

2. Auflage



Baugruben Berechnungsverfahren



Anton Weißenbach
Achim Hettler

**Baugruben
Berechnungsverfahren
Anton Weißenbach
Achim Hettler**

2. Auflage

Baugruben

Berechnungsverfahren

Anton Weißenbach
Achim Hettler

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Dr.-Ing. E. h. Anton Weißenbach
Am Gehölz 14
22844 Norderstedt

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Achim Hettler
Lehrstuhl Baugrund – Grundbau
Fakultät Bauwesen
Technische Universität Dortmund
August-Schmidt-Straße 8
44227 Dortmund

Titelbild: Baugrube des Projekts Spreedreieck in Berlin, ausgeführt von Züblin Spezialtiefbau GmbH (2007). Quelle: Züblin Spezialtiefbau GmbH

Alle Bücher des Verlages Ernst & Sohn werden sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autoren, Herausgeber und Verlag in keinem Fall, einschließlich des vorliegenden Werkes, für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler irgendeine Haftung.

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

ISBN: 978-3-433-01253-6

2. vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

© 2011 Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstr. 21, 10245 Berlin, Germany

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

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

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

Registered names, trademarks, etc. used in this book, even when not specifically marked as such, are not to be considered unprotected by law.

Umschlaggestaltung: Sonja Frank, Berlin
Satz: Druckhaus „Thomas Müntzer“ GmbH, Bad Langensalza
Druck und Bindung: Scheel Print-Medien GmbH, Waiblingen

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

Vorwort

1975 erschienen die Bücher „Baugruben Teil I, Konstruktion und Bauausführung“ sowie „Baugruben Teil II, Berechnungsgrundlagen“. Zusammen mit dem 1977 veröffentlichten Teil III „Berechnungsverfahren“ bildeten sie die Reihe „Baugruben“. Im Vorwort zu dem dreibändigen Werk hieß es: „Wie ein Blick in das einschlägige Schrifttum zeigt, ist das Gebiet der Berechnung und Konstruktion von Baugrubenumschließungen, verglichen mit anderen Teilgebieten des Grundbaues, von der Wissenschaft jahrzehntelang stiefmütterlich behandelt worden.“ Und weiter „In dem vorliegenden Werk wird versucht, über die Erläuterungen dieser Grundlagen hinaus eine zusammenfassende Darstellung aller wesentlichen Fragen zu geben, die sich im Einzelfall bei der Suche nach einer einfachen, wirtschaftlichen und trotzdem ausreichend standsicheren Baugrubenkonstruktion stellen.“ Dieses Ziel wurde offensichtlich erreicht. Der Buchreihe war es vergönnt, sich als Standardwerk zu etablieren und etwa drei Jahrzehnte lang gültig zu bleiben. So konnte der Teil III im Jahre 2001 als unveränderter Reprint zum 150-jährigen Bestehen des Verlags Ernst & Sohn wieder aufgelegt werden.

Obwohl viele Grundgedanken nach wie vor gültig sind, wurde mit der endgültigen Einführung des Teilsicherheitskonzepts eine völlige Überarbeitung erforderlich. Kern des vorliegenden Buchs ist der frühere Teil III „Berechnungsverfahren“, ergänzt durch wesentliche Inhalte von Teil II zu den Themen „Erddruck“ und „Lastannahmen“. Selbstredend wird in erheblichem Umfang auf die Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ Bezug genommen, dessen Obmannschaft im Jahr 2006 vom erstgenannten auf den zweitgenannten Verfasser übergegangen ist.

Bedingt durch die hohe Spezialisierung und die komplexe Struktur der neuen Bemessungsnormen für Holz, Stahl und Stahlbeton konnte das Thema „Bemessung der Einzelteile“ zum Teil nur noch in den Grundzügen behandelt werden. Neu hinzugekommen ist jedoch ein Abschnitt über den Nachweis von Verankerungen. Neu sind auch die Kapitel „Bettungsmodulverfahren“ und „Finite-Elemente-Methode“. Durch die wachsende Bedeutung des Nachweises der Gebrauchstauglichkeit sind diese beiden Verfahren in den letzten Jahren immer wichtiger geworden. Beim Umsetzen des Teilsicherheitskonzepts zeigen sich viele Schwierigkeiten erst bei der Anwendung. Aus diesem Grund ist das Kapitel mit Berechnungsbeispielen erheblich erweitert worden.

Das Buch stützt sich auf die Vorgaben der DIN 1054 „Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau“ aus dem Jahr 2005. Eine Umstellung und Anpassung dieser Norm an den Eurocode 7-1 „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln“ ist in absehbarer Zeit vorgesehen. Auf die zu erwartenden Änderungen wird in Kapitel 1 eingegangen und es wird dargelegt, dass die Inhalte des vorliegenden Buchs, abgesehen von formalen Änderungen, z. B. bei der Bezeichnung der Lastfälle, auch nach der Einführung des Eurocode 7 gültig bleiben werden. Es bleibt aber festzuhalten, dass sich die Vorschriften, z. B. für die Verfahren des Spezialtiefbaus, und auch teilweise die Berechnungsverfahren, z. B. die Finite-Elemente-Methode, zurzeit in einem stetigen Änderungsprozess befinden und der Ingenieur verpflichtet ist, auf diese Entwicklungen zu achten.

Der im Vorwort zu den Teilen I, II und III angekündigte Teil IV „Baugrubenumschließungen in besonderen Fällen“ ist zwar mehrmals in Angriff genommen, aber nie fertiggestellt

worden, weil die Verfahren des Spezialtiefbaus und die Erkenntnisse aus zahlreichen Großbauvorhaben sich laufend weiterentwickelten. Dies fand seinen Niederschlag einerseits in den Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“, andererseits im Abschnitt „Baugrubensicherung“ der jeweils neuesten Auflage des Grundbau-Taschenbuchs. Die aktuellen Angaben auf der Grundlage des Teilsicherheitskonzepts zu Baugruben mit besonders großen Abmessungen, zu Baugruben mit besonderem Grundriss, zu Baugruben mit unregelmäßigem Querschnitt, zu bewegungsarmen Baugrubenwänden neben Bauwerken, zu Baugruben im Wasser und zu Baugruben in weichen Böden finden sich im Teil III der 7. Auflage des Grundbau-Taschenbuchs von 2009.

Bei dieser Gelegenheit bedanken wir uns bei Frau *Barbara Stüke* für ihre Mitwirkung bei der Textbearbeitung, bei Frau *Agnes Jamro* und Frau *Julia Jailojanz* für die Zeichenarbeiten sowie bei den Herren Dipl.-Ing. *Wilfried Hackenbroch* und Dipl.-Ing. *Hans-Uwe Kalle* für die Unterstützung bei den Angaben zur Bemessung der Einzelteile.

Norderstedt und Dortmund, im Mai 2010

Anton Weißenbach
Achim Hettler

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
1 Grundlagen	1
1.1 Maßgebende Vorschriften	1
1.2 Konstruktive Vorgaben	3
1.3 Neues Sicherheitskonzept	5
1.4 Einwirkungen	13
1.5 Bodenkenngrößen	21
2 Aktiver und passiver Erddruck	25
2.1 Allgemeines	25
2.2 Wandreibungswinkel und Erddruckneigungswinkel	26
2.3 Größe des aktiven Erddrucks	29
2.4 Verteilung des aktiven Erddrucks	36
2.5 Erdwiderstand vor Spundwänden und Ortbetonwänden	44
2.6 Erdwiderstand vor Trägerbohlwänden und aufgelösten Pfahlwänden	49
3 Nachweis der Standsicherheit	55
3.1 Grenzzustände	55
3.2 Ablauf der Berechnung	58
3.3 Berechnungsverfahren	60
3.4 Ermittlung und Nachweis der Einbindetiefe	62
3.5 Ermittlung der Schnittgrößen	64
3.6 Zulässige Vereinfachungen	67
3.7 Vorberechnungen	68
3.8 Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	69
4 Unverkleidete Baugrubenwände	73
4.1 Baugrubenwände ohne rechnerischen Standsicherheitsnachweis	73
4.2 Standsicherheitsuntersuchung mit Tabellenwerten	78
4.3 Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch	87
5 Nicht gestützte, im Boden eingespannte Baugrubenwände	95
5.1 Einspannung im Untergrund	95
5.2 Lastansätze und Bodenreaktionen	102
5.3 Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen	106
5.4 Ermittlung von Bewegungen und Verformungen	109

6	Einmal gestützte Baugrubenwände	113
6.1	Lastbilder	113
6.2	Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen bei freier Auflagerung im Boden	126
6.3	Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen bei beliebiger Fußauflagerung	130
6.4	Berücksichtigung von Nutzlasten	134
6.5	Korrektur der Wandfußverschiebung mit einer Mobilisierungsfunktion	138
7	Mehrmals gestützte Baugrubenwände	147
7.1	Lastbilder für zweimal gestützte Baugrubenwände	147
7.2	Lastbilder für dreimal oder öfter gestützte Baugrubenwände	157
7.3	Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen	171
7.4	Lastbilder und Schnittgrößen in den Rückbauzuständen	176
7.5	Berücksichtigung von Nutzlasten	189
8	Bettungsmodulverfahren	193
8.1	Grundlagen	193
8.2	Bilinearer Ansatz und Ermittlung des zugehörigen Bettungsmoduls	196
8.3	Nichtlineare Bettungsansätze	202
8.4	Gestützte Wände	204
8.5	Nachweis der Einbindetiefe	208
9	Finite-Elemente-Methode	211
9.1	Einführung	211
9.2	Vorgaben aus Regelwerken	213
9.3	Einschlägige Veröffentlichungen	214
9.4	Vorschläge zur Anwendung	216
10	Gleichgewichtsbedingungen	225
10.1	Gleichgewicht der waagerechten Kräfte bei Trägerbohlwänden	225
10.2	Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstands	235
10.3	Abtragung von Vertikalkräften in den Untergrund	243
10.4	Sicherheit gegen Aufbruch der Baugrubensohle	253
10.5	Sicherheit gegen Geländebruch	260
11	Bemessung der Einzelteile	263
11.1	Ausfachung von Trägerbohlwänden	263
11.2	Bohlträger, Spundwände und Kanaldielen	269
11.3	Ortbetonwände	273
11.4	Gurte und Auswechslungen	275
11.5	Steifen	277
11.6	Verankerungen	282

12	Berechnungsbeispiele	295
12.1	Nachweis der Böschungsstandsicherheit mit Tabellenwerten	295
12.2	Nachweis der Böschungsstandsicherheit mit dem lamellenfreien Gleitkreisverfahren	297
12.3	Erddruckermittlung für eine im Boden eingespannte, nicht gestützte Spundwand	302
12.4	Erddruckermittlung für eine Baggerlast	304
12.5	Ermittlung des Erdwiderstands vor einer Trägerbohlwand	306
12.6	Nicht gestützte, im Boden eingespannte Trägerbohlwand in nichtbindigem Boden	308
12.7	Nicht gestützte, im Boden eingespannte Spundwand in bindigem Boden	319
12.8	Einmal ausgesteifte, im Boden frei aufgelagerte Schlitzwand in geschichtetem Boden	331
12.9	Korrektur der Wandfußverschiebung mit Hilfe einer Mobilisierungsfunktion	337
12.10	Nachweis der Einbindetiefe bei Anwendung des Bettungsmodulverfahrens	347
12.11	Nachweis der Einbindetiefe bei Anwendung der Finite-Elemente-Methode	354
12.12	Nachweis der Sicherheit gegen Aufbruch der Baugrubensohle	357
12.13	Nachweis der Standsicherheit einer Verankerung	362
13	Tabellen	367
13.1	Erfahrungswerte für Bodenkenngrößen	367
13.2	Beiwerte zur Ermittlung des aktiven Erddrucks	371
13.3	Beiwerte zur Ermittlung des ebenen Erdwiderstands	375
13.4	Beiwerte zur Ermittlung des räumlichen Erdwiderstands	381
13.5	Beiwerte zur Ermittlung der Böschungsstandsicherheit	385
13.6	Erddruck-Lastfiguren	387
13.7	Materialkenngrößen und Teilsicherheitsbeiwerte für Bauteile aus Holz	390
13.8	Materialkenngrößen und Teilsicherheitsbeiwerte für Bauteile aus Stahl	392
13.9	Materialkenngrößen und Teilsicherheitsbeiwerte für Bauteile aus Beton und Stahlbeton	393
14	Literaturverzeichnis	395
	Inserentenverzeichnis	407

1 Grundlagen

1.1 Maßgebende Vorschriften

Entwurf, Berechnung und Bemessung

Auf lange Sicht werden wesentliche Teile des jetzigen deutschen Normenwerks für den konstruktiven Ingenieurbau durch europäische Normen abgelöst, die im Auftrag der damaligen Kommission der Europäischen Gemeinschaften in Form von Eurocodes in Angriff genommen und unter der Trägerschaft durch das Europäische Komitee für Normung (Comité Européen de Normalisation, CEN) weiterentwickelt worden sind. Die Abstimmung unter den Normeninstituten der beteiligten europäischen Staaten erwies sich allerdings als sehr mühsam und langwierig. Zudem setzte sich die Erkenntnis durch, dass die breite Anwendung und die praktische Erprobung nur über die Neufassung entsprechender DIN-Normen bei gleichzeitiger Zurückziehung der Vorgängerausgaben erfolgversprechend möglich sind. Das Deutsche Institut für Normung (DIN) beschloss daher in Abstimmung mit den Bauaufsichtsbehörden der Bundesländer, als Übergangslösung bis zur Einführung der Eurocodes und darüber hinaus für eine Erprobungsphase eine neue nationale Normengeneration auf der Grundlage des Teilsicherheitskonzepts für alle Gebiete des konstruktiven Ingenieurbaus zu erarbeiten. Für Baugrubenkonstruktionen sind insbesondere folgende Normen maßgebend:

- DIN 1055-100: Grundlagen der Tragwerksplanung [43]
- DIN 1054: Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau [38]
- DIN 18800-1: Stahlbauten; Bemessung und Konstruktion [63]
- DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton [36]
- DIN 1052-1: Entwurf, Berechnung und Bemessung von Holzbauwerken [37]
- DIN 1072: Straßen- und Wegbrücken; Lastannahmen [44]

Die DIN 1054 [38] regelt nur grundsätzliche Fragen der Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau. Sie wird ergänzt durch die Berechnungsnormen, die auf das Teilsicherheitskonzept umgestellt worden sind. Für Baugrubenkonstruktionen sind insbesondere folgende Normen maßgebend:

- DIN 4084: Geländebruchberechnungen [50]
- DIN 4085: Berechnung des Erddrucks [51]
- DIN 4126: Nachweis der Standsicherheit von Schlitzwänden [61]

Solange noch nicht alle einschlägigen Technischen Baubestimmungen, Normen und Empfehlungen auf das Teilsicherheitskonzept umgestellt sind, gelten die Übergangsregelungen in DIN 1054 [38], Anhänge F und G.

Ausführung im Spezialtiefbau

Die DIN 1054 [38] ersetzt nur den Berechnungsteil der bisherigen Normen DIN 4014 „Bohrpfähle“ [45], DIN 4026 „Rammpfähle“ [49], DIN 4093 „Einpressen in den Untergrund“ [52], DIN 4125 „Verpressanker, Kurzzeitanker und Daueranker“ [59] und DIN 4128 „Verpresspfähle (Ortbeton- und Verbundpfähle) mit kleinem Durchmesser“ [62]. An die

Stelle des Ausführungsteils dieser Normen treten die neuen europäischen Normen der Reihe „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten“:

- DIN EN 1536: Bohrpfähle [68]
- DIN EN 1537: Verpressanker [69]
- DIN EN 1538: Schlitzwände [70]
- DIN EN 12063: Spundwandkonstruktionen [78]
- DIN EN 12699: Verdrängungspfähle [79]
- DIN EN 12715: Injektionen [80]
- DIN EN 12716: Düsenstrahlverfahren [81]
- DIN EN 12794: Vorgefertigte Gründungspfähle aus Beton [82]
- DIN EN 14199: Mikropfähle [83]

Solange diese Normen nicht verbindlich eingeführt sind, gelten im Grundsatz sinngemäß die bisherigen Normen. Ihre Anwendung kann aber vertraglich vereinbart werden.

Nicht betroffen von der Umstellung auf europäische Normen und somit weiterhin für Baugrubenkonstruktionen maßgebend sind die Ausführungsnormen:

- DIN 4095: Dränung zum Schutz baulicher Anlagen [56]
- DIN 4123: Ausschachtungen, Gründungen und Unterfangungen im Bereich bestehender Gebäude [57]
- DIN 4124: Baugruben und Gräben [58]

Erkundung, Untersuchung und Beschreibung des Baugrunds

Die bestehenden Normen für die Erkundung, Untersuchung und Beschreibung des Baugrunds sind zwar von der Umstellung auf das Teilsicherheitskonzept nicht betroffen, sie werden aber in absehbarer Zeit durch europäische EN-Normen bzw. durch internationale ISO-Normen ersetzt. Vorgesehen sind Normen zu folgenden Themen:

- Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden,
- Laborversuche an Bodenproben,
- Felduntersuchungen,
- Bohr- und Entnahmeverfahren und Grundwassermessungen,
- Prüfung von geotechnischen Bauwerken und Bauwerksteilen.

Bis auf Weiteres anwendbar in ihrer jeweils neuesten Fassung sind folgende Normen:

- DIN 4020: Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke [47]
- DIN 4023: Zeichnerische Darstellung der Ergebnisse von Bohrungen und sonstigen direkten Aufschlüssen [48]
- DIN 4094: Felduntersuchungen; Teil 1: Drucksondierung [53], Teil 2: Bohrlochrammsondierung [54]; Teil 4: Flügelscherversuche [55]
- DIN 18121 bis DIN 18137: Untersuchung von Bodenproben [63]
- DIN 18196: Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke [64]

Als Ersatz für die nationalen Normen

- DIN 4021: Aufschluss durch Schürfe und Bohrungen,
- DIN 4022: Benennen und Beschreiben von Boden und Fels und
- DIN 4094-3: Erkundung durch Sondierungen; Teil 3: Rammsondierungen

sind bereits folgende ISO-Normen zur geotechnischen Erkundung und Untersuchung erschienen:

- DIN EN ISO 14688-1: Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden; Teil 1: Benennung und Beschreibung [84]
- DIN EN ISO 22475-1: Probeentnahmeverfahren und Grundwassermessungen; Teil 1: Technische Grundlagen der Ausführung [85]
- DIN EN ISO 22476-2: Geotechnische Untersuchung und Erkundung – Felduntersuchungen; Teil 2: Rammsondierungen [86]

1.2 Konstruktive Vorgaben

Bautechnische Voraussetzungen

Baugrubenkonstruktionen gibt es in vielen Varianten. Sie können eingeteilt werden in

- verkleidete oder unverkleidete Baugruben,
- Baugrubenwände mit oder ohne Einbindung in den Untergrund,
- gestützte oder nicht gestützte Baugrubenwände,
- einmal oder mehrmals gestützte Baugrubenwände.

Die hier für verkleidete Baugrubenwände beschriebenen Berechnungsverfahren stützen sich auf die Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben „EAB“ [92]. Soweit nicht ausdrücklich andere Festlegungen getroffen werden, gelten sie unter folgenden bautechnischen Voraussetzungen:

- a) Die Baugrubenwände sind auf ganzer Höhe verkleidet.
- b) Die Bohlträger von Trägerbohlwänden sind so in den Boden eingebracht, dass ein dichter Anschluss an das Erdreich sichergestellt ist. Die Verkleidung bzw. Ausfachung kann aus Holz, Beton, Stahl, erhärteter Zement-Bentonit-Suspension oder verfestigtem Boden bestehen. Sie ist so eingebaut, dass ein möglichst gleichmäßiges Anliegen am Erdreich sichergestellt ist. Der Bodenaushub darf dem Einbohlen nicht in unzuträglichem Maße vorausseilen.
- c) Spundwände und Kanaldielen sind so in den Boden eingebracht, dass ein dichter Anschluss an das Erdreich sichergestellt ist. Eine Fußverstärkung der Bohlen ist allerdings zulässig, ebenso Spülhilfe in begrenztem Maß.
- d) Ortbetonwände sind als Schlitzwände oder als Bohrpfahlwände hergestellt. Zur Herstellung von Schlitzwänden siehe DIN 4126 [60] bzw. DIN EN 1538 [70]. Bei Bohrpfahlwänden ist entsprechend DIN EN 1536 [68] zu verfahren. Ein unbeabsichtigter oder planmäßiger Abstand zwischen den Pfählen ist im Grundsatz wie bei Trägerbohlwänden ausgefacht.
- e) Steifen bzw. Anker sind im Grundriss rechtwinklig zur Baugrubenwand angeordnet. Sie sind so verkeilt oder vorgespannt, dass eine kraftschlüssige Verbindung mit der Baugrubenwand sichergestellt ist.
- f) Ausgesteifte Baugruben sind auf beiden Seiten in gleicher Weise mit senkrechten Trägerbohlwänden, Spundwänden oder Ortbetonwänden verkleidet. Die Steifen sind waagrecht angeordnet. Das Gelände auf den beiden gegenüberliegenden Seiten einer ausgesteiften Baugrube weist etwa die gleiche Höhe, eine ähnliche Oberflächengestaltung und ähnliche Untergrundverhältnisse auf.

Treffen diese Voraussetzungen nicht zu und liegen für solche Sonderfälle keine Angaben vor, so schließt dies die Anwendung der übrigen Empfehlungen nicht aus. Es sind jedoch in diesen Fällen die sich aus den Abweichungen ergebenden Folgerungen zu untersuchen und zu berücksichtigen.

Stützung von Baugrubenwänden

Eine wesentliche Rolle, insbesondere bei der Ermittlung von Größe und Verteilung des Erddrucks, spielt die Frage, ob und gegebenenfalls wie eine Baugrubenwand gestützt ist. Im Grundsatz ist nach EB 67 [92] zu unterscheiden zwischen nicht gestützten und gestützten Baugrubenwänden:

- Als nicht gestützt werden Baugrubenwände bezeichnet, deren Standsicherheit nur auf ihrer Einspannung im Boden beruht.
- Als gestützt werden Baugrubenwände bezeichnet, wenn zur Abtragung der Kräfte Steifen oder Anker eingesetzt werden. Ob die Wand zusätzlich in den Untergrund einbindet oder nicht, spielt bei dieser Abgrenzung keine Rolle.

Bei den gestützten Wänden werden nach EB 67 [92] folgende Abstufungen unterschieden:

- a) Als nachgiebig gestützt werden Baugrubenwände bezeichnet, wenn die Auflagerpunkte der Wand bei zunehmender Last stark nachgeben können, z. B. bei stark geneigter Abstützung zur Baugrubensohle hin und bei nicht oder nur gering vorgespannten Ankern.
- b) Als wenig nachgiebig gestützt werden Baugrubenwände in folgenden Fällen bezeichnet:
 - Die Steifen werden zumindest kraftschlüssig verkeilt.
 - Verpressanker werden nach DIN 4125 [59] bzw. nach DIN EN 1537 [69], Prüfverfahren 1 geprüft und auf mindestens 80 % der für den nächsten Bauzustand errechneten charakteristischen Beanspruchung vorgespannt und festgelegt.
 - Es wird eine kraftschlüssige Verbindung mit Verdrängungspfählen (bisher „Rammpfähle“), Bohrpfählen oder Mikropfählen (bisher „Verpresspfähle“) hergestellt, die nachweislich unter Belastung nur eine geringe Kopfbewegung erleiden.
- c) Als annähernd unnachgiebig gestützt werden Baugrubenwände bezeichnet, wenn der Bemessung entsprechend EB 22 [92] ein erhöhter aktiver Erddruck zugrunde gelegt wird und die Steifen bzw. Anker entsprechend EB 22 [92], Absatz 10 vorgespannt und festgelegt werden.
- d) Als unnachgiebig gestützt werden Baugrubenwände nur dann bezeichnet, wenn sie nach EB 23 [92] für einen abgeminderten oder für den vollen Erdruchedruck bemessen und die Stützungen entsprechend vorgespannt werden. Bei verankerten Baugrubenwänden müssen die Anker darüber hinaus in einer unnachgiebigen Felsschicht verankert oder wesentlich länger sein als rechnerisch erforderlich.

In den nachfolgenden Ausführungen wird unterstellt, dass die Baugrubenwände entweder nicht gestützt bzw. nachgiebig gestützt oder wenig nachgiebig gestützt sind. Zur Behandlung von annähernd oder vollständig unnachgiebig gestützten Baugrubenwänden siehe *Weißbach/Hettler* [225] und Kapitel 9 „Baugruben neben Bauwerken“ der Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben [92].

1.3 Neues Sicherheitskonzept

Grundlagen

Bei jedem Standsicherheitsnachweis werden die größten zu erwartenden Lasten und andere gleichzeitig auftretende ungünstige Einwirkungen angesetzt und damit die Schnittgrößen und die Beanspruchungen ermittelt, z. B. in Form von „vorhandenen“ Druck-, Zug-, Schub- und Vergleichsspannungen bei Stahl. Dies gilt im Grundsatz unabhängig vom Sicherheitskonzept. Der Unterschied zwischen dem bisherigen Globalsicherheitskonzept und dem neuen Teilsicherheitskonzept liegt im Wesentlichen in der Form des Bemessungsnachweises:

- a) Beim bisherigen Globalsicherheitskonzept wurde die vorhandene Spannung σ_{vorh} mit der zulässigen Spannung σ_{zul} verglichen. Diese ergab sich aus der für den jeweiligen Baustoff festgelegten Maximalbeanspruchung, z. B. bei Stahl aus der Spannung an der Fließgrenze, dividiert durch den zugehörigen Globalsicherheitsbeiwert. Der Nachweis der Standsicherheit war erbracht, wenn die vorhandene Spannung höchstens so groß war wie die zulässige Spannung.
- b) Dem Sicherheitskonzept der Eurocodes bzw. – für eine Übergangszeit – der neuen nationalen Normengeneration liegt eine pragmatische Aufspaltung der bisher gebräuchlichen Globalsicherheitsbeiwerte für die Beanspruchbarkeit in Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen bzw. Beanspruchungen und in Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände zugrunde. Der Nachweis der Standsicherheit ist erbracht, wenn die mit einem Teilsicherheitsbeiwert vergrößerte vorhandene Spannung höchstens so groß ist wie die mit einem Teilsicherheitsbeiwert abgeminderte Maximalspannung z. B. bei Stahl die Spannung an der Fließgrenze .

Mit dem neuen Sicherheitskonzept ist die Einführung einiger neuer Begriffe verbunden. Neu sind insbesondere die Begriffe:

- charakteristische Werte,
- Einwirkungen,
- Beanspruchungen,
- Widerstände und
- Grenzzustände.

Grundlage für Standsicherheitsberechnungen nach dem neuen Sicherheitskonzept sind die charakteristischen Werte für Einwirkungen und Widerstände. Der charakteristische Wert ist ein Wert, von dem angenommen wird, dass er mit einer vorgegebenen Wahrscheinlichkeit im Bezugszeitraum unter Berücksichtigung der Nutzungsdauer des Bauwerks oder der entsprechenden Bemessungssituation nicht über- oder unterschritten wird, gekennzeichnet durch den Index „k“. In der Regel werden charakteristische Werte aufgrund von Versuchen, Messungen, Rechnungen oder Erfahrungen als Mittelwerte festgelegt. Im Einzelfall können obere, untere oder Mittelwerte maßgebend sein.

Wenn die Tragfähigkeit in einem bestimmten Querschnitt der Baugrubenwand oder in einer Berührungsfläche zwischen der Baugrubenwand und dem Baugrund nachgewiesen werden soll, dann werden die Beanspruchungen in diesen Schnitten benötigt:

- als Schnittgrößen, z. B. Normalkraft, Querkraft, Biegemoment,
- als Spannungen, z. B. Druck-, Zug-, Biege-, Schub- oder Vergleichsspannung.

Darüber hinaus können weitere Auswirkungen von Einwirkungen auftreten:

- als Schwingungsbeanspruchungen oder Erschütterungen,
- als Veränderungen am Bauteil, z. B. Dehnung, Verformung oder Rissbreite,
- als Lageveränderungen der Baugrubenwand, z. B. Verschiebung, Setzung, Verdrehung.

Beim Baugrund wird zwischen zwei Arten von Widerständen unterschieden:

- a) Als Basis Kenngröße des Widerstands ist die Scherfestigkeit des Bodens maßgebend. Bei konsolidierten bzw. im Versuch dränierten Böden sind dies die Scherparameter φ'_k und c'_k , bei nicht konsolidierten bzw. im Versuch undrinierten Böden die Scherparameter $\varphi_{u,k}$ und $c_{u,k}$. Diese Größen werden als vorsichtige Schätzwerte des Mittelwerts definiert, weil nicht die Scherfestigkeit in einem Punkt der Gleitfläche maßgebend ist, sondern die durchschnittliche Scherfestigkeit in der Gleitfläche.
- b) Aus der Scherfestigkeit leiten sich die Widerstände des Bodens ab, und zwar unmittelbar
 - der Gleitwiderstand,
 - der Grundbruchwiderstand,
 - der Erdwiderstand,
 und mittelbar über Probelastungen oder über Erfahrungswerte
 - der Fußwiderstand von Bohlträgern, Spundwänden und Ortbetonwänden,
 - der Mantelwiderstand von Bohlträgern, Spundwänden, Ortbetonwänden sowie von Verpressankern, Boden- und Felsnägeln.

Der Begriff Widerstand, z. B. Erdwiderstand, wird nur für den Bruchzustand des Bodens benutzt. Solange durch die Beanspruchung des Bodens der Bruchzustand des Bodens nicht erreicht wird, wird für den mobilisierten Teil des Erdwiderstands der Begriff Bodenreaktion verwendet.

Bei der Bemessung von Einzelteilen sind der Querschnitt und der innere Widerstand des Materials maßgebend. Dafür gelten wie bisher die einzelnen Bauartnormen.

Die charakteristischen Werte der Beanspruchungen werden mit Teilsicherheitsbeiwerten multipliziert, die charakteristischen Werte der Widerstände durch Teilsicherheitsbeiwerte dividiert. Die so erhaltenen Größen werden als Bemessungswerte der Beanspruchungen bzw. als Bemessungswerte der Widerstände bezeichnet und durch den Index „d“ gekennzeichnet. Beim Nachweis der Standsicherheit werden drei Grenzzustände unterschieden.

Grenzzustände

Ein Grenzzustand im Sinne des neuen Sicherheitskonzeptes ist ein Zustand des Tragwerks, bei dessen Überschreiten die der Tragwerksplanung zugrunde gelegten Anforderungen nicht mehr erfüllt sind. In diesem Sinne wird zwischen dem Grenzzustand der Tragfähigkeit und dem Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit unterschieden:

Der Grenzzustand der Tragfähigkeit ist ein Zustand des Tragwerks, dessen Überschreitung unmittelbar zu einem rechnerischen Einsturz oder anderen Formen des Versagens führt. Er wird in DIN 1054 [38] als Grenzzustand GZ 1 bezeichnet. Beim Grenzzustand GZ 1 werden drei Fälle unterschieden:

a) Der Grenzzustand GZ 1A beschreibt den Verlust der Lagesicherheit. Dazu gehören:

- der Nachweis der Sicherheit gegen Umkippen,
- der Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen,
- der Nachweis der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch.

Beim Grenzzustand GZ 1A gibt es nur Einwirkungen, keine Widerstände. Maßgebend ist die Grenzzustandsbedingung

$$F_d = F_k \cdot \gamma_{dst} \leq G_k \cdot \gamma_{stb} = G_d \quad (1.3-1)$$

d. h. die destabilisierende Einwirkung F_k , multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{dst} \geq 1$, darf höchstens so groß werden wie die stabilisierende Einwirkung G_k , multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_{stb} < 1$.

Bei den Nachweisen, die im Rahmen der nachfolgenden Berechnungsverfahren geführt werden, kommt der Grenzzustand GZ 1A nicht vor. Er ist maßgebend für Zustände, die bei Baugruben im Wasser auftreten können. Hierzu siehe [225].

b) Der Grenzzustand GZ 1B beschreibt das Versagen von Bauwerken und Bauteilen bzw. das Versagen des Baugrunds. Dazu gehören:

- der Nachweis der Tragfähigkeit von Bauwerken und von Bauteilen, die durch den Baugrund belastet bzw. durch den Baugrund gestützt werden,
- der Nachweis, dass die Tragfähigkeit des Baugrundes, z. B. in Form von Erdwiderstand, Grundbruchwiderstand oder Gleitwiderstand, nicht überschritten wird.

Dabei wird der Nachweis, dass die Tragfähigkeit des Baugrundes nicht überschritten wird, genauso geführt wie bei jedem anderen Baumaterial. Maßgebend ist immer die Grenzzustandsbedingung

$$E_d = E_k \cdot \gamma_F \leq \frac{R_k}{\gamma_R} = R_d \quad (1.3-2)$$

d. h. die charakteristische Schnittgröße E_k , multipliziert mit dem Teilsicherheitsbeiwert γ_F für Einwirkungen bzw. Beanspruchungen, darf höchstens so groß werden wie der charakteristische Widerstand R_k , dividiert durch den Teilsicherheitsbeiwert γ_R .

Der Grenzzustand GZ 1B ist maßgebend für die Bemessung von Baugrubenkonstruktionen und ihrer Einzelteile.

c) Der Grenzzustand GZ 1C ist eine Besonderheit des Erd- und Grundbaus. Er beschreibt den Verlust der Gesamtstandsicherheit. Dazu gehören:

- der Nachweis der Sicherheit gegen Böschungsbruch,
- der Nachweis der Sicherheit gegen Geländebruch.

Maßgebend ist immer die Grenzzustandsbedingung

$$E_d \leq R_d \quad (1.3-3)$$

d. h. der Bemessungswert E_d der Beanspruchungen darf höchstens so groß werden wie der Bemessungswert R_d des Widerstands. Hierbei werden die geotechnischen Einwirkungen und Widerstände mit den Bemessungswerten

$$\tan \varphi'_d = \frac{\tan \varphi'_k}{\gamma_\varphi} \quad \text{und} \quad c'_d = \frac{c'_k}{\gamma_c} \quad (1.3-4)$$

bzw.

$$\tan \varphi_{u,d} = \frac{\tan \varphi'_{u,k}}{\gamma_{\varphi u}} \quad \text{und} \quad c_{u,d} = \frac{c_{u,k}}{\gamma_{cu}} \quad (1.3-5)$$

der Scherfestigkeit ermittelt, d. h. die Reibung $\tan \varphi'_k$ und die Kohäsion c'_k des konsolidierten Bodens werden von vorneherein mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_φ und γ_c abgemindert, die Reibung $\tan \varphi_{u,k}$ und die Kohäsion $c_{u,k}$ des unkonsolidierten Bodens mit den Teilsicherheitsbeiwerten $\gamma_{\varphi u}$ und γ_{cu} . Formal werden alle Einwirkungen mit den Teilsicherheitsbeiwerten γ_G und γ_Q vergrößert. Da hierbei stets $\gamma_G = 1,00$ gesetzt wird, wirkt sich dies jedoch nur auf veränderliche Einwirkungen aus.

Der Grenzzustand GZ 1C ist maßgebend für den Standsicherheitsnachweis von unverkleideten Baugrubenwänden und von Baugrubenböschungen.

Der Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit ist ein Zustand des Tragwerks, bei dessen Überschreitung die für die Nutzung festgelegten Bedingungen nicht mehr erfüllt sind, ohne dass seine Tragfähigkeit verloren geht. Er wird in DIN 1054 [38] als Grenzzustand GZ 2 bezeichnet. Er liegt dem Nachweis zugrunde, dass die zu erwartenden Verschiebungen und Verformungen mit dem Zweck des Bauwerks vereinbar sind. Bei Baugruben schließt der Grenzzustand GZ 2 auch die Gebrauchstauglichkeit benachbarter Bauwerke und baulicher Anlagen mit ein.

Lastfälle

Ein wesentlicher Bestandteil des neuen Sicherheitskonzeptes sind die Regelungen für die Behandlung von gleichzeitig auftretenden veränderlichen Einwirkungen. Danach werden folgende Bemessungssituationen unterschieden:

- ständige und vorübergehende Bemessungssituation,
- außergewöhnliche Bemessungssituation,
- Erdbebensituation.

Für jede dieser Bemessungssituationen sind im Grundsatz alle Kombinationen von veränderlichen Einwirkungen zu untersuchen, wobei jeweils unterschieden wird zwischen den vorherrschenden veränderlichen Einwirkungen, die in voller Größe angesetzt werden und anderen möglichen veränderlichen Einwirkungen, die mit einem Kombinationsbeiwert ψ abgemindert werden dürfen. Nach DIN 1054 [38] sind die Schnittgrößen für Gründungen auf diese Weise zu ermitteln. Für geotechnische Bauwerke, also auch für Baugrubenkonstruktionen, dürfen dagegen in Abhängigkeit von Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen entsprechend Tabelle 1.3-1 folgende drei Lastfälle verwendet werden:

- a) Lastfall LF 1:
Regel-Kombination EK 1 in Verbindung mit dem Zustand der Sicherheitsklasse SK 1.
- b) Lastfall LF 2:
Seltene Kombination EK 2 in Verbindung mit dem Zustand der Sicherheitsklasse SK 1 oder Regel-Kombination EK 1 in Verbindung mit dem Zustand der Sicherheitsklasse SK 2.
- c) Lastfall LF 3:
Außergewöhnliche Kombination EK 3 in Verbindung mit dem Zustand der Sicherheitsklasse SK 2 oder seltene Kombination EK 2 in Verbindung mit dem Zustand der Sicherheitsklasse SK 3.

Die hier genannten Einwirkungskombinationen (EK) sind Zusammenstellungen der beteiligten, gleichzeitig möglichen Einwirkungen. Es werden unterschieden:

- a) Regel-Kombination EK 1:
Ständige sowie während der Funktionszeit des Bauwerks regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen.
- b) Seltene Kombination EK 2:
Außer den Einwirkungen der Regel-Kombination seltene oder einmalige planmäßige Einwirkungen.
- c) Außergewöhnliche Kombination EK 3:
Außer den Einwirkungen der Regel-Kombination eine gleichzeitig mögliche außergewöhnliche Einwirkung, insbesondere bei Katastrophen oder Unfällen sowie bei Erdbeben.

Die genannten Sicherheitsklassen (SK) berücksichtigen den unterschiedlichen Sicherheitsanspruch bei den Widerständen. Es werden unterschieden:

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

Baugrubenkonstruktionen zählen zur Sicherheitsklasse SK 2.

Tabelle 1.3-1 Verknüpfung von Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen

Einwirkungs- kombination	Sicherheitsklasse		
	SK 1	SK 2	SK 3
EK 1	LF 1	LF 2	./.
EK 2	LF 2	LF 2/3	LF 3
EK 3	./.	LF 3	./.

Die Lastfälle LF 1, LF 2 und LF 3 enthalten die wesentlichen Kombinationen von Einwirkungen und Widerständen. Für andere Kombinationen dürfen in begründeten Fällen Zwischenstufen eingeschaltet werden. Von dieser Erlaubnis macht die EB 79 [92] mit der Einführung des Lastfalls LF 2/3 Gebrauch. Dieser Lastfall verbindet die seltenen oder einmaligen planmäßigen Einwirkungen nach der Einwirkungskombination EK 2 mit dem Bauzustand nach Sicherheitsklasse SK 2.

Teilsicherheitsbeiwerte

Die Größe der Teilsicherheitsbeiwerte richtet sich im Grundsatz nach den Lastfällen der DIN 1054 [38]. Baugrubenkonstruktionen zählen danach zur Sicherheitsklasse SK 2 und

- in Verbindung mit den Lasten der Regel-Kombination EK 1 zum Lastfall LF 2,
- in Verbindung mit den Lasten der seltenen Einwirkungskombination EK 2 zum Lastfall LF 2/3,
- in Verbindung mit den Lasten der außergewöhnlichen Einwirkungskombination EK 3 zum Lastfall LF 3.

In Anlehnung daran werden die Einwirkungen nach Abschnitt 1.4 wie folgt eingeordnet:

- Der Regelfall entspricht dem Lastfall LF 2.
- Der Sonderfall entspricht dem Lastfall LF 2/3.
- Der Ausnahmefall entspricht dem Lastfall LF 3.

Die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen in den Lastfällen LF 2 und LF 3 richten sich nach DIN 1054 [38]. Die Teilsicherheitsbeiwerte für den Lastfall LF 2/3 sind in EAB [92] dazwischen interpoliert worden. Damit erhält man die Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen nach Tabelle 1.3-2. Günstige veränderliche Einwirkungen dürfen weder im Grenzzustand GZ 1 noch im Grenzzustand GZ 2 angesetzt werden.

Tabelle 1.3-2 Teilsicherheitsbeiwerte für Einwirkungen und Beanspruchungen

(Die Berichtigung 2 vom April 2007 [39], die Berichtigung 3 vom August 2008 [40] und die Berichtigung 4 vom Oktober 2008 [41] sind berücksichtigt)

Einwirkung bzw. Beanspruchung	Kurzzeichen	Lastfall			
		LF 1	LF 2	LF 2/3	LF 3
GZ 1A: Verlust der Lagesicherheit					
Günstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,stab}$	(0,95)	0,95	0,95	0,95
Ungünstige ständige Einwirkungen	$\gamma_{G,dst}$	(1,05)	1,05	1,05	1,00
Strömungskraft bei günstigem Untergrund	γ_H	(1,35)	1,30	1,25	1,20
Strömungskraft bei ungünstigem Untergrund	γ_H	(1,80)	1,60	1,50	1,35
Ungünstige veränderliche Einwirkungen	$\gamma_{Q,dst}$	(1,50)	1,30	1,15	1,00
GZ 1B: Versagen von Bauwerken und Bauteilen					
Beanspruchungen aus ständigen Einwirkungen allgemein ¹⁾	γ_G	(1,35)	1,20	1,15	1,10
Zwischenstufe $E_a : E_0 = 0,25 : 0,75$	γ_G		1,18	1,13	1,08
Zwischenstufe $E_a : E_0 = 0,50 : 0,50$	γ_G		1,15	1,10	1,05
Zwischenstufe $E_a : E_0 = 0,75 : 0,25$	γ_G		1,13	1,08	1,03
Beanspruchungen aus Erdruchdruck	$\gamma_{G,E0}$	(1,20)	1,10	1,05	1,00
Beanspruchungen aus ungünstigen veränderlichen Einwirkungen	γ_Q	(1,50)	1,30	1,20	1,10
GZ 1C: Gesamtstandsicherheit					
Ständige Beanspruchungen	γ_G	(1,00)	1,00	1,00	1,00
Ungünstige veränderliche Beanspruchungen	γ_Q	(1,30)	1,20	1,10	1,00

¹⁾ einschließlich ständigem und veränderlichem Wasserdruck

Im Grenzzustand GZ 2, d. h. beim Nachweis der Gebrauchstauglichkeit, ist für ständige Einwirkungen der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_G = 1,00$ und für veränderliche Einwirkungen der Teilsicherheitsbeiwert $\gamma_Q = 1,00$ zu setzen. Weitere Einzelheiten siehe Kapitel 3.

Die Teilsicherheitsbeiwerte nach DIN 1054 [38] für Widerstände im Grenzzustand GZ 1B sind in Tabelle 1.3-3 zusammengestellt, für Widerstände im Grenzzustand GZ 1C in Tabelle 1.3-4.

Ebenso wie bei den Einwirkungen sind in EB 79 [92] die Teilsicherheitsbeiwerte für den Lastfall LF 2/3 zwischen denen für die Lastfälle LF 2 und LF 3 interpoliert worden.

Tabelle 1.3-3 Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände im Grenzzustand GZ 1B

Art des Widerstands	Kurzzeichen	Lastfall			
		LF 1	LF 2	LF 2/3	LF 3
Bodenwiderstände					
Erdwiderstand	γ_{Ep}	(1,40)	1,30	1,25	1,20
Gleitwiderstand	γ_{Gl}	(1,10)	1,10	1,10	1,10
Pfahlwiderstände					
Pfahldruckwiderstand bei Probelastung	γ_{Pc}	(1,20)	1,20	1,20	1,20
Pfahlzugwiderstand bei Probelastung	γ_{Pt}	(1,30)	1,30	1,30	1,30
Pfahlwiderstand auf Druck und Zug aufgrund von Erfahrungswerten	γ_P	(1,40)	1,40	1,40	1,40
Verpressankerwiderstände					
Widerstand des Stahlzugglieds	γ_M	(1,15)	1,15	1,15	1,15
Herausziehwiderstand des Verpresskörpers	γ_A	(1,10)	1,10	1,10	1,10

Tabelle 1.3-4 Teilsicherheitsbeiwerte für Widerstände im Grenzzustand GZ 1C

Art des Widerstands	Kurzzeichen	Lastfall			
		LF 1	LF 2	LF 2/3	LF 3
Scherfestigkeit					
Reibungsbeiwerte $\tan \varphi'$ und $\tan \varphi_u$ ¹⁾	$\gamma_{\varphi}, \gamma_{\varphi u}$	(1,25)	1,15	1,13	1,10
Kohäsion c' des dränierten Bodens	γ_c	(1,25)	1,15	1,13	1,10
Scherfestigkeit c_u des undränierten Bodens	γ_{cu}	(1,25)	1,15	1,13	1,10
Herausziehwiderstände					
Bodennägel und Felsnägel	γ_N	(1,40)	1,30	1,25	1,20
Ankerzugpfähle	γ_Z	(1,40)	1,30	1,25	1,20
Verpresskörper von Verpressankern	γ_A	(1,10)	1,10	1,10	1,10

¹⁾ Falls $\varphi_u > 0$

Die Zahlenwerte für den Lastfall LF 1 sind zur Orientierung aufgenommen, aber in Klammern gesetzt worden, weil sie für die hier behandelten Baugrubenkonstruktionen in der Regel nicht maßgebend sind. Sie werden nur in Ausnahmefällen benötigt:

- beim Nachweis der Ankertragfähigkeit im Vollaushubzustand,
- beim Nachweis der Standsicherheit in der tiefen Gleitfuge bei Baugruben neben Bauwerken,
- beim Nachweis der Geländebruchsicherheit bei Baugruben neben Bauwerken,
- bei der Bemessung von Steifen nach Abschnitt 11.5.

Abgesehen von den Angaben zu Stahlzuggliedern von Verpressankern enthält DIN 1054 [38] keine Teilsicherheitsbeiwerte für Baustoffe des Ingenieurbaus. Maßgebend sind die Regelungen der jeweiligen Bauarten. Hierzu siehe Abschnitt 13.7.

Ausblick auf die Fortentwicklung von DIN EN 1997-1 und DIN 1054

Parallel zur praktischen Anwendung der nationalen Normengeneration sind die Eurocodes DIN EN 1990 bis DIN EN 1998 weiterentwickelt worden. Wegen der vielen nationalen Eigenheiten bieten diese europäischen Normen in genau definierten Fällen gewisse Wahlfreiheiten, insbesondere bei zahlenmäßigen Sicherheitsfestlegungen, darüber hinaus aber auch in Detailfragen, z. B. bei der Anwendung bestimmter Verfahren. Soweit in den einzelnen Mitgliedsländern der Europäischen Union von dieser Möglichkeit Gebrauch werden soll, ist ein Nationaler Anhang zu erstellen, in dem direkt oder durch Verweis auf nationale Vorschriften entsprechende Informationen enthalten sind. Der deutsche Nationale Anhang wird jeweils auf die entsprechenden Abschnitte einer überarbeiteten DIN 1054 (2010) „Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1“ verweisen. In dieser neuen DIN 1054 (2010) werden alle Regelungen entfallen, die bereits in DIN EN 1997-1 (EC 7-1) [76] enthalten sind. Außerdem werden vereinzelt in formaler Hinsicht Anpassungen an den Wortlaut des EC 7-1 vorgenommen. Insbesondere handelt es sich um folgende Punkte:

- a) Es wird die Gliederung der DIN EN 1997-1 übernommen.
- b) Die Lastfälle LF 1 bis LF 3 werden in Anpassung an DIN EN 1990 [71] durch die Bemessungssituationen BS 1 bis BS 3 ersetzt. Die Einwirkungskombinationen und Sicherheitsklassen entfallen.
- c) Im Rahmen der Bemessungssituationen werden ergänzend in geringem Umfang Kombinationsbeiwerte eingeführt.
- d) An die Stelle der Grenzzustände GZ 1A, GZ 1B und GZ 1C treten in Anpassung an DIN EN 1990 die Grenzzustände EQU, GEO 2, GEO 3, HYD, STR und UPL, wobei EQU, HYD und UPL dem bisherigen Grenzzustand GZ 1A entsprechen, GEO-2 und STR dem bisherigen Grenzzustand GZ 2. GEO 3 entspricht dem bisherigen Grenzzustand GZ 3.
- e) Die bisherigen zulässigen Bodenpressungen werden durch Bemessungswerte des Sohlwiderstands ersetzt.
- f) Die Anhänge zur Bemessung von Pfählen entfallen; stattdessen wird auf die neue EA-Pfähle [94] verwiesen.

Im Wesentlichen handelt es sich um formale Änderungen. An der praktischen Durchführung der Berechnungen ändert sich insbesondere bei Baugrubenkonstruktionen wenig.

Da keines der drei genannten Regelwerke, DIN EN 1997-1 [76], DIN EN 1997-1-NA [77] und DIN 1054 (2010), einzeln verständlich und anwendbar ist, sollen sie unter der Bezeichnung „Normenhandbuch“ zu einem einzigen, in sich geschlossenen Werk auf der Grundlage der Gliederung der DIN EN 1997-1 [76] vereinigt werden. Die Anteile des Nationalen Anhangs und der DIN 1054 (2010) werden voraussichtlich durch vorangesetzte Buchstaben gekennzeichnet.

1.4 Einwirkungen

Allgemeines

Nach dem Teilsicherheitskonzept wird zwischen ständigen und veränderlichen Einwirkungen unterschieden. Zu den ständigen Einwirkungen zählen im Normalfall bei Baugrubenkonstruktionen:

- Eigenlasten der Baugrubenkonstruktion, gegebenenfalls unter Berücksichtigung von Hilfsbrücken und Baugrubenabdeckungen,
- Erddruck infolge von Bodeneigengewicht, gegebenenfalls unter Berücksichtigung der Kohäsion.

Nach DIN 1054 [38] wird auch der Erddruck infolge einer veränderlichen, großflächigen Gleichlast $p_k \leq 10 \text{ kN/m}^2$ vereinfachend zu den ständigen Einwirkungen gerechnet.

Entsprechend EB 55 bis EB 57 [92] wird bei den veränderlichen Einwirkungen unterschieden zwischen einem Anteil, der als großflächige Gleichlast $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$ angesetzt wird, und einem Anteil, der entweder als Flächenlast q_k darüber hinausgeht oder als Streifenlast, Linienlast oder Punktlast auf kleiner Aufstandsfläche angesetzt wird. Während die großflächige Gleichlast $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$ als ständige Einwirkung zu behandeln ist, werden nach EAB [92] bei den übrigen veränderlichen Einwirkungen in Abhängigkeit von Dauer und Häufigkeit ihrer Einwirkung in Anlehnung an DIN 1054 [38] die nachfolgend beschriebenen Fälle unterschieden:

- a) Im Regelfall genügt es, dem Standsicherheitsnachweis neben den ständigen Einwirkungen folgende regelmäßig auftretende veränderliche Einwirkungen zugrunde zu legen:
 - unmittelbar auf Hilfsbrücken oder Baugrubenabdeckungen einwirkende Nutzlasten,
 - Erddruck aus Nutzlasten neben der Baugrube.
- b) In Sonderfällen kann es erforderlich sein, neben den Lasten des Regelfalls folgende Einwirkungen zu berücksichtigen:
 - Fliehkräfte, Bremskräfte und Seitenstoß, z. B. bei Baugruben neben oder unter Eisenbahnen oder Straßenbahnen entsprechend den Angaben des Verkehrsbetriebs,
 - selten auftretende Lasten und unwahrscheinliche oder selten auftretende Kombinationen von Lastgrößen und Lastangriffspunkten,
 - Temperaturwirkungen auf Steifen, z. B. bei Stahlsteifen aus I-Profilen ohne Knickhaltung oder bei schmalen Baugruben in frostgefährdetem Boden.
- c) In Ausnahmefällen kann es erforderlich sein, neben den Lasten des Regelfalls auch außerplanmäßige Lasten zu berücksichtigen, z. B.
 - Anprall von Baugeräten gegen die Unterstützungen von Hilfsbrücken bzw. Baugrubenabdeckungen oder gegen die Zwischenstützen von Knickhaltungen,

- Lasten durch Ausfall von Betriebs- und Sicherungsvorrichtungen, sofern deren Auswirkungen nicht durch entsprechende Maßnahmen begegnet werden kann,
- Lasten durch Ausfall besonders gefährdeter Traglieder, z. B. von Steifen oder Ankern.

Kurzzeitig auftretende Sonderlasten, z. B. beim Prüfen, Überspannen oder Lösen von Ankern oder Steifen dürfen wie außerplanmäßige Lasten behandelt werden.

Allgemeine Festlegungen für den Ansatz von Nutzlasten

Als Nutzlasten auf der Geländeoberfläche werden nach EB 3 [92] folgende veränderliche Einwirkungen bezeichnet:

- Lasten aus Straßen- und Schienenverkehr,
- Lasten aus Baustellenverkehr und Baubetrieb,
- Lasten aus Baggern und Hebezeugen.

Die Aufstandsbreiten der einzelnen Räder von gummibereiften Fahrzeugen und Baugeräten sind nach EB 3 [92], sofern keine genaueren Untersuchungen angestellt werden, wie folgt anzunehmen:

- mit 0,60 m bei Radlasten von 100 kN (10,0 t),
- mit 0,46 m bei Radlasten von 65 kN (6,5 t),
- mit 0,40 m bei Radlasten von 50 kN (5,0 t),
- mit 0,30 m bei Radlasten von 40 kN (4,0 t),
- mit 0,26 m bei Radlasten von 30 kN (3,0 t).

Im Bedarfsfall darf zwischen diesen Werten geradlinig interpoliert werden. Die Aufstands-länge in Fahrtrichtung beträgt stets 0,20 m.

Innerhalb des Straßenoberbaus darf, abhängig von den Eigenschaften und der Dicke d der lastverteilenden Schichten, entsprechend Bild 1.4-1 in allen Richtungen wie folgt eine Lastausbreitung angenommen werden:

- eine Ausbreitung $a = d$ bei Fahrbahndecken und Tragschichten aus bituminösen Schichten, Beton oder in festem Verband liegendem Steinpflaster,
- eine Ausbreitung $a = 0,75 \cdot d$ bei hydraulisch gebundenen Kies- oder Schottertragschichten,
- eine Ausbreitung $a = 0,50 \cdot d$ bei ungebundenen Kies- oder Schottertragschichten.

Zu den Qualitätsanforderungen an die Tragschichten siehe die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau (ZTVT-StB 95)“ [237].

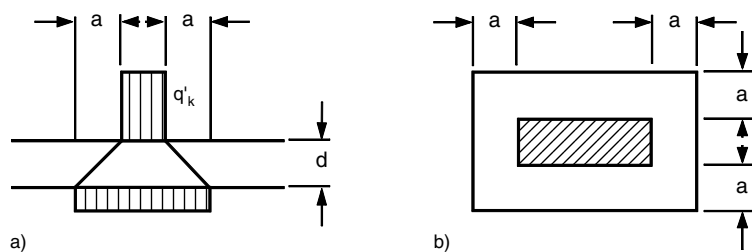


Bild 1.4-1 Lastausbreitung im Straßenoberbau nach EB 3; a) Lastverteilung im Querschnitt, b) Lastverteilung im Grundriss

Ist keine Straßenbefestigung vorhanden, so vergrößern sich die Aufstandsflächen von gummiereiften Fahrzeugen und Baugeräten durch Einsinken in den Untergrund. Sofern dazu keine genaueren Untersuchungen angestellt werden, dürfen näherungsweise die für feste Fahrbahn geltenden Aufstandslängen und Aufstandsweiten um je 15 cm vergrößert werden.

Zur Ermittlung des Erddrucks darf eine Einzellast bzw. eine begrenzte Flächenlast entsprechend Bild 1.4-2a in eine Ersatzstreifenlast umgewandelt und dabei die Ausstrahlung der Last in der Waagerechten näherungsweise mit 45° angenommen werden. Überschneiden sich die Wirkungen benachbarter Lasten, so darf nach Bild 1.4-2b vereinfachend von einer gemeinsamen Aufstandsfläche der beiden Lasten ausgegangen werden.

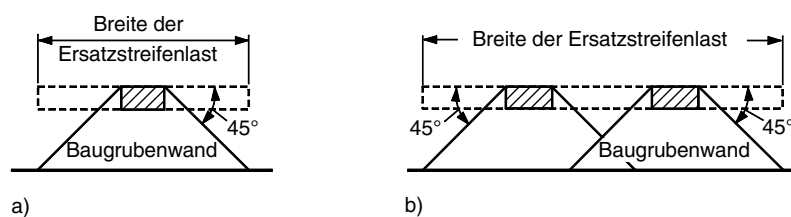


Bild 1.4-2 Umwandlung von begrenzten Flächenlasten in Streifenlasten nach EB 3; a) einzelne Last, b) zwei Lasten

Ist bei ausgesteiften Baugruben nur eine Wand durch Erddruck aus Nutzlasten belastet, so ist die gegenüberliegende Wand für die gleichen Schnittgrößen zu bemessen, sofern nicht bei biegsamen Baugrubenkonstruktionen die Konzentration des Reaktionserddrucks auf die Stützpunkte nachgewiesen wird. Eine Verstärkung der Ausfachung von Trägerbohlwänden auf der gegenüberliegenden Seite ist nicht erforderlich.

Nutzlasten aus Straßen- und Schienenverkehr

Nach der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) [195] dürfen die Achslasten von allgemein auf öffentlichen Straßen zugelassenen Fahrzeugen folgende Werte nicht überschreiten:

- Einzelachslasten
von $1 \times F_k = 1 \times 115 \text{ kN (11,5 t)} = 115 \text{ kN (11,5 t)}$ nach Bild 1.4-3a,
- Doppelachslasten
von $2 \times F_k = 2 \times 80 \text{ kN (8,0 t)} = 160 \text{ kN (16,0 t)}$ nach Bild 1.4-3b,
- Dreifachachslasten
von $3 \times F_k = 3 \times 70 \text{ kN (7,0 t)} = 210 \text{ kN (21,0 t)}$ nach Bild 1.4-3c.

Die Achslasten dürfen gleichmäßig auf alle Räder einer Achse bzw. einer Achsgruppe verteilt werden. Ein Stoßzuschlag braucht nicht berücksichtigt zu werden.

Für die Ermittlung des Erddrucks auf die Baugrubenwand braucht nach EB 55 [92] nur der Einfluss der Lasten aus denjenigen Rädern berücksichtigt zu werden, die der Baugrubenwand zugewandt sind. Dementsprechend ist als Radlast jeweils nur die Hälfte der angegebenen Achslasten anzusetzen. Im Übrigen gelten die oben genannten Angaben für die Aufstandsflächen, für die Lastausbreitung im Straßenoberbau und für die Lastausbreitung im Boden.

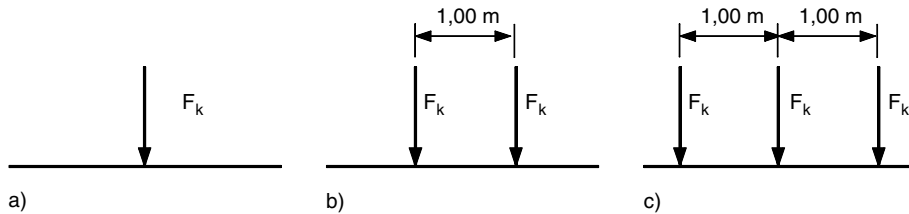


Bild 1.4-3 Maßgebliche Achslasten nach StVZO; a) Einzelachslast 115 kN, b) Doppelachslast 2×80 kN, c) Dreifachachslast 3×70 kN

Der Einfluss der Lasten aus den Rädern, die von der Baugrubenwand abgewandt sind, und der Einfluss von Fahrzeugen in weiteren Fahrspuren brauchen nicht im Einzelnen untersucht zu werden. Stattdessen ist unmittelbar neben den der Baugrubenwand am nächsten stehenden Radlasten eine großflächige Gleichlast $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$ anzusetzen.

Sofern sichergestellt ist, dass

- die angegebenen Lasten nicht überschritten werden,
- die Fahrbahndecke aus bituminösen Schichten, Beton oder in festem Verband liegendem Steinpflaster besteht und mindestens 15 cm dick ist,
- zwischen den Aufstandsflächen der Räder und der Hinterkante der Baugrubenwand ein Abstand von mindestens 1,00 m verbleibt,

darf nach EB 55 [92] auf die beschriebene Untersuchung auf der Grundlage von Einzellasten verzichtet und als Ersatzlast eine an der Hinterkante der Wand beginnende, großflächige Gleichlast $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$ zugrunde gelegt werden. Bei einem geringeren Abstand ist die Flächenlast in einem Streifen von 1,50 m Breite unmittelbar neben der Baugrubenwand wie folgt zu erhöhen:

- um $q'_k = 10 \text{ kN/m}^2$, wenn die Aufstandsflächen einen Abstand von wenigstens 0,60 m einhalten,
- um $q'_k = 40 \text{ kN/m}^2$, wenn kein Abstand eingehalten wird, z. B. im Bereich von Hilfsbrücken.

Hierzu siehe Bild 1.4-4. Die Lastausbreitung im Straßenbelag ist bei diesen Ansätzen bereits berücksichtigt.

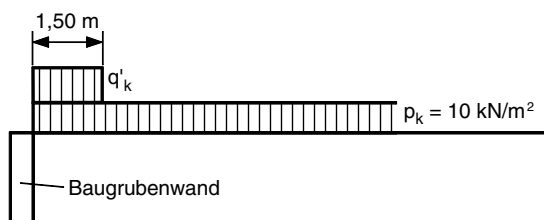


Bild 1.4-4 Ersatzlast für Straßenverkehr bei einem Abstand von weniger als 1,00 m nach EB 55

Sofern beim Ansatz der Ersatzlast schwerere als die oben genannten Fahrzeuge berücksichtigt werden sollen, dürfen die angegebenen Streifenlasten q'_k im Verhältnis der entsprechenden Achslasten umgerechnet werden, sofern die Einzelfahrzeuge, Sattelzugmaschinen und Anhänger je für sich nicht mehr als 3 Achsen aufweisen. Bei Fahrzeugen mit mehr als 3 Achsen, z. B. bei Straßenrollern, sind besondere Untersuchungen anzustellen.

Wird unmittelbar gegen die Baugrubenwand ein Schrammbord abgestützt, so ist auf diesen ein waagerechter Seitenstoß anzusetzen. Bei der Bemessung des Schrammbords ist der Seitenstoß dem Regelfall zuzuordnen, bei der Bemessung der Baugrubenkonstruktion dem Sonderfall.

Sofern die Baugrubenwand im Ausstrahlungsbereich der Lasten von Schienenfahrzeugen liegt, sind die Nutzlasten bzw. Ersatzlasten nach den Vorschriften des jeweiligen Verkehrsbetriebes anzusetzen. Ein Schwingbeiwert braucht dabei nicht berücksichtigt zu werden. Bei Straßenbahnen genügt der Ansatz einer großflächigen Gleichlast $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$, sofern zwischen den Schwellenenden und der Baugrubenwand ein Abstand von mindestens 0,60 m eingehalten wird. Fliehkräfte und Seitenstoß sind gegebenenfalls als Einwirkungen im Regelfall zu berücksichtigen.

Für die Bemessung von Hilfsbrücken und Baugrubenabdeckungen gelten bei Straßenverkehr die Angaben der DIN 1072 [44] und bei Schienenverkehr die einschlägigen Vorschriften des jeweiligen Verkehrsbetriebes, es sei denn, der DIN-Fachbericht 101 [87] ist vorgeschrieben oder vertraglich vereinbart. Sofern nichts anderes vorgeschrieben ist, genügt bei Straßenverkehr der Ansatz der Brückenklasse 30/30 nach DIN 1072 [44]. Soll auch der Verkehr mit Fahrzeugen möglich sein, die im Hinblick auf Achslasten oder Gesamtgewicht der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung nicht entsprechen und daher einer Sondergenehmigung bedürfen, so genügt es bei mehrspurigen Hilfsbrücken und Baugrubenabdeckungen in der Regel, nur für eine besonders gekennzeichnete Fahrspur die Brückenklasse 60/30 vorzusehen.

Wenn die DIN 1072 [44] zugrunde gelegt wird, sind die dort angegebenen Lasten als charakteristische Einwirkungen anzusetzen.

Nutzlasten aus Baustellenverkehr und Baubetrieb

- a) Die üblicherweise auf Baustellen offen oder in Baubaracken gelagerten Baumaterialien sind im Allgemeinen durch eine großflächige Gleichlast $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$ erfasst. Werden größere Erdmassen oder größere Mengen von Stahl, Steinen und dergleichen in unmittelbarer Nähe der Baugrube gelagert, so sind genauere Untersuchungen anzustellen. Das Gleiche gilt für die Lasten aus Silos.
- b) Für den Ansatz von Ersatzlasten für den im Rahmen der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung (StVZO) [195] auch allgemein auf öffentlichen Straßen zugelassenen Baustellenverkehr mit Lastkraftwagen, Sattelkraftfahrzeugen und Lastzügen gilt EB 55 [92], Absatz 3 auch dann, wenn ein Straßenbelag fehlt. Sofern sich Baufahrzeuge wegen ihrer Achslasten oder der Zahl der Achsen nicht in die Lasten nach EB 55 [92], Absatz 1 einordnen lassen, gilt EB 55 [92], Absatz 4 sinngemäß.

Der Ansatz von Nutzlasten aus Baustellenverkehr erübrigt sich, wenn im gleichen Bereich der Einfluss von Baggern oder Hebezeugen nach EB 57 [92], Absatz 2 berücksichtigt wird. Bagger und Hebezeuge, die lediglich an der Baugrube entlangfahren, sind als Straßenfahrzeuge anzusehen.

- c) Sofern der Erddruck infolge von Baufahrzeugen nicht mit Hilfe der Ersatzlasten nach Absatz 2 ermittelt wird, gelten die Angaben in EB 56 [92]:
- für die Aufstandsflächen von gummibereiften Fahrzeugen,
 - für die Lastausbreitung im Straßenoberbau,
 - für die Vergrößerung der Aufstandsflächen bei fehlender Straßenbefestigung,
 - für die Lastausbreitung im Boden.

Der Einfluss der Lasten aus den Rädern, die von der Baugrubenwand abgewandt sind, und der Einfluss von Fahrzeugen in weiteren Fahrspuren brauchen nicht im Einzelnen untersucht zu werden. Stattdessen ist unmittelbar neben den der Baugrubenwand am nächsten stehenden Radlasten eine großflächige Gleichlast $p_k = 10 \text{ kN/m}^2$ anzusetzen.

- d) Für die Bemessung von Baugrubenabdeckungen, die als Arbeitsflächen oder als Lagerflächen für Schalung, Betonstahl und dergleichen dienen, gilt Absatz a) sinngemäß. Bei Hilfsbrücken und Baugrubenabdeckungen für den Baustellenverkehr ist von den tatsächlich zu erwartenden Lasten auszugehen. Das Gleiche gilt für den Verkehr mit nicht gummibereiften Baugeräten, z. B. Straßenwalzen oder Raupenbaggern. Im Hinblick auf Schwingbeiwerte, Zusatzlasten und Sonderlasten gilt der DIN-Fachbericht 101 [87] sinngemäß. Können mehrere beladene Fahrzeuge, z. B. Transportbetonfahrzeuge, gleichzeitig in einer Fahrspur hintereinander oder in benachbarten Fahrspuren nebeneinander stehen oder fahren, so ist dies zu berücksichtigen. Bei Fahrzeugen, die der Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung entsprechen, dürfen vereinfachend die Lasten der Brückensklasse 30/30 zugrunde gelegt werden.
- e) Bei der Bemessung von Steifen ist neben der Eigenlast und der Normalkraft eine lotrechte Nutzlast von mindestens $\bar{q}_k = 1,0 \text{ kN/m}$ zur Berücksichtigung nicht vermeidbarer Lasten aus Baubetrieb, leichten Abdeckungen, Laufstegen, Verbänden und Ähnlichem anzusetzen, sofern nicht größere lotrechte Lasten vorgesehen sind. Waagerechte Lasten, z. B. aus Verbänden oder aus der Abstützung von Schalungen, sind bei der Bemessung von Steifen stets zu berücksichtigen. Beim Leitungsgrabenbau mit senkrechtem oder waagrechtem Verbau bzw. Trägerbohlwänden mit vorgehängten Bohlen ist eine Belastung der Steifen durch Nutzlasten nicht zulässig. Im Übrigen siehe hierzu EB 52 [92], Absatz 5.
- f) Bei der Bemessung von Unterstützungen für Hilfsbrücken bzw. Baugrubenabdeckungen und von Zwischenstützen für Knickhaltungen ist in einer Höhe von 1,20 m über der jeweiligen Aushubsohle eine Einzellast von $F_k = 100 \text{ kN}$ in beliebiger Richtung zu berücksichtigen, sofern keine konstruktive Sicherung gegen den Anprall von Baugeräten angeordnet ist.

Nutzlasten aus Baggern und Hebezeugen

- a) Bagger und Hebezeuge, die in geringem Abstand von der Baugrube arbeiten, belasten den Verbau in starkem Maß. Eine besondere Untersuchung des Einflusses von Größe und Verteilung des Erddrucks kann nach EB 57 [92] nur unterbleiben, wenn folgende Abstände von der Baugrubenwand eingehalten werden:
- 1,50 m bei einem Gesamtgewicht von 10 t bzw. einer Gesamtlast von 100 kN,
 - 2,50 m bei einem Gesamtgewicht von 30 t bzw. einer Gesamtlast von 300 kN,
 - 3,50 m bei einem Gesamtgewicht von 50 t bzw. einer Gesamtlast von 500 kN,
 - 4,50 m bei einem Gesamtgewicht von 70 t bzw. einer Gesamtlast von 700 kN.