohne Sprünge (Bild 15b).

		1 Probebelastung		2 Probebelastungen						
		ξ	R_k aus $R_{m,1}$	$R_{m,2} = R_{m,max}$	„starre“ Pfahlkopfplatte				„weiche“ Platte	
Setzung s [cm]	$R_{m,1} = R_{m,min}$ [MN]				\bar{R}_{1m} [MN]	s_N/\bar{R}_{1m} [-]	ξ_{starr} [-]	$R_{1,k,starr} = \bar{R}_{1m} / \xi_{starr}$ [MN]	ξ_{weich} [-]	$R_{1,k,weich} = R_{1m,min} / \xi_{weich}$ [MN]
0	0	1,15	0	0	0	0	1,050	0	1,05	0
1	2,71	1,15	2,36	3,46	3,08	0,174	1,085	2,84	1,05	2,58
2	3,49	1,15	3,03	4,76	4,13	0,216	1,093	3,78	1,05	3,32
3	4,60	1,15	4,00	6,12	5,36	0,200	1,090	4,92	1,05	4,37
4	6,20	1,15	5,39	7,25	6,73	0,111	1,072	6,27	1,05	5,90
6	7,20	1,15	6,26	8,14	7,67	0,086	1,067	7,18	1,05	6,86
8	8,09	1,15	7,03	8,96	8,53	0,071	1,064	8,01	1,05	7,70
8,8	8,51	1,15	7,40	9,27	8,88	0,061	1,062	8,36	1,05	8,10

Tab. 15 Ableitung der charakteristischen WSL für einen Bohrpfahl aus den Ergebnissen statischer axialer Pfahlprobebelastungen – Beispiel Pfahlprobebelastung Sony-Center · Berlin

Einwirkungen

Als Ergebnis einer statischen Berechnung der Pfahlgründung sind pro Pfahl eine ständige vertikale Last von $F_{G,k} = 3,0$ MN und eine veränderliche vertikale Last von $F_{Q,k} = 1,0$ MN abzutragen.

Nachweis der Tragfähigkeit (GZ 1B)

Der Nachweis der Tragfähigkeit erfolgt nach Abschnitt 5.5, wobei für die Beanspruchungen die Teilsicherheitsbeiwerte nach Tabelle 6 und für die Pfahlwiderstände die Teilsicherheitsbeiwerte γ_{Pc} nach Tabelle 14 anzusetzen sind:

$$E_{1,d} = F_{1,d} = F_{k,G} \cdot \gamma_G + F_{k,Q} \cdot \gamma_Q = 3,0 \text{ MN} \cdot 1,35 + 1,0 \text{ MN} \cdot 1,50 = 5,55 \text{ MN}$$

- bei Vorliegen der Ergebnisse von nur einer statischen Pfahlprobebelastung ($R_{m,1}$):

$$R_{1,d} = R_{1,k} / \gamma_{Pc} = 7,40 \text{ MN} / 1,20 = 6,17 \text{ MN}$$

$$E_{1,d} = 5,55 \text{ MN} < R_{1,d} = 6,17 \text{ MN}$$

- bei zwei Probebelastungen ($R_{m,1}$ und $R_{m,2}$) und weicher Pfahlkopfplatte (unabhängig voneinander wirkende Einzelpfähle):

$$R_{1,d} = R_{1,k} / \gamma_{Pc} = 8,1 \text{ MN} / 1,20 = 6,75 \text{ MN}$$

$$E_{1,d} = 5,55 \text{ MN} < R_{1,d} = 6,75 \text{ MN}$$

- bei zwei Probebelastungen ($R_{m,1}$ und $R_{m,2}$) und starrer Pfahlkopfplatte (Lastverteilung auf mehrere Einzelpfähle):

$$R_{1,d} = R_{1,k} / \gamma_{Pc} = 8,36 \text{ MN} / 1,20 = 6,97 \text{ MN}$$

$$E_{1,d} = 5,55 \text{ MN} < R_{1,d} = 6,97 \text{ MN}$$

Damit ist der Nachweis der Tragfähigkeit in allen drei untersuchten Fällen erfüllt.

Nachweis der Gebrauchstauglichkeit (GZ 2)

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit erfolgt nach Abschnitt 5.6, wobei für den Nachweis mit den charakteristischen Beanspruchungen und Pfahlwiderständen zu rechnen ist. Die charakteristische Einwirkung bzw. Beanspruchung ergibt sich aus:

$$E_{2,d} = F_{2,d} = F_{2,k} = F_{k,G} \cdot \gamma_G + F_{k,Q} \cdot \gamma_Q = 3,0 \text{ MN} \cdot 1,0 + 1,0 \text{ MN} \cdot 1,0 = 4,0 \text{ MN}$$

Die Pfahlwiderstände sind für den zulässigen Setzungszustand zu ermitteln, der sich in der Regel aus den Anforderungen des aufgehenden Tragwerks, der Nutzung des Bauwerks oder dem Schutz im Umfeld liegender baulicher Einrichtungen ergibt. Hier sei als zulässige charakteristische Setzung ein gebräuchliches Maß von

$$\text{zul } s_{2,k} = 2,0 \text{ cm}$$

angenommen. In diesem Setzungszustand ergeben sich aus den charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linien, die in Bild 16 noch einmal zusammengestellt sind, bzw. aus Tabelle 9 folgende charakteristische Pfahlwiderstände $R_{2,k}$:

- bei einer statischen Pfahlprobebelastung ($R_{m,1}$):
 $R_{2,d} = R_{2,k} = 4,00 \text{ MN}$
- bei zwei Probebelastungen ($R_{m,1}$ und $R_{m,2}$) und weicher Pfahlkopfplatte:
 $R_{2,d} = R_{2,k} = 4,38 \text{ MN}$
- bei zwei Probebelastungen ($R_{m,1}$ und $R_{m,2}$) und starrer Pfahlkopfplatte:
 $R_{2,d} = R_{2,k} = 4,92 \text{ MN}$

Damit ist der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit für den Grenzzustand GZ 2

$$E_{2,d} = E_{2,k} \leq R_{2,d} = R_{2,k}$$

für alle drei betrachteten Fälle erfüllt. Deren Vergleich zeigt aber den positiven, durch die Regelungen der DIN 1054 gestützten Effekt, der sich hier aus der zusätzlichen, zweiten Probebelastung ergibt: im gewählten Beispiel erhöht sich der Pfahlwiderstand $R_{2,k}$ bei einer starren Kopfplatte durch die zweite Probebelastung um rund 25 % gegenüber dem mit einer Probebelastung bestimmten Pfahlwiderstand.

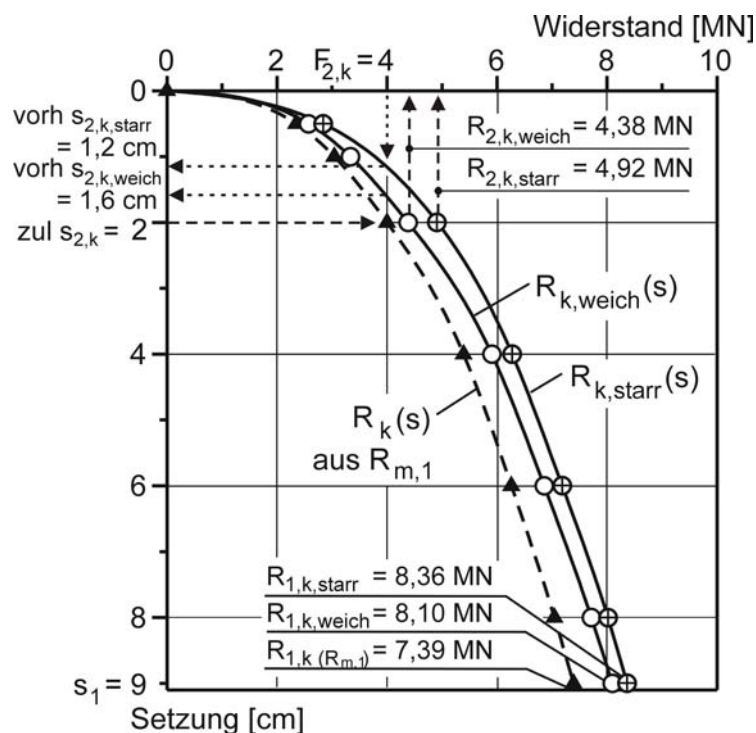


Bild 16 Beispiel 1: Zusammenstellung der charakteristischen Widerstands-Setzungs-Linien zum Nachweis der Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis für den Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit kann anschaulich auch über die charakteristischen Pfahlkopfsetzungen geführt werden. In diesem Fall wird die sich unter der charakteristischen Einwirkung bzw. Beanspruchung $E_{2,k} = 4,0 \text{ MN}$ ergebende Pfahlkopfsetzung $s_{2,k}$ der zulässigen Setzung $s_{2,k}$ gegenübergestellt. Im vorliegenden Beispiel ergibt sich nach Bild 16 für den Nachweis des GZ 2:

- bei einer statischen Pfahlprobebelastung ($R_{m,1}$):
 $s_{2,k,(R_{m,1})} = 2,0 \text{ cm} \leq s_{2,k} = 2,0 \text{ cm}$
- bei zwei Probebelastungen ($R_{m,1}$ und $R_{m,2}$) und weicher Pfahlkopfplatte:
 $s_{2,k,\text{weich}} = 1,6 \text{ cm} \leq s_{2,k} = 2,0 \text{ cm}$
- bei zwei Probebelastungen ($R_{m,1}$ und $R_{m,2}$) und starrer Pfahlkopfplatte:
 $s_{2,k,\text{starr}} = 2,0 \text{ cm} \leq s_{2,k} = 2,0 \text{ cm}$.

5.7.2 Beispiel 2:

Ermittlung von Pfahlwiderständen aus dynamischen Probebelastungen

In einer Talniederung soll eine Großmarkthalle errichtet werden, wobei der Baugrund im Wesentlichen aus drei Schichten besteht: Auelehm und Flusskiese über gering verwitterten Schlufftonsteinen. Die Einzel- und Streifenfundamente des Großmarktes werden auf rund 550 Fertigteilrammpfählen aus Spannbeton gegründet, die in den Schlufftonsteinen abgesetzt werden. Die Rammpfähle besitzen bei einer durchschnittlichen Länge von 6,5 m eine Kantenlänge von $a_s = 0,25 \text{ m}$. Zur Überprüfung der Berechnungsannahmen werden im Rahmen der Rammarbeiten an insgesamt sechs geometrisch vergleichbaren Pfählen dynamische Probebelastungen durchgeführt und nach dem CASE-Verfahren ausgewertet. Die Auswertung ergibt folgende Messwerte für die Pfahlwiderstände im Grenzzustand 1 B:

$$\begin{aligned} R_{m,1} &= 1,250 \text{ MN} \\ R_{m,2} &= 1,750 \text{ MN} \\ R_{m,3} &= 1,850 \text{ MN} \\ R_{m,4} &= 2,000 \text{ MN} \\ R_{m,5} &= 2,100 \text{ MN} \\ R_{m,6} &= 2,150 \text{ MN} \end{aligned}$$



Bild 17
 Dynamische Probelastungen
 an Spannbeton-Fertigteilrammpfählen
 einer Pfahlgruppe

Die Ableitung des charakteristischen Pfahlwiderstandes $R_{1,k}$ im Grenzzustand GZ 1B erfolgt in Tabelle 16 nach Abschnitt 5.4.3. Im vorliegenden Fall kann von weitgehend starren Kopfplatten und einer Lastverteilung auf mehrere, hier: mindestens 4 Pfähle pro Pfahlgründung (Bild 17) ausgegangen werden; außerdem ist der Variationskoeffizient $s_N/\bar{R}_{1m} \leq 0,25$, so dass der Pfahlwiderstand aus dem Mittelwert der Probelastungen \bar{R}_m abgeleitet werden kann. Zum Vergleich ist in Tabelle 16 aber auch die Ermittlung des Pfahlwiderstandes beim Vorhandensein einer sehr weichen Pfahlkopfplatte („unabhängig voneinander wirkende Einzelpfähle“) aufgenommen. In diesem Fall wird der charakteristische Pfahlwiderstand $R_{1,k}$ auf den Kleinstwert $R_{1m,min}$ der Probelastungen bezogen, was hier - auf Grund eines im Hinblick auf die übrigen Probelastungsergebnisse ungünstig kleinen Wertes $R_{1m,min}$ - zu einem deutlich kleineren Pfahlwiderstand $R_{1,k}$ führt als bei starren Pfahlkopfplatten.

N	$R_{1m,min}$	\bar{R}_{1m}	starre Kopfplatte				weiche Kopfplatte		
			s_N/\bar{R}_{1m}	ξ_{starr}	$\Delta\xi$	$R_{1,k,starr} = \frac{\bar{R}_{1m}}{\xi_{starr} + \Delta\xi}$	ξ_{weich}	$\Delta\xi$	$R_{1,k,weich} = \frac{R_{1m,min}}{\xi_{weich} + \Delta\xi}$
[-]	[MN]	[MN]	[-]	[-]	[-]	[MN]	[-]	[-]	[MN]
6	1,250	1,850	0,178	1,036	0,15	1,560	1,0	0,15	1,087

Tab. 16 Ermittlung des charakteristischen Pfahlwiderstandes $R_{1,k}$ für axial beanspruchte Fertigteilrammpfähle aus fünf dynamischen Pfahlprobelastung

Die angesetzte Erhöhung $\Delta\xi = 0,15$ gilt für den Fall, dass die dynamischen Probelastungen an einer für eine andere Baumaßnahme, aber unter vergleichbaren Baugrundverhältnissen durchgeführten statischen Probelastung kalibriert werden kann (Tabelle 8). Liegen solche Erfahrungswerte nicht vor, sind die dynamischen Probelastungen mit einem erweiterten Verfahren, i.w. dem CAPWAP-Verfahren auszuwerten.

Der Nachweis des Grenzzustandes der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit erfolgt analog zum Bemessungsbeispiel 1.

5.7.3 Beispiel 3: Ermittlung von Pfahlwiderständen aus Erfahrungswerten

Als Bemessungsbeispiel für die Ermittlung von Pfahlwiderständen aus Erfahrungswerten wird auf das Bemessungsbeispiel im Anhang B der DIN 4014:1990-03 zurückgegriffen. Das Vorgehen zur Ermittlung der theoretischen WSL entspricht, wie in Abschnitt 5.4.3 beschrieben, der bekannten Methodik der DIN 4014.

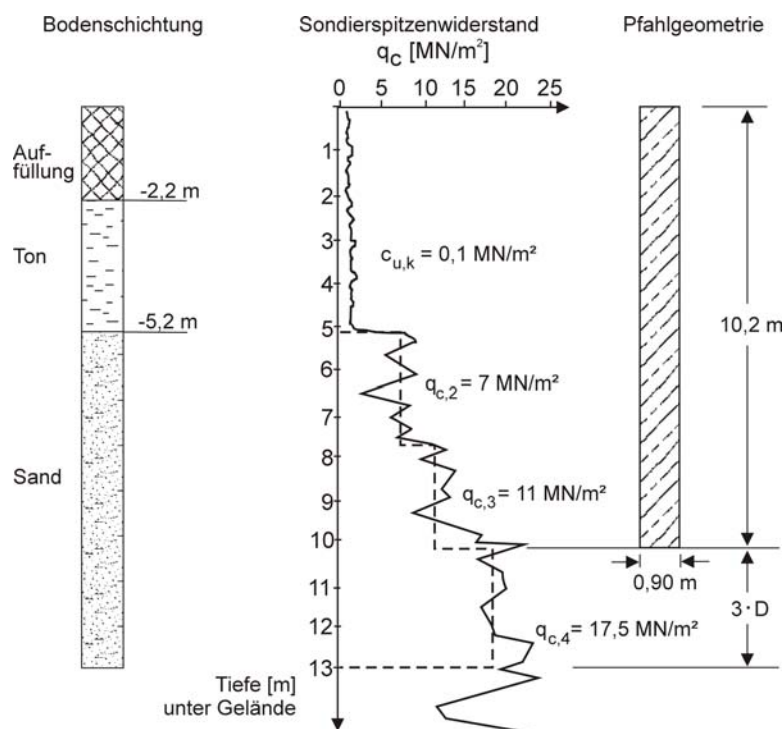


Bild 18 Beispiel 3 · Ermittlung der WSL für einen Bohrpfahl aus Erfahrungswerten: Bodenprofil, Erkundungsergebnisse und Pfahlgeometrie (nach Anhang B der DIN 4014:1990-03)

Ermittelt wird die charakteristische Widerstands-Setzungs-Linie $R_k(s)$ für einen Bohrpfahl, $D = 0,9$ m mit einer Länge von $l = 10,2$ m. Die Baugrundsituation und die Erkun-

derungsergebnisse sind in Übereinstimmung mit den Angaben im Anhang B der DIN 4014 in Bild 18 dargestellt.

Bestimmung des charakteristischen Pfahlmantelwiderstandes $R_{s,k}(s)$

Die Auffüllung bis 2,2 m unter Gelände liefert keinen nennenswerten Sondierwiderstand. Für die Beurteilung der Festigkeit der Tonschicht ist die Kohäsion im undrännierten Zustand $c_{u,k}$ maßgebend. Mit $c_{u,k} = 0,1 \text{ MN/m}^2$ ergibt sich der Bruchwert der Pfahlmantelreibung zu $q_{s,k} = 0,04 \text{ MN/m}^2$ (Tabelle 12). Zur Ermittlung der Mantelreibung im Bereich der Sandschicht wird der Sondierwiderstandsverlauf der Drucksondierung in Abschnitte mit bereichsweise konstantem „vorsichtigem Mittelwert“ unterteilt und hiermit die Bruchwerte der Pfahlmantelreibung $q_{s,k}$ bestimmt (Tabelle 11). Mit diesen Werten wird in Tabelle 17 der Bruchwert für den Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k}$ bestimmt.

Die für die Mobilisierung des Pfahlmantelwiderstandes $R_{s,k}(s_{sg})$ im Bruchzustand erforderliche Grenzsetzung s_{sg} wird nach Gleichung (7) ermittelt zu:

$$s_{sg} = 0,5 \cdot R_{s,k}(s_{sg}) \text{ [MN]} + 0,5 \text{ cm} \leq 3,0 \text{ cm}$$

$$= 0,5 \cdot 1,357 + 0,5 \text{ cm} = 1,2 \text{ cm}$$

Schicht i [m]	Bodenart	Pfahlmfangsfläche $A_{s,i}$ [m ²]	Festigkeit $c_{u,k,i}$ bzw. $q_{c,i}$ [MN/m ²]	Bruchwert $q_{s,k,i}$ der Pfahlmantelreibung [MN/m ²]	Bruchwert der Pfahlmantelwiderstände $R_{s,k,i}$ [MN]
2,2 bis 5,2	Ton	8,48	0,1	0,040	0,339
5,2 bis 7,7	Sand	7,07	7	0,056	0,396
7,7 bis 10,2	Sand	7,07	11	0,088	0,622
$R_{s,k} = 1,357 \text{ MN}$					

Tab. 17 Beispiel 3: Bruchwert für den Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k}$

Bestimmung des charakteristischen Pfahlfußwiderstandes $R_{b,k}(s)$

Zur Ermittlung von $R_{b,k}$ wird in einem Bereich von $3 \cdot D$ (hier: $3 \cdot D = 2,7 \text{ m}$) unterhalb der Pfahlfußebene eine mittlere Bodenfestigkeit bzw. ein mittlerer Sondierwiderstand angesetzt. Aus dem Sondierdiagramm in Bild 18 erhält man für diesen Bereich einen mittleren Sondierspitzenwiderstand von $q_{c,m} = 17,5 \text{ MN/m}^2$.

Unter Verwendung der in Tabelle 9 angegebenen Zahlenwerte erhält man für diesen Sondierspitzenwiderstand die in Tabelle 18 zusammengestellten Werte für den verschiebungsabhängigen Pfahlfußwiderstand $R_{b,k}(s)$.

bezogene Setzung s/D_b [-]	Pfahlspitzenwiderstand $q_{b,k}$ [MN/m ²]	Pfahlfußwiderstand $R_{b,k}(s)$ [MN/m ²]
0,02	1,225	0,779
0,03	1,575	1,002
0,10	3,250	2,068

Tab. 18 Beispiel 3: verschiebungsabhängige Mobilisierung des Pfahlfußwiderstandes $R_{b,k}(s)$

Da die im Anhang B der DIN 1054:2005-01 in den Tabellen B.1 bis B.4 angegebenen Pfahltragfähigkeiten bereits charakteristische Werte sind, ist eine Anpassung mittels Streuungsfaktoren ξ wie bei den Messergebnissen von Probelastungen nicht erforderlich. Das Vorgehen nach DIN 1054:2005-01 führt daher zu einer charakteristischen WSL, die der WSL des Berechnungsbeispiels in DIN 4014 · Anhang B entspricht.

In Tabelle 19 ist der aus Pfahlfuß- und Pfahlmantelwiderstand errechnete charakteristische Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlkopfsetzung angegeben. Aus der in Bild 19 dargestellten, theoretischen Widerstands-Setzungs-Linie kann zu jedem Pfahlwiderstand R_k die zugehörige, rechnerische Setzung des Pfahlkopfes abgelesen werden.

bezogene Setzung s/D [-]	Pfahlkopfsetzung s_k [cm]	Pfahlmantelwiderstand $R_{s,k}(s)$ [MN]	Pfahlfußwiderstand $R_{b,k}(s)$ [MN]	Pfahlwiderstand $R_k(s)$ [MN]
	$s_{sg} = 1,2$	1,357	0,519	1,876
0,02	1,8	1,357	0,779	2,136
0,03	2,7	1,357	1,002	2,359
0,10	9,0	1,357	2,068	3,425

Tab. 19 Beispiel 3: aus Erfahrungswerten ermittelter Pfahlwiderstand in Abhängigkeit von der Pfahlkopfsetzung

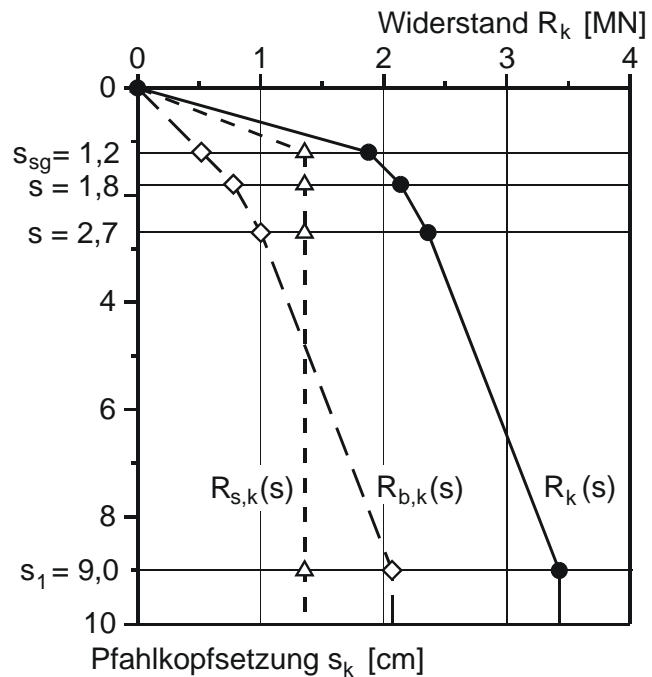


Bild 19
 Beispiel 3: aus Erfahrungswerten ermittelte Widerstands-Setzungs-Linie für einen Bohrpfahl

5.7.4 Beispiel 4: KPP / Brückenpfeiler

Im Anhang B der KPP-Richtlinie (Hanisch et al. 2002) wird der Entwurf und die Bemessung der Kombinierten Pfahl-Plattengründung für einen Brückenpfeiler vorgestellt. Der Brückenpfeiler mit einer Einwirkung von 30 MN wird auf einer 9,0 m mal 12,0 m großen Fundamentplatte und 6 Bohrpfählen gegründet (Bild 20). Das Bemessungsbeispiel wird im Anhang B, Abschnitt 2 der Richtlinie detailliert vorgestellt. Durch das neue Bemessungskonzept der DIN 1054:2005-01 ergeben sich im Hinblick auf die rechnerische Erfassung und bodenmechanische Untersuchung des Tragverhaltens der KPP keine Veränderungen. Durch ein geeignetes Rechenmodell ist das Tragverhalten von Fundamentplatte und Gründungspfählen unter Berücksichtigung der gegenseitigen Wechselwirkungen abzubilden, wobei den Untersuchungen zunächst die charakteristischen Bodenkennwerte zugrunde gelegt werden mit dem Ziel, eine charakteristische Widerstands-Setzungs-Linie für das Gesamtsystem und die einzelnen Elemente der Gründung zu ermitteln. Der Nachweis der äußeren Tragfähigkeit des Gesamtsystems erfolgt dann nach dem Partialsicherheitskonzept in der Form:

$$\sum_{i=1}^n \gamma_{S,i} \cdot S_{k,i} \leq \frac{\sum_{j=1}^m R_{pile,k,j} + R_{raft,k}}{\gamma_R} \quad (17)$$

wobei sich im Anhang A, Kapitel 3.5 auf der Grundlage von probabilistischen Untersuchungen abgeleitete Angaben zu den Teilsicherheitsbeiwerten finden. Dem Nachweis des Grenzzustandes der äußeren Gebrauchstauglichkeit können dann wieder die charakteristischen Einwirkungen und Widerstände zu Grunde gelegt werden:

$$E\left(\sum_{i=1}^n S_{k,i}\right) \leq C\left(\sum_{j=1}^m R_{pile,k,j} + R_{raft,k}\right) \quad (18)$$

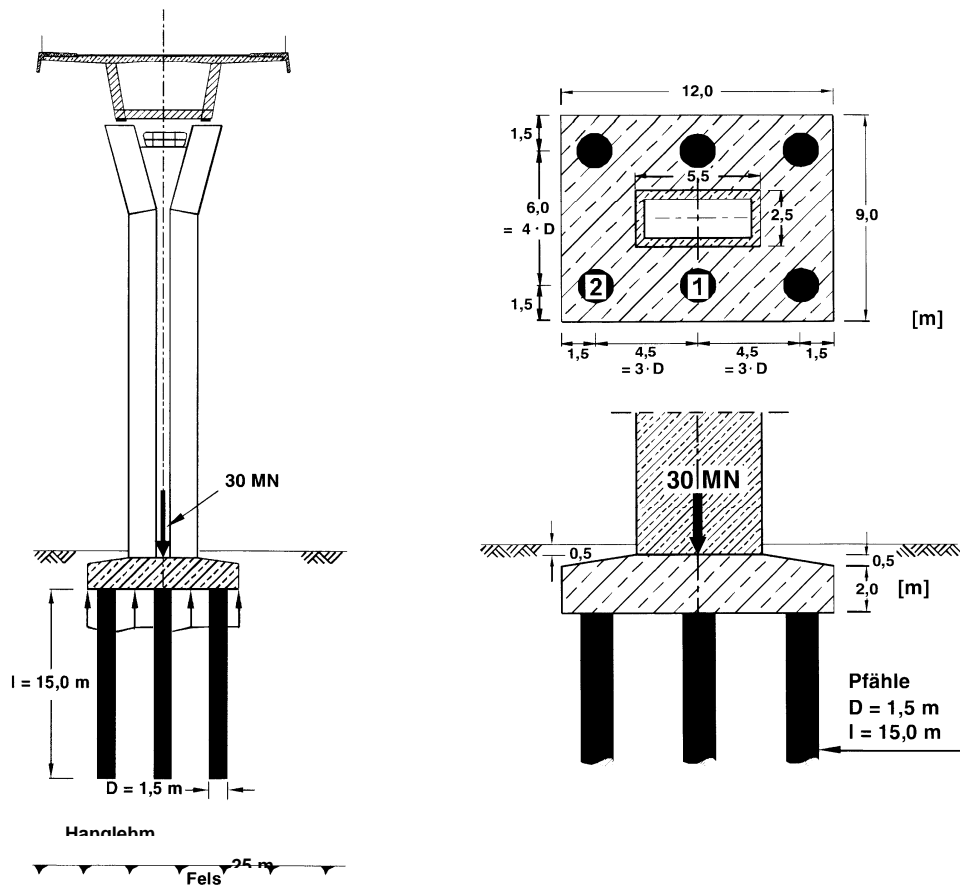


Bild 20 Beispiel 4 · Gründung eines Brückenpfeilers auf einer Kombinierten Pfahl-Plattengründung: Gründungsgeometrie (Berechnungsbeispiel 1 im Anhang B der KPP-Richtlinie)

Literatur

- DGGT · Deutsche Gesellschaft für Geotechnik, Arbeitskreis 2.1 (1998)
Empfehlungen für statische und dynamische Pfahlprüfungen. Zu beziehen über: Institut für Grundbau und Bodenmechanik, TU Braunschweig
- Fedders, H. (1978)
Seitendruck auf Pfähle durch Bewegungen von weichen, bindigen Böden – Empfehlung für Entwurf und Bemessung. Geotechnik 1, 68-118
- FGSV · Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (1994)
Merkblatt über den Einfluß der Hinterfüllung auf Bauwerke. Ausgabe 1994, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen · Arbeitsgruppe Erd- und Grundbau · Arbeitsausschuß: Einfluß der Hinterfüllung auf Bauwerke, Köln
- Hanisch, J., Katzenbach, R., König, G. (2002)
Kombinierte Pfahl-Plattengründungen. Ernst & Sohn, Berlin
- Katzenbach, R., Moormann, Chr. (1997)
Design of axially loaded piles and pile groups – German practice. Design of axially loaded piles · European practice, International Seminar, ISSMFE · ERTC3, Brüssel, 17.-18. April 1997, Balkema, Rotterdam, 177-201
- Katzenbach, R., Moormann, Chr. (1999)
Schlussbericht Forschungsvorhaben „Entwicklung eines Nachweis- und Sicherheitskonzeptes für Kombinierte Pfahl-Plattengründungen“. Dt. Inst. für Bautechnik · Berlin, GZ IV 1-5-803/96, Bericht vom 20.03.1999
- Katzenbach, R., Bachmann, G., Gutberlet, Ch. (2004)
Einführung in das Teilsicherheitskonzept der neuen DIN 1054. Ingenieurkammer des Landes Hessen, Darmstädter Fortbildungsseminar „Neue DIN 1054“, 26.11.2004, I.1-11
- Kempfert, H.-G. (2001)
Pfahlgründungen. Kapitel 3.2 · Abschnitt 1-7 in: Grundbautaschenbuch, Teil 3, 6. Aufl., Ernst & Sohn, Berlin, 87-206
- Kempfert, H.-G. (2003)
Sicherheitsnachweise für Pfahlgründungen. Geotechnik-Seminar „DIN 1054-neu“ in München, 17.10.2003, Technische Universität München, Zentrum Geotechnik, 23 Seiten
- Kempfert, H.-G. (2004)
Kommentar zur DIN 1054; Abschnitt 8 „Pfahlgründungen“ und Abschnitt 9 „Verankerungen mit Verpressankern“ (in Vorbereitung)

Schmiedel, U. (1984)

Seitendruck auf Pfähle. Bauingenieur 59, 61-66

Linder, W.-R., Siebke, H. (2004)

Bohrpfähle – Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten - Kommentar zu DIN EN 1536. Hrsg.: DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag

Moormann, Ch. (2004)

Nachweise von Tiefgründungen nach der neuen DIN 1054. Ingenieurkammer des Landes Hessen, Darmstädter Fortbildungsseminar „Neue DIN 1054“, 26.11.2004, III.0-30

Schenck, W.. (1966)

Pfahlgründungen. In: Grundbautaschenbuch, 2. Aufl., Ernst & Sohn, Berlin

Schuppener, B., Eitner, V. (2005)

Eurocodes und DIN-Normen – Wie geht es weiter? 12. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium, Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 71, 13-20

Vogt, N. (2008)

Stand der geotechnischen Normung und geplante Entwicklungen. Vortrag bei der Ingenieurakademie West e.V. – Fortbildungswerk der Ingenieurkammer Bau NRW am 30.11.2007 in Dortmund, 14 S.

Weißbach, A. (2005)

Neue technische Regelwerke in der Geotechnik. 12. Darmstädter Geotechnik-Kolloquium, Mitteilungen des Institutes und der Versuchsanstalt für Geotechnik der Technischen Universität Darmstadt, Heft 71, 3-11

Winter, H. (1980)

Bemessung von Pfahlgründungen und Hangverdübelungen auf Fließdruck. 16. Baugrundtagung 1980 in Mainz, DGEG, Essen, 539-560