

3. Auflage



Baugruben



Achim Hettler
Theodoros Triantafyllidis
Anton Weißenbach

Achim Hettler
Theodoros Triantafyllidis
Anton Weißenbach
mit Beiträgen von Wilfried Hackenbroch

Baugruben

3. Auflage

Achim Hettler
Theodoros Triantafyllidis
Anton Weißenbach

Baugruben

3. Auflage

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Achim Hettler
Lehrstuhl Baugrund – Grundbau
Fakultät Architektur und Bauingenieurwesen
Technische Universität Dortmund
August-Schmidt-Str. 8
44227 Dortmund

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Theodoros Triantafyllidis
Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Bodenmechanik und Felsmechanik (IBF)
Engler-Bunte-Ring 14
76131 Karlsruhe

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

Dipl.-Ing. Wilfried Hackenbroch
IDN Ingenieurbüro DOMKE Nachf.
Partnerschaft Beratender Ingenieure mbB
Mannesmannstr. 161
47259 Duisburg

Titelbild: Baugrube für das Kocherquartier in Schwäbisch Hall (Foto: Bauer AG)

Alle Bücher von 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.

© 2018 Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG, Rotherstraße 21, 10245 Berlin, Germany

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

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

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

Umschlaggestaltung: Sonja Frank, Berlin
Herstellung: pp030 – Produktionsbüro Heike Praetor, Berlin
Satz: Olaf Mangold Text & Typo, Stuttgart
Druck und Verarbeitung:

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

3. vollständig überarbeitete Auflage

Print ISBN: 978-3-433-03244-2
ePDF ISBN: 978-3-433-60944-6
ePub ISBN: 978-3-433-60942-2
Mobi ISBN: 978-3-433-60943-9
oBook ISBN: 978-3-433-60937-8

Vorwort zur 2. Auflage

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.

Anton Weissenbach, Achim Hettler
Norderstedt und Dortmund, im Mai 2010

Vorwort zur 3. Auflage

Mit der Einführung des Eurocode 7-1 „Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln“ einschließlich DIN EN 1997-1/NA:2010-12 „Nationaler Anhang“ und DIN 1054:2010-12 „Baugrund Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regeln zu DIN 1997-1“, zusammengefasst im Handbuch Eurocode 7, Band 1, sowie den Änderungen A1:2012 und A2:2015-11 war eine – wenn auch geringfügige – Anpassung der 2. Auflage erforderlich geworden.

Die Überarbeitung wurde dazu genutzt, die ursprüngliche Idee von *Anton Weissenbach* aufzugreifen, das Gebiet umfassend in vier Bänden abzuhandeln, siehe Vorwort zur 2. Auflage.

Die Themen:

- Konstruktion und Bauausführung,
- Berechnungsgrundlagen,
- Berechnungsverfahren,
- Baugrubenumschließung in besonderen Fällen

wurden alle mit der vorliegenden 3. Auflage in einem Buch zusammengefasst. Die Berechnungsbeispiele wurden ebenfalls an das Handbuch Eurocode 7, Band 1 angepasst und erweitert um eine Baugrube mit rückverankerter Betonsohle. Das Thema „Bemessung der Einzelteile“ in Kapitel 19 sowie in Kapitel 20 hat dankenswerterweise *Wilfried Hackenbroch* überarbeitet.

Anton Weissenbach hat aus Altersgründen nicht mehr aktiv an der 3. Auflage mitgewirkt. Seine Ideen prägen jedoch bis heute grundlegend die Berechnungsverfahren bei Baugruben und werden auch in Zukunft maßgeblich bleiben. Insofern wurden viele Teile von früheren Auflagen übernommen oder nur leicht abgeändert.

Ohne Mitwirkung von Helfern ist es auch im Zeitalter der elektronischen Datenverarbeitung kaum möglich, ein Buch in überschaubarer Zeit fertigzustellen. Für die ständige und immer freundliche Unterstützung sei insbesondere den Herren *Marcel Deckert* und *Ingmar Zehn* sowie *Frau Mattner* und *Frau Meininger* herzlich gedankt.

Achim Hettler, Theodoros Triantafyllidis
Dortmund und Karlsruhe, im Oktober 2017

Inhaltsverzeichnis

	Vorwort zur 2. Auflage	V
	Vorwort zur 3. Auflage	VII
1	Konstruktive Maßnahmen zur Sicherung von Baugruben und Leitungsgräben	1
1.1	Konstruktionsarten	1
1.2	Nicht verbaute Baugruben und Gräben	1
1.3	Grabenverbau	4
1.3.1	Waagerechter Grabenverbau	4
1.3.2	Senkrechter Grabenverbau	6
1.3.3	Grabenverbaugeräte	9
1.4	Spundwände	12
1.5	Trägerbohlwände	18
1.6	Massive Verbauwände	23
1.7	Injektionswände, Frostwände	34
1.8	Mixed-in-Place-Wände	35
2	Allgemeine Berechnungsgrundlagen	37
2.1	Maßgebende Vorschriften	37
2.2	Geotechnische Kategorien	39
2.3	Bautechnische Voraussetzungen	41
2.4	Stützung von Baugrubenwänden	42
2.5	Sicherheitskonzept	43
2.6	Grenzzustände der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit ..	44
2.7	Bemessungssituationen	45
2.8	Teilsicherheitsbeiwerte	46
2.9	Einwirkungen und Widerstände sowie repräsentative Werte	49
2.10	Bodenkenngrößen	51
2.11	Wahl des Berechnungsverfahrens	55
2.12	Ermittlung von Schnittgrößen	55
3	Erddruck	59
3.1	Allgemeines	59
3.2	Erdruhedruck	59
3.3	Wandreibungswinkel und Erddruckneigungswinkel	61
3.4	Größe des aktiven Erddrucks und Mindesterddruck	64
3.5	Verteilung des aktiven Erddrucks	72
3.6	Passiver Erddruck vor Spundwänden und Ortbetonwänden	80
3.7	Erdwiderstand vor Trägerbohlwänden und aufgelösten Pfahlwänden	86
4	Nicht gestützte, im Boden eingespannte Baugrubenwände	90
4.1	Einspannung im Untergrund	90
4.2	Lastansätze und Bodenreaktionen	96

4.3	Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen	100
4.4	Ermittlung von Verschiebungen	103
5	Einmal gestützte Baugrubenwände	108
5.1	Lastbilder	108
5.2	Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen bei freier Auflagerung im Boden	115
5.3	Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen bei beliebiger Fußauflagerung	119
5.4	Korrektur der Wandfußverschiebung mit einer Mobilisierungsfunktion	123
6	Mehrmals gestützte Baugrubenwände	132
6.1	Lastbilder für zweimal gestützte Baugrubenwände	132
6.2	Lastbilder für dreimal oder öfter gestützte Baugrubenwände	133
6.3	Ermittlung von Einbindetiefen und Schnittgrößen	135
6.4	Lastbilder und Schnittgrößen in den Rückbauzuständen	140
6.5	Berücksichtigung von Nutzlasten	153
7	Weitere Nachweise	155
7.1	Gleichgewicht der waagerechten Kräfte bei Trägerbohlwänden ...	155
7.2	Nachweis der Vertikalkomponente des mobilisierten Erdwiderstands	162
7.3	Abtragung von Vertikalkräften in den Untergrund	168
7.4	Sicherheit gegen Aufbruch der Baugrubensohle	173
7.5	Sicherheit gegen Geländebruch	180
8	Bettungsmodulverfahren	183
8.1	Grundlagen	183
8.2	Bilinearer Ansatz und Ermittlung des zugehörigen Bettungsmoduls	186
8.3	Durchgängig nichtlineare Bettungsansätze	191
8.4	Einfluss des Grundwassers auf den Bettungsmodul	193
8.5	Gestützte Wände	194
8.6	Nachweis der Einbindetiefe	195
9	Finite-Elemente-Methode	198
9.1	Einführung	198
9.2	Vorgaben aus Regelwerken	201
9.3	Einschlägige Veröffentlichungen	202
9.4	Vorschläge zur Anwendung	205
10	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	214
10.1	Anwendung der EAB	214
10.2	Herstellbedingte Verformungen	217

11	Verankerte Baugrubenwände	229
11.1	Verankerungskonstruktionen	229
11.2	Berechnung	230
11.3	Nachweis der Gesamtstandsicherheit einschließlich Standicherheit in der tiefen Gleitfuge	231
11.4	Nachweis der Gebrauchstauglichkeit	236
12	Bewegungsarme Baugrubenwände neben Bauwerken	238
12.1	Konstruktion	238
12.2	Berechnung	240
13	Baugruben im Wasser	245
13.1	Großflächig abgesenktes Grundwasser	245
13.2	Hydraulischer Grundbruch	246
13.3	Erd- und Wasserdruck bei umströmten Wänden	251
13.4	Grundwasserschonende Bauweisen	252
13.5	Rückverankerte Betonsohlen	257
13.6	Hinweise zur 5. Auflage der EAB	259
14	Baugruben in weichen Böden	261
14.1	Allgemeines	261
14.2	Verbaukonstruktionen	262
14.3	Bauvorgang	264
14.4	Scherfestigkeit	268
14.5	Angaben zur Berechnung	269
14.6	Wasserhaltungsmaßnahmen	272
15	Baugruben in felsartigen Böden	274
16	Untersuchung besonderer Baugrubenkonstruktionen	277
16.1	Baugruben mit besonders großen Abmessungen	277
16.1.1	Besonders breite Baugruben	277
16.1.2	Besonders tiefe Baugruben	278
16.2	Baugruben mit besonderem Grundriss	280
16.2.1	Quadratische und rechteckige Baugruben	280
16.2.2	Baugrubenstirnwände	282
16.2.3	Baugrubenverbreiterungen	284
16.2.4	Kreisförmige Baugruben	286
16.3	Baugruben mit unregelmäßigem Querschnitt	288
16.3.1	Baugruben am Hang	288
16.3.2	Nebeneinander angeordnete Baugruben	290
16.3.3	Geneigte oder verspringende Baugrubensohle	292
16.4	Zur Baugrubensohle abgestützte Baugrubenwände	293

17	Baugruben bei Erdbebenbeanspruchungen	297
18	Bemessung der Einzelteile	300
18.1	Bohlen, Brusthölzer und Gurte aus Holz	300
18.2	Bohlträger, Spundbohlen und Kanaldielen aus Stahl	304
18.3	Gurte, Auswechslungen und Verbandstäbe aus Stahl	305
18.4	Steifen	307
18.5	Verbauteile aus Beton und Stahlbeton	311
18.6	Erdanker und Zugpfähle	313
18.7	Verbände, Anschlüsse und Verbindungsmittel	318
19	Berechnungsbeispiele	321
19.1	Nachweis der Böschungsstandsicherheit mit Tabellenwerten	321
19.2	Nachweis der Böschungsstandsicherheit mit dem lamellenfreien Gleitkreisverfahren	322
19.3	Erddruckermittlung für eine im Boden eingespannte, nicht gestützte Spundwand	329
19.4	Erddruckermittlung für eine Baggerlast	331
19.5	Ermittlung des Erdwiderstands vor einer Trägerbohlwand	332
19.6	Nicht gestützte, im Boden eingespannte Trägerbohlwand in nichtbindigem Boden	333
19.7	Nicht gestützte, im Boden eingespannte Spundwand in bindigem Boden	343
19.8	Einmal ausgesteifte, im Boden frei aufgelagerte Schlitzwand in geschichtetem Boden	355
19.9	Korrektur der Wandfußverschiebung mithilfe einer Mobilisierungsfunktion	360
19.9.1	Variante A: Bodenaufleger im Schwerpunkt der Bodenreaktionen	360
19.9.2	Variante B: Auflager im Fußpunkt der Wand	367
19.10	Nachweis der Einbindetiefe bei Anwendung des Bettungs- modulverfahrens	369
19.11	Nachweis der Einbindetiefe bei Anwendung der Finite-Elemente-Methode	376
19.12	Nachweis der Sicherheit gegen Aufbruch der Baugrubensohle ...	379
19.13	Nachweis der Standsicherheit einer Verankerung	384
19.14	Baugrube mit rückverankerter Betonsohle	388
20	Tabellen	395
20.1	Erfahrungswerte für Bodenkenngrößen	395
20.2	Beiwerte zur Ermittlung des aktiven Erddrucks	399
20.3	Beiwerte zur Ermittlung des ebenen Erdwiderstands	403
20.4	Beiwerte zur Ermittlung des räumlichen Erdwiderstands	409
20.5	Beiwerte zur Ermittlung der Böschungsstandsicherheit	413
20.6	Materialkenngrößen und Teilsicherheitsbeiwerte für Bauteile aus Holz	414

20.7	Materialkenngrößen und Teilsicherheitsbeiwerte für Bauteile aus Stahl	415
20.8	Materialkenngrößen und Teilsicherheitsbeiwerte für Bauteile aus Beton und Stahlbeton	416
21	Literaturverzeichnis und Normen	418
	Literaturverzeichnis	418
	Normen	432
	Inserentenverzeichnis	435

1 Konstruktive Maßnahmen zur Sicherung von Baugruben und Leitungsgräben

1.1 Konstruktionsarten

Es werden alle üblichen Konstruktionen behandelt. Tiefere Baugruben werden häufig im Grundwasserbereich ausgeführt, sodass zur Erstellung eines trockenen Arbeitsraums entweder ein wasserundurchlässiger Baugrubenverbau mit einer Grundwasserabsenkung oder ein nahezu wasserundurchlässiger Verbau zum Einsatz kommen. Letztere Ausführungsart setzt voraus, dass die Verbauwand außer dem Erddruck auch mit dem entsprechenden Wasserdruck bemessen worden ist.

Abgesehen von Grabenverbaumaßnahmen und geböschten Baugruben sind folgende Arten von Baugrubenkonstruktionen heute gebräuchlich:

- Spundwandverbau,
- Trägerbohlwandverbau,
- Massiver Baugrubenverbau, z. B. Bohrpfahlwände oder Schlitzwände,
- Injektionswände, Gefrierwände,
- Mixed-in-Place Wände.

Die Wahl zwischen den oben genannten Konstruktionsarten hängt vom Zweck der Konstruktion sowie den Anforderungen hinsichtlich der Steifigkeit und der Wasserdichtigkeit ab.

1.2 Nicht verbaute Baugruben und Gräben

Nicht verbaute Baugruben und Gräben mit durchgehend senkrechten Wänden ohne besondere Sicherung sind nach DIN 4124 „Baugruben und Gräben“ und der Unfallverhütungsvorschrift „Bauarbeiten“ entsprechend Bild 1.1a nur bis zu einer Tiefe von 1,25 m zulässig, wobei die anschließende Geländeoberfläche bei nichtbindigen und weichen bindigen Böden nicht steiler als 1 : 10, bei mindestens steifen bindigen Böden nicht steiler als 1 : 2 geneigt sein darf. In steifen oder halbfesten bindigen Böden sowie bei Fels darf bis zu einer Tiefe von 1,75 m ausgehoben werden, wenn der mehr als 1,25 m über der Sohle liegende Bereich der Wand (Bild 1.1c) unter einem Winkel $\beta \leq 45^\circ$ abgeböschet (Bild 1.1b) oder durch Teilverbau gesichert wird und die Geländeoberfläche nicht steiler als 1 : 10 ansteigt.

Bei Tiefen von mehr als 1,25 m bzw. 1,75 m sind unverbaute Baugruben und Gräben so abzuböschen, dass niemand durch abrutschende Massen gefährdet wird. Erd- und Felswände dürfen nicht unterhöhlt werden. Trotzdem entstandene Überhänge sowie beim Aushub freigelegte Findlinge, Bauwerksreste, Bordsteine, Pflastersteine und dergleichen, die abstürzen oder abrutschen können, sind unverzüglich zu beseitigen. Steile Böschungen sowie Böschungen, aus denen sich einzelne Steine, Felsbrocken, Findlinge, Fundamentreste und dergleichen lösen können, müssen durch Fangnetze gesichert oder regelmäßig überprüft und gegebenenfalls abgeräumt werden. Dies gilt insbesondere nach längeren Arbeitsunterbrechungen,

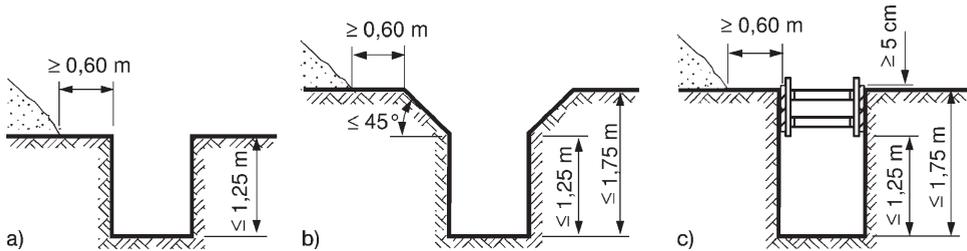


Bild 1.1 Gräben bis 1,75 m Tiefe mit senkrechten Wänden; a) Graben mit durchgehend senkrechten Wänden, b) Graben mit abgeboeschten Kanten, c) teilweise gesicherter Graben

nach starken Regen- oder Schneefällen, nach dem Lösen größerer Erd- oder Felsmassen, bei einsetzendem Tauwetter und nach Sprengungen.

Die Böschungswinkel von nicht verbauten Baugruben und Gräben richtet sich unabhängig von der Lösbarkeit des Bodens nach dessen bodenmechanischen Eigenschaften unter Berücksichtigung der Zeit, während derer sie offen zu halten sind, und nach den äußeren Einflüssen, die auf die Böschung wirken.

Ohne rechnerischen Nachweis der Standsicherheit dürfen folgende Böschungswinkel nicht überschritten werden:

$\beta = 45^\circ$ bei nichtbindigen oder weichen bindigen Böden,

$\beta = 60^\circ$ bei steifen oder halbfesten bindigen Böden,

$\beta = 80^\circ$ bei Fels.

Als Fels können gegebenenfalls auch felsartige, in bodenmechanischem Sinne feste bindige Böden angesehen werden, wenn sich unter der Einwirkung von Oberflächenwasser ihre Festigkeit nicht vermindert.

Geringere Wandhöhen als 1,25 m bzw. 1,75 m oder flachere Böschungen als angegeben sind vorzusehen, wenn besondere Einflüsse die Standsicherheit der Baugrubenwand gefährden. Solche Einflüsse können z. B. sein:

- Störungen des Bodengefüges wie Klüfte oder Verwerfungen,
- zur Einschnittssohle hin einfallende Schichtung oder Schieferung,
- nicht oder nur wenig verdichtete Verfüllungen oder Aufschüttungen,
- erhebliche Anteile an Seeton, Beckenschluff oder organischen Bestandteilen,
- Grundwasserabsenkung durch offene Wasserhaltung,
- Zufluss von Schichtenwasser,
- nicht entwässerte Fließsandböden,
- Verlust der Kapillarkohäsion eines nichtbindigen Bodens durch Austrocknen,
- Erschütterungen aus Verkehr, Rammarbeiten, Verdichtungsarbeiten oder Sprengungen.

Darüber hinaus kann die Oberfläche einer Böschung durch Wasser, Trockenheit oder Frost gefährdet werden. Am ungünstigsten wirken sich die Niederschläge aus. Dabei ist es jedoch selten der unmittelbar auf die Böschung fallende Regen, der ihre Standsicherheit bedroht. Selbst einen gewaltigen Gewitterregen übersteht eine

Baugrubenböschung im Allgemeinen ohne größeren Schaden. Lediglich im unteren Bereich hoher Böschungen bilden sich im Laufe der Zeit kleinere Erosionsrinnen, die sich aber vermeiden lassen, indem man die Böschung mit Plastikfolien abdeckt, sie mit Zementmilch oder Bitumen bespritzt oder eine Betonschicht aufbringt, gegebenenfalls mit einer Bewehrung aus Baustahlmatten. Befindet sich jedoch neben der oberen Böschungskante eine Geländemulde, in der sich größere Wassermengen sammeln, dann läuft das angestaute Wasser an der niedrigsten Stelle der Böschungsschulter über, nagt sie dabei an, erweitert diese Stelle immer mehr und reißt schließlich sturzbachartig eine tiefe Rinne in die Böschung. Besteht diese Gefahr, dann legt man an diesen Stellen Rinnen an, die das Regenwasser unmittelbar einer Wasserhaltungsanlage zuführen. Ähnliche Verhältnisse liegen vor, wenn oberhalb eines Baugrubeneinschnitts eine größere geneigte Fläche anschließt. Hier sollte das ankommende Oberflächenwasser in einem Abfanggraben mit dichter Sohle oberhalb der Baugrubenböschung gesammelt und dem Vorfluter oder der Wasserhaltungsanlage zugeleitet werden.

Die Standsicherheit unverbauter Wände ist rechnerisch nach DIN 4084 „Geländebruchberechnungen“ oder durch Sachverständigengutachten nachzuweisen, wenn

- a) eine Böschung mehr als 5 m hoch ist;
- b) bei senkrechten Wänden die oben genannten Voraussetzungen nicht erfüllt sind;
- c) eine Böschung steiler ist als oben angegeben, wobei allerdings bei Baugruben und Gräben, die betreten werden, eine Böschungsneigung von mehr als 80° bei nichtbindigen oder bindigen Böden bzw. von mehr als 90° bei Fels auf keinen Fall zulässig ist;
- d) die oben angegebenen Böschungswinkel wegen störender Einflüsse nicht angewendet werden dürfen, die zulässige Wandhöhe bzw. die zulässige Böschungsneigung jedoch nicht nach vorliegenden Erfahrungen zuverlässig festgelegt werden kann;
- e) vorhandene Gebäude, Leitungen, andere bauliche Anlagen oder Verkehrsflächen gefährdet werden können;
- f) das Gelände neben der Graben- bzw. Böschungskante stark ansteigt oder unmittelbar neben dem Schutzstreifen von 0,60 m eine stärker als 1:2 geneigte Erdaufschüttung bzw. Stapellasten von mehr als 10 kN/m² zu erwarten sind;
- g) Straßenfahrzeuge mit Gesamtgewichten und Achslasten nach der Straßenverkehrszulassungsordnung (StVZO) sowie Baumaschinen oder Baugeräte bis zu 12 t Gesamtgewicht nicht einen Abstand von mindestens 1,00 m zwischen der Außenkante der Aufstandsfläche und der Baugruben- bzw. Grabenkante einhalten;
- h) Straßenroller und andere Schwertransportfahrzeuge sowie Bagger oder Hebezeuge von mehr als 12 t bis 40 t Gesamtgewicht nicht einen Abstand von mindestens 2,00 m zwischen der Außenkante der Aufstandsfläche und der Baugruben- bzw. Grabenkante einhalten.

Böschungen, die steiler geneigt sind als oben angegeben, müssen regelmäßig überprüft und gegebenenfalls abgeräumt werden. Dies gilt insbesondere nach längeren Arbeitsunterbrechungen, nach starken Regen- oder Schneefällen, nach dem Lösen

größerer Erd- oder Felsmassen, bei einsetzendem Tauwetter und nach Sprengungen oder anderen dynamischen Einwirkungen, bei denen eine Desintegration des Gefüges möglich ist.

In der 2. Auflage von „Baugruben – Berechnungsverfahren“ [214] sind ausführlich verschiedene Möglichkeiten zum Nachweis der Standsicherheit von Böschungen beschrieben. Besonders einfach und für Vorermittlungen geeignet ist das von *Weißbach* vorgeschlagene Tabellenverfahren. Bei waagerechter Geländeoberfläche, durchgehend gleicher Böschungsneigung β und homogenem Boden mit Wichte γ können die von *Fellenius* [52], *Krey/Ehrenberg* [109] und *Schultze* [162] aufgestellten Kurventafeln verwendet werden. In Tabelle 20.5.1 ist eine zahlenmäßige Auswertung der Kurventafel von *Krey/Ehrenberg* [109] wiedergegeben. Man erhält mit den dort angegebenen Werten f_β für eine vorgegebene Böschungsneigung in Abhängigkeit vom Reibungswinkel φ und der Kohäsion c die Grenztiefe der Baugrube bzw. des Grabens aus

$$H_{\text{gr}} = f_\beta \cdot \frac{c}{\gamma} \quad (1.1)$$

sofern keine großflächige Auflast zu berücksichtigen ist. Die zulässige Grenzhöhe ergibt sich, wenn die Bemessungswerte des Reibungswinkels und der Kohäsion zugrunde gelegt werden, siehe Beispiel in Abschnitt 19.1. Die Beispiele in Abschnitt 19.2 beziehen sich auf das lamellenfreie Gleitkreisverfahren nach *Krey* (s. Baugruben, 2. Auflage), nach *Fröhlich* (s. DIN 4084:2009-01) und nach *Goldscheider* (s. [56] und DIN 4084/A1:2017).

1.3 Grabenverbau

1.3.1 Waagerechter Grabenverbau

Baugruben und Gräben sind zu verbauen, wenn nicht nach den Angaben des Abschnitts 1.2 gearbeitet wird. Für die Gräben, die zur Herstellung von Leitungen und Kanälen benötigt werden, kann der waagerechte Grabenverbau nach Bild 1.2 verwendet werden. Er ist zweckmäßig und wirtschaftlich, wenn der Graben nicht zu breit und nicht zu tief ist und wenn die zahlreichen Steifen den Arbeitsvorgang nicht zu sehr behindern. Damit der Graben mit waagerechten Bohlen gesichert werden kann, muss der Boden so standfest sein, dass er mindestens auf die Tiefe einer Bohlenbreite frei abgeschachtet werden kann, ehe die nächste Bohle eingezogen wird. Das Freilegen des Bodens auf eine größere Tiefe als zwei Bohlenbreiten ist nicht zulässig. Die freigelegte Stelle darf nur kurzfristig unverkleidet bleiben. Mit dem Einbau der Bohlen ist spätestens zu beginnen, wenn die Tiefe von 1,25 m erreicht ist.

Die Bohlen müssen feldweise gleich lang sein und durch senkrechte Aufrichter – auch Brusthölzer oder Laschen genannt – gefasst werden, die in Bohlenmitte und in der Nähe der Bohlenenden angeordnet sind. Der sogenannte Blattstoß – ein einziger Aufrichter, der über die anstoßenden Enden benachbarter Bohlen greift – ist nicht zulässig. Die Aufrichter müssen mindestens von zwei Steifen gestützt

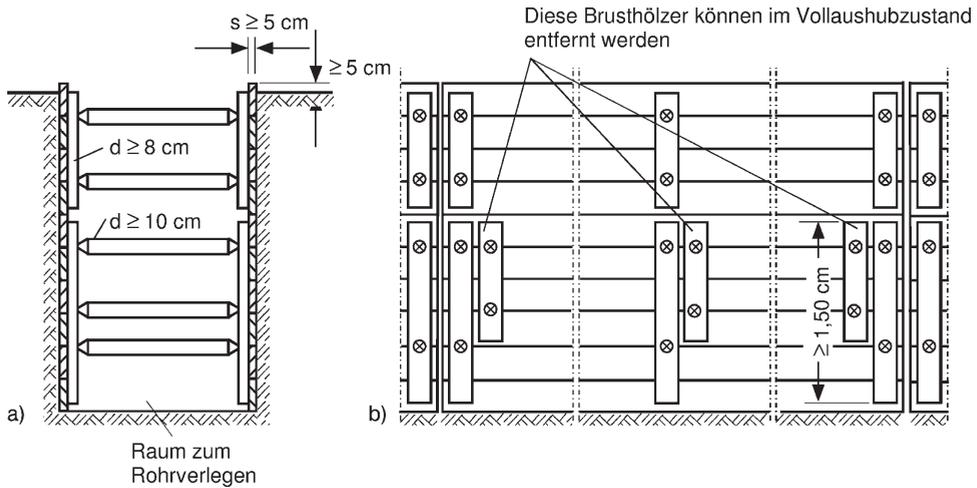


Bild 1.2 Waagerechter Grabenverbau (ohne Darstellung der Befestigungsmittel);
a) Querschnitt, b) Längsschnitt

werden. In trockenen oder gleichkörnigen nichtbindigen Böden, bei denen die Gefahr des Ausrieselns besteht, sowie in Feinsand- und Schluffböden, bei denen Fließerscheinungen zu befürchten sind, müssen die Aufrichter jeweils von der Geländeoberfläche bis zur Baugrubensohle durchlaufen, um einem Einsturz der Baugrube vorzubeugen. Zur Aussteifung von Aufrichtern verwendet man Rundholzsteifen oder stählerne Kanalstreben (Bild 1.3). Sie sind gegen seitliches Verschieben und gegen Herabfallen zu sichern. Bei den Kanalstreben aus Stahl sind dazu die Ecken der Endplatten zu Krallen aufgebogen, die sich in das Holz der Aufrichter eindrücken. Holzsteifen werden in der Regel durch Spitzklammern gesichert.

Die Tragfähigkeit der üblichen Brusthölzer 8 cm × 16 cm bzw. 12 cm × 16 cm lässt nur einen verhältnismäßig kleinen Kragarm zu, sodass im Allgemeinen nur Rohre bis zu einem Durchmesser von 40 bzw. 60 cm verlegt werden können. Soll auch bei größeren Rohren der waagerechte Grabenverbau beibehalten werden, dann müssen nach dem Erreichen der Baugrubensohle stärkere Brusthölzer oder besondere Aussteifungsrahmen eingebaut werden, die den unteren Bereich der Baugrube steifenfrei halten. Die Aussteifungsrahmen bestehen aus zwei HE-B-Trägern, einer Steife und einem Zuggurt mit Spannschloss [203]. Damit lässt sich ein Arbeitsraum von 1 bis 2 m Höhe freihalten. Hierzu siehe auch DIN 4124 „Baugruben und Gräben“. Zum Ausbau der Bohlen beim Verfüllen der Baugrube werden die Ausstei-

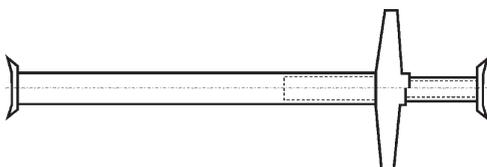


Bild 1.3 Leichte Kanalstrebe für den waagerechten Grabenverbau

fungsrahmen abschnittsweise höher gesetzt, bis die im oberen Bereich eingebauten Brusthölzer und Steifen allein ausreichen. Eine gegenseitige Störung der Brusthölzer und der Aussteifungsrahmen tritt nicht ein, wenn sie versetzt nebeneinander angeordnet werden.

Beim Rückbau darf die Baugrubenverkleidung abschnittsweise entfernt werden, sobald sie durch das Verfüllen der Baugrube entbehrlich wird. Die Bohlen sind im Allgemeinen einzeln auszubauen, sodass ein Einbrechen oder eine Sackung des Bodens vermieden wird. Soweit erforderlich, sind entsprechende Umsteifungen vorzunehmen oder zusätzliche Aufrichter und Steifen einzubauen, um die jeweils noch verbleibenden Bohlen zu sichern.

Auf einen Standsicherheitsnachweis für die Einzelteile kann verzichtet werden, wenn der Normverbau nach DIN 4124 „Baugruben und Gräben“ verwendet wird. Lediglich die Tragfähigkeit der verwendeten Kanalstreben ist anhand der Herstellerangaben zu belegen. Im Übrigen finden sich in dieser Norm alle erforderlichen Angaben über Mindestabmessungen und Güteanforderungen für Bohlen, Aufrichter und Steifen.

1.3.2 Senkrechter Grabenverbau

Sofern ein großer freier Arbeitsraum zwischen der untersten Aussteifung und der Baugrubensohle benötigt wird oder der Boden nicht so standfest ist, dass nach dem abschnittswisen Ausschachten jeweils Bohle um Bohle waagrecht eingebaut werden kann, dann kann es zweckmäßig sein, zum Verkleiden eines Leitungsgrabens einen senkrechten Grabenverbau nach Bild 1.4 anzuordnen. Sofern sich dabei die Bohlen nicht von vornherein in voller Länge einbringen lassen, rammt man sie mit dem Fortschreiten der Ausschachtung jeweils weiter nach. Bei trockenen, locker gelagerten nichtbindigen Böden sowie bei weichen bindigen Böden, die einen waagerechten Verbau nicht zulassen, müssen die Bohlen in jedem Bauzustand so weit in den Untergrund einbinden bzw. dem Aushub folgend nachgetrieben werden, dass ein Aufbruch ausgeschlossen ist. Wird der senkrechte Verbau bei Böden angewendet, die auch ein Verkleiden mit waagerechten Bohlen zulassen, dann kann auf eine Einbindung in den Untergrund verzichtet werden, es sei denn, dass sie aus statischen Gründen erforderlich ist.

Holzbohlen kommen als Verkleidung der Grabenwand im Allgemeinen nur infrage, wenn sie dem Aushub nachfolgen können. Stählerne Kanaldielen müssen in ihrer ganzen Länge die gleiche Form haben und an die benachbarten Dielen nach dem Eintreiben gut anschließen. Verbeulte oder verbogene Dielen dürfen nicht verwendet werden. Das Gleiche gilt für Leichtspundwände, Tafelprofile, Rammbleche und dergleichen. Besteht die Gefahr, dass die unvermeidbaren Ritzen den anstehenden Boden in den Graben eindringen lassen, so sind sie durch Holzwolle oder Ähnliches zu verschließen. Ist die Baugrube tiefer als die Holzbohlen oder Kanaldielen lang sind, dann muss der Verbau in Staffeln eingebracht werden (Bild 1.5). Die dabei eintretende Verengung der Baugrube lässt sich durch Pfändung vermeiden. Die Bohlen oder Kanaldielen werden dazu schräg nach außen geneigt eingetrieben.

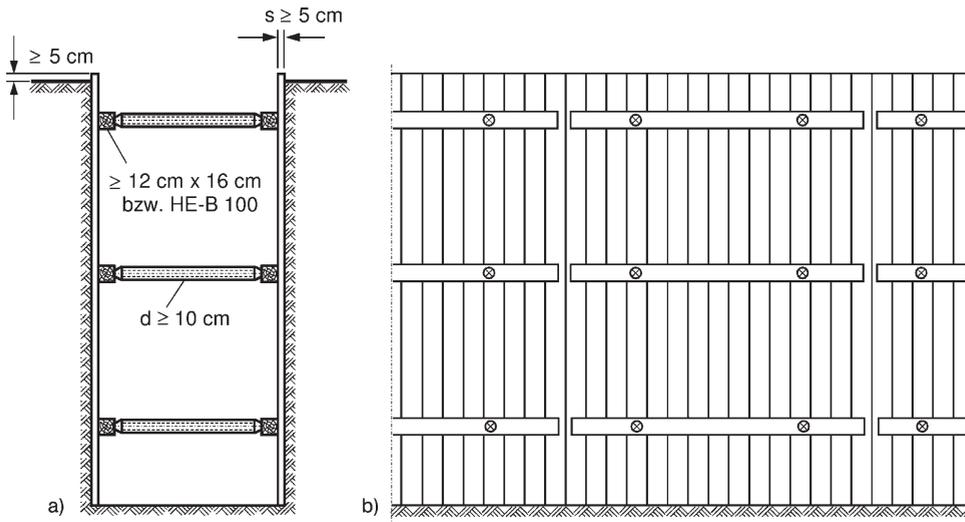


Bild 1.4 Senkrechter Grabenverbau (ohne Darstellung der Befestigungsmittel);
a) Querschnitt, b) Längsschnitt



Bild 1.5 Senkrechter Grabenverbau
mit gestaffelten Kanaldielen
(Foto: Hoesch AG, Dortmund)

Die Gurthölzer bzw. Gurträger müssen der Neigung der Bohlen und Kanaldielen angepasst und geneigt eingebaut werden. Diese Ausführungsart ist unter dem Namen „Kölner Verbau“ bekannt.

Gurt- bzw. Rahmenhölzer und Gurträger sind durch Hängeisen, Ketten oder andere gleichwertige Vorrichtungen an der Baugrubenwand anzuhängen. Sind die

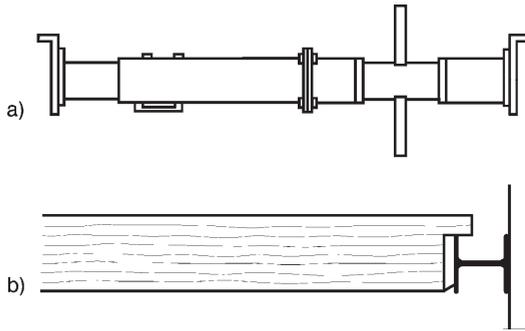


Bild 1.6 Aussteifungsmittel für den senkrechten Grabenverbau; a) Kanalstrebe, b) Holzstreife mit angeschnittener Auflager Nase

Holzbohlen oder Kanaldielen nicht in der Lage, das Eigengewicht der Gurthölzer und der Steifen in den Untergrund abzutragen, dann sind in Geländehöhe Unterlagshölzer anzuordnen und die Gurthölzer an ihnen aufzuhängen. Die Unterlagshölzer müssen in die Geländeoberfläche eingelassen oder mit Material eingebnet werden.

Als Steifen werden im Allgemeinen Rundhölzer oder Kanalstreben verwendet (Bild 1.6). Rundhölzer werden oft mit Bügeln aus entsprechend gebogenem Rundstahl am Außenflansch von HE-B-Gurten aufgehängt und von oben verkeilt. Klinkt man die Rundhölzer am Auflager aus oder nagelt man überstehende Laschen auf, so kann man sie mit der so entstehenden Nase auf den Gurt auflegen, muss dafür aber Schwierigkeiten beim Verkeilen in Kauf nehmen. Wirtschaftlich und in der Handhabung bequem sind Kanalstreben und Holzsteifen mit Universalspindeln, wenn sie mit Auflagerwinkeln versehen sind. Allerdings müssen die Auflagerwinkel so verstellbar sein, dass Steifenachse und Stegachse des Gurtes in der gleichen Höhe liegen. Eine Grobeinstellung der Kanalstreben lässt sich innerhalb gewisser Grenzen durch Steckbolzen und eine Feineinstellung durch die Spindel erzielen.

Üblicherweise werden die Dielen eines senkrechten Verbaus erst gezogen, wenn der Graben vollständig verfüllt ist und die Aussteifungsrahmen ausgebaut sind. Der entstehende Spalt von einigen Millimetern Dicke wird dabei hingegenommen. Soll eine einwandfreie Verzahnung zwischen Füllboden und Grabenwand erzielt werden, z. B. mit Rücksicht auf die Bemessung von Rohrleitungen, dann dürfen die einzelnen Dielen nur abschnittsweise und jeweils nur so hoch gezogen werden, dass im freigelegten Teil des Grabens der Füllboden lagenweise eingebracht und verdichtet werden kann. Bei Gräben neben Gebäuden belässt man die Kanaldielen auf der Hausseite in der Regel im Boden, mit Ausnahme der obersten 2 m, die entfernt werden, damit Anschlüsse der Leitungen möglich sind.

Wenn der Normverbaue nach DIN 4124 „Baugruben und Gräben“ verwendet wird, kann auf einen Standsicherheitsnachweis verzichtet werden. Lediglich die Tragfähigkeit der verwendeten Kanalstreben ist anhand der Herstellerangaben zu belegen. Im Übrigen enthält diese Vorschrift alle erforderlichen Angaben über Mindestabmessungen und Güteanforderungen für die Einzelteile des Verbaus.

1.3.3 Grabenverbaugeräte

In vorübergehend standfesten Böden dürfen Gräben von mehr als 1,25 m Tiefe maschinell ohne Abböschung oder Verbau ausgehoben werden, sofern dadurch weder Personen, Gebäude, Leitungen noch andere bauliche Anlagen gefährdet werden. Diese Gräben dürfen jedoch erst betreten werden, nachdem unter besonderen Sicherheitsmaßnahmen ein fachgerechter Grabenverbau eingebracht ist. Als vorübergehend standfest wird ein Boden bezeichnet, wenn der freigelegte Bereich der Grabenwand in der kurzen Zeit, die zwischen dem Beginn der Ausschachtung und dem Einbringen des Verbaus verstreicht, keine wesentlichen Einbrüche aufweist. Dies ist in aller Regel nur bei mindestens steifen bindigen Böden und felsartigen Böden der Fall. Die Forderung nach besonderen Sicherheitsmaßnahmen ist erfüllt, wenn der Verbau unter Einsatz von Geräten eingebracht wird, die von der Prüf- und Zertifizierungsstelle im BG-PRÜFZERT der Fachausschüsse Bau (BAU) und Tiefbau (TB) der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft in sicherheitstechnischer Hinsicht überprüft und als geeignet beurteilt worden sind, und die Betriebsanleitungen sowie die Forderungen der genannten Prüfstelle zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit eingehalten werden.

Die technische Entwicklung der Grabenverbaugeräte begann mit den Verbauhilfsgeschäften, in deren Schutz von oben her ein herkömmlicher waagerechter oder senkrechter Verbau eingebracht wurde, bevor der Graben selbst betreten wurde. Es folgten fertige Verbaueinheiten, die vom Bagger in den offenen Graben eingesetzt und dann von innen her gegen die Grabenwände gedrückt werden. Beide Verfahren setzen voraus, dass die Grabenwände zumindest so lange auf voller Aushubtiefe stehen bleiben, bis der Verbau in der Lage ist, die Stützung zu übernehmen. Für Böden, die nur über eine geringe Höhe vorübergehend standfest sind, wurden im nächsten Entwicklungsschritt Verbaueinheiten aus großformatigen Stahlverbauplatten und Kanalstreben entwickelt, die im Absenkverfahren eingebracht werden können. Beim herkömmlichen Absenkverfahren werden die beiden gegenüberliegenden Verbauplatten jeweils abwechselnd dem Aushub folgend entsprechend Bild 1.7 in den Boden gedrückt. Damit sich die mit diesem Bauvorgang verbundene abwechselnde Verengung und Ausweitung der Verbaueinheit in vertretbaren Gren-

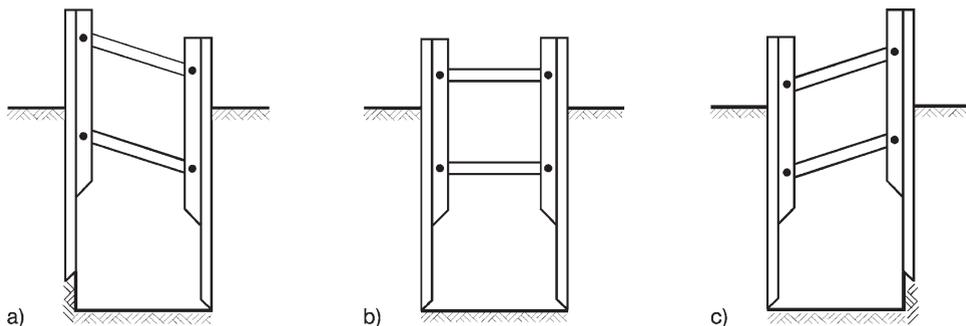


Bild 1.7 Absenkverfahren mit großformatigen Stahlverbauplatten; a) rechte Seite abgesenkt, b) beide Seiten gleich tief, c) linke Seite abgesenkt

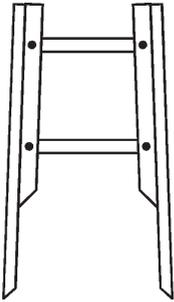


Bild 1.8 Voreinstellung der Verbaueinheit

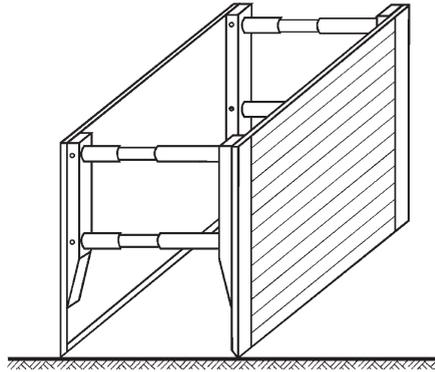


Bild 1.9 Randgestützte Stahlverbauplatten

zen hält, ist die zulässige Strebenneigung auf maximal 1:20 begrenzt worden. Um zu verhindern, dass sich die Verbaueinheit beim Absenken im Boden einklemmt, werden die Streben zu Beginn der Absenkung entsprechend Bild 1.8 so eingestellt, dass der Abstand der Platten unten größer ist als oben. Die Folge davon ist eine Auflockerung des anstehenden Bodens, die erheblich über das Maß hinausgeht, welches beim herkömmlichen waagerechten oder senkrechten Grabenverbau zu erwarten ist. Die verschiedenen im Einsatz befindlichen Gerätetypen lassen sich wie folgt einteilen:

1. Bei den unmittelbar gestützten Verbauplatten bilden die Platten mit den senkrechten Traggliedern und den Kanalstreben eine Einheit. Sie eignen sich entsprechend ihrer Höhe insbesondere für Grabentiefen bis zu etwa 2,5 m, größere Tiefen sind möglich, wenn im Zuge des weiteren Aushubs Aufsatzstücke aufgesetzt werden. Eine natürliche Grenze für die erreichbare Tiefe setzen die Reibungskräfte, die beim Eindrücken und später beim Ziehen der Platten überwunden werden müssen. Für das Absenkverfahren sind nur randgestützte Platten zugelassen (Bild 1.9).
2. Beim Einfachgleitschienenverbau sind Kanalstreben und senkrechte Tragglieder zu rahmenförmigen Einheiten zusammengefasst. Die senkrechten Tragglieder sind als Gleitschienen ausgebildet, in denen die Verbauplatten geführt werden (Bild 1.10). Da die Gleitschienen und die Verbauplatten in getrennten Arbeitsgängen in den Boden gedrückt werden, sind die zu überwindenden Reibungskräfte geringer als bei den unmittelbar gestützten Verbauplatten. Dadurch sind mithilfe von Aufsatzteilen größere Grabentiefen erreichbar.
3. Beim Doppelgleitschienenverbau sind in den senkrechten Traggliedern zwei Nuten angeordnet, sodass die Verbauplatten in zwei verschiedenen Ebenen geführt werden können (Bild 1.11). Auf diese Weise beschränken sich die Kräfte beim Eindrücken bzw. beim Ziehen der Platten auf den Anteil von maximal der halben Grabentiefe. Damit können Gräben bis zu 6 m Tiefe verbaut werden.

Um die mit dem Einsatz von Verbaueinheiten verbundenen Probleme zu verringern, sind folgende Neuentwicklungen auf den Markt gekommen:

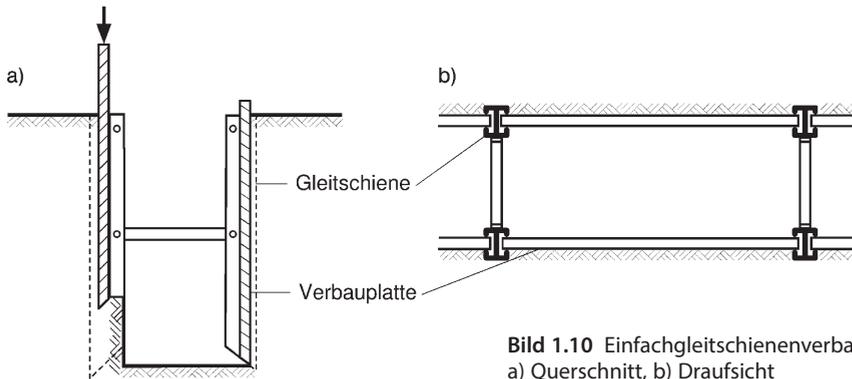


Bild 1.10 Einfachgleitschienenverbau;
a) Querschnitt, b) Draufsicht

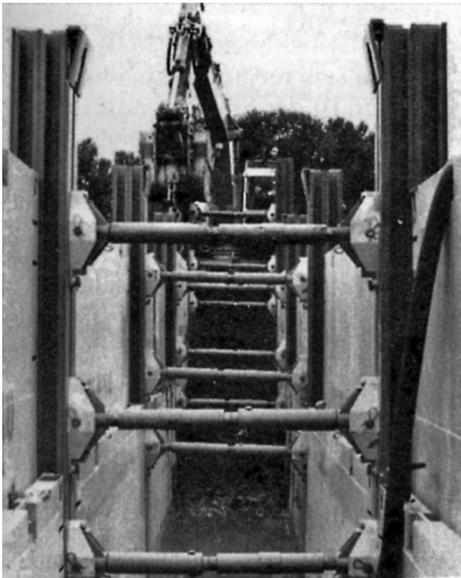


Bild 1.11 Doppelgleitschienenverbau
(Foto: KVH Verbautechnik GmbH, Heinsberg)

- a) Der Umgang mit den schweren Stahlteilen erfordert den Einsatz von kräftigen Hydraulikbaggern. Durch den Einsatz von Aluminium können die Einzelteile für Gräben bis 2 m Tiefe von Hand bewegt werden, bei Grabentiefen bis zu 3 m genügt der Einsatz von Kleinbaggern. Dies ist insbesondere bei beengten Platzverhältnissen von Vorteil.
- b) Auch beim Doppelgleitschienenverbau sind wegen der großen Reibungskräfte, die beim Eindrücken und beim Rückbau der Platten zu überwinden sind, nur begrenzte Baugrubentiefen erreichbar. Der Anwendungsbereich wurde durch die Entwicklung von Dreifachgleitschienen auf etwa 9 m erweitert.
- c) Der im Bild 1.7 beschriebene Bauvorgang führt insbesondere im Zusammenwirken mit der leicht A-förmigen Voreinstellung der Platten bzw. der Gleitschienen nach Bild 1.8 zu einer Auflockerung des Bodens, wodurch benachbarte Leitun-

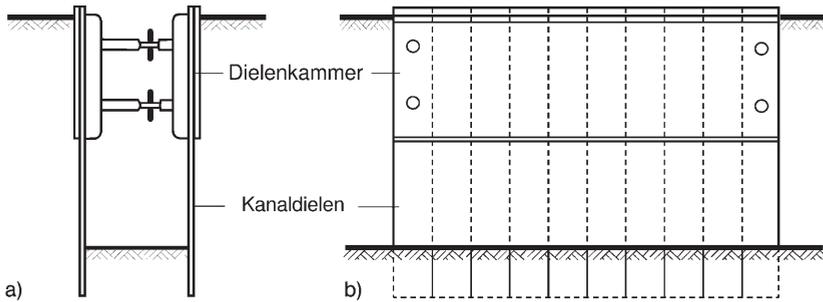


Bild 1.12 Dielenkammerelemente; a) Querschnitt, b) Längsschnitt

gen, gegebenenfalls auch Bauwerke, beschädigt werden. Durch die Entwicklung von Gleitschienenverbaugeräten mit senkrecht beweglichen, rechtwinkligen Aussteifungsrahmen wird eine parallele Führung der Verbauplatten in den Gleitschienen erzwungen und eine Auflockerung des Bodens vermieden. Je nach Hersteller werden die Aussteifungsrahmen als Laufwagen, Rollenschlitten oder Fahrwagen bezeichnet. Das System als Ganzes nennt sich Linearverbau, Parallelverbau oder Rollenschlittenverbau.

Ein Mittelding zwischen Verbauhilfsgerät und fertiger Verbaueinheit stellen die Dielenkammer-Elemente dar, die etwas unterhalb der Geländeoberfläche als feste Aussteifungsrahmen eingebaut, aber von oben her mit Kanaldielen bestückt werden (Bild 1.12). Je nach Tiefe sind noch weitere waagerechte Gurtungen oder eine Einbindung im Boden unterhalb der Baugrubensohle erforderlich.

Schwierigkeiten treten in der Regel bei kreuzenden Leitungen auf. Wenn diese nicht vorübergehend umgelegt werden können, verbleibt zwangsläufig zwischen den Verbaueinheiten eine Lücke, die in herkömmlicher Weise mit waagrecht verbaut geschlossen werden muss. Auch die Stirnseiten der Grabenabschnitte sind zu verbauen, wenn nicht die Voraussetzungen für das Anlegen einer steilen Böschung vorliegen. Dafür sind bei den Gleitschienenverbaugeräten mit beweglichen Aussteifungsrahmen besondere Eckschienen entwickelt worden, in denen Verbauplatten abgesenkt werden können. Mit diesen Eckschienen lassen sich auch rechtwinklige Schächte herstellen.

1.4 Spundwände

Der Spundwandverbau ist ein senkrechter Verbau mit Bohlen, welche aus Stahl, Holz oder Stahlbeton hergestellt sind. In den meisten Bauprojekten wird Stahl als Material verwendet. Holz- und Stahlbetonspundwände sind seltener, da sie nicht über die Zugfestigkeit verfügen, die zwischen den Bohlen vorhanden sein muss, um Dichtigkeitsanforderungen und Tragfähigkeitsanforderungen zu erfüllen. Bei Holz- und Stahlbetondielen wird die Spundung als eine Art Nut-Feder-System konstruiert, welches speziell bei Stahlbetonspundwänden, die in Schlitzwandbauweise hergestellt werden, nachträglich an den Fugen verpresst werden kann.

Von einer Holzspundung sollte aufgrund der Fäulnis speziell im Bereich wechselnder GW-Horizonte sowie bei tropischen Hölzern aus Umweltschutzgründen Abstand genommen werden.

Stählerne Spundbohlen haben sich wegen des Ineinandergreifens der Schlösser, die annähernd eine Wasserdichtigkeit aufweisen, und wegen des großen Widerstandswerts zur Überbrückung großer Stützweiten durchgesetzt (z. B. Larssen). Im Allgemeinen werden U- und Z-Profile verwendet (Bild 1.13a). Wegen der guten Rammereigenschaften werden oft U-Profile bevorzugt. Beim Ziehen der Bohlen wirkt sich günstig aus, wenn das Schloss im Bereich der geringsten Verzerrungen (neutrale Faser) liegt. Allerdings ist bei diesen Bohlen die Aufnahme von Schubspannungen in den Schlössern nicht immer gewährleistet. Eine effektive Wirkung der Schubspannungen wird erzielt, wenn zumindest jede zweite Bohle werkseitig durch Zusammenziehen der Schlösser verbunden und als Doppelbohle gerammt wird.

Vor allem dann, wenn die Bohlen in tonigem Boden gerammt werden, ist mindestens jedes zweite Schloss zu verschweißen, um die Übertragung größerer Schubspannungen sicherzustellen. Alternativ können bei Herstellung der Spundwand aus Einzelbohlen bei schwer rambbarem Boden die Schlösser mit dem Aushub fortlaufend verschweißt werden. Bei einer Rammung in Kies-, Sand- oder Grobschluffböden genügte früher zur Aufnahme der auftretenden Schubspannungen oft die werkseitige Verpressung der Schlösser, bei geringer Schubbeanspruchung sogar die Schlossreibung. Die DIN EN 1993-5/NA setzt hier neuerdings deutlich strengere Maßstäbe.

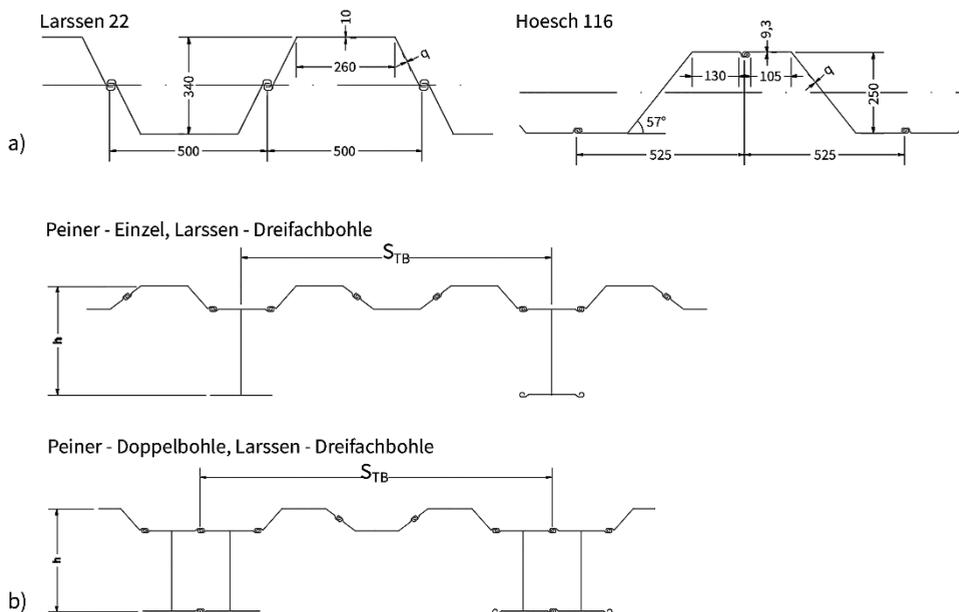


Bild 1.13 a) Schlossanordnung bei U- und bei Z-Profilen, b) zusammengesetzte Spundwandprofile (kombinierte Trägerpfahlwände)

Z-Profile werden oft bei Spundwänden eingesetzt, bei denen hohe Biegemomente auftreten. Winkelprofile als hochstegige U- oder Z-Profile werden bei besonders großen Biegemomenten erforderlich. Solche Profile, wie auch Stahlspundwände aus gemischten Profilen (Bild 1.13b), die ursprünglich aus dem konstruktiven Wasserbau stammen, werden bei extrem tiefen Baugruben eingesetzt, wenn die aufzunehmenden Biegemomente sehr groß sind. Bei gemischten Profilen dienen die Trägerpfähle (Peiner-Profile) zur Lastabtragung. Das System ist ähnlich dem Trägerbohlverbau. Diese Trägerpfähle werden durch die waagerechte Erddruckumlagerung mehr belastet (steifere Teile) als die Füllbohlen. Durch die Entlastung sind die Füllbohlen nur für einen Resterdruk und den Wasserdruck zu bemessen und brauchen daher im Allgemeinen auch nur bis zum Belastungsnullpunkt oder der Tiefe gerammt zu werden, bis zu der Wasser abgesperrt werden soll.

Bei den gemischten Peiner Stahlspundwänden werden die Schlösser aus rammtechnischen Gründen in der Regel zusammen mit den Zwischenbohlen gerammt. Sie tragen dann nicht zur Verstärkung der Tragbohlen bei. Die Tragbohlen können aber auch mittels aufgezogener und angeschweißter Schlösser oder angeschweißter Lamellen dem Momentenverlauf günstig angepasst werden. Diese Maßnahme führt bei schwer beanspruchten Wänden zu weiteren wirtschaftlichen Vorteilen.

In Zweifelsfällen ist statisch nachzuweisen, dass die auf die Zwischenbohlen wirkenden waagerechten Lasten in die Trägerbohlen übergeleitet werden können. Dieser Nachweis ist besonders wichtig, wenn große Wasserüberdruckbelastungen auftreten, da bei diesen keine Verspannungsmöglichkeit von Tragbohle zu Tragbohle besteht. Das Systemmaß der Tragbohlen S_{TB} ergibt sich aus den Abmessungen der Tragbohlen und dem Systemmaß der Zwischenbohlen S_{ZB} (Bild 1.13b). Zur Einleitung lotrechter Lasten erhalten die Tragbohlen eine besondere Kopfausrüstung.

Verbundwände (Bild 1.13b) werden in der Regel durch sinnvolles Aneinanderfügen gebräuchlicher Profile zum Zwecke einer Erhöhung der Tragfähigkeit durch Verbundwirkung (zusammengesetzte Spundwand in Winkelanordnung) oder durch angeschweißte Randschlösser und dergleichen gebildet. Soll mit vollem Verbund gerechnet werden, muss der Gesamtquerschnitt sich auch tatsächlich an der Aufnahme der Hauptbeanspruchung beteiligen. Hierbei muss sowohl der Nachweis für die Momenten- als auch für die Querkraftaufnahme geführt werden. Außerdem ist, abhängig vom Tragsystem, die Einleitung der waagerechten Kräfte in das Haupttragsystem nachzuweisen. Wird der Verbund nicht durch konstruktive Maßnahmen nachweisbar voll herbeigeführt, ist mit einem verminderten Verbund und notfalls nur mit dem Widerstandsmoment der Einzelelemente zu rechnen.

Spundwandprofile werden nach DIN EN 10248 (warmgewalzte Spundbohlen) und DIN EN 10249 (kaltgeformte Spundbohlen) gefertigt. Die üblichen Stahlsorten sind S 240 P und S 355 GP und in der Regel als Lagerware vorhanden. In Sonderfällen (bei schwierigen Schweißarbeiten, räumlichen Spannungszuständen und bei dynamischen Beanspruchungen) sind doppelt beruhigte oder hochfeste Stähle zu verwenden.