

# 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 wasserdurchlässiger 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:

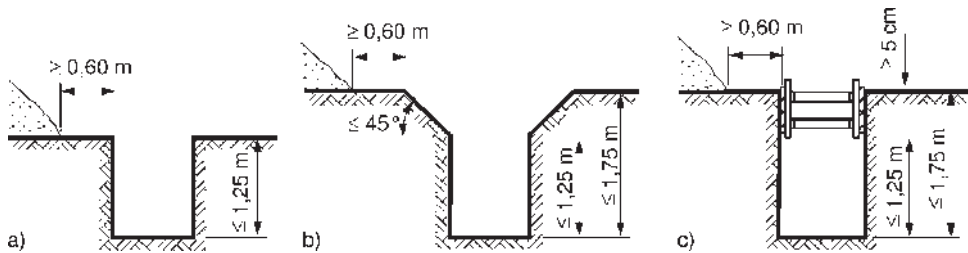
- Spundwandverbau,
- Trägerbohlwandverbau,
- Massiver Baugrubenverbau, z. B. Bohrpfahlwände oder Schlitzwände,
- Injektionswände, Gefrierwände,
- Mixed-in-Place Wände.

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 abgeböschten 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/m<sup>2</sup> 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  $\beta$  und homogenem Boden mit Wichte  $\gamma$  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  $f_\beta$  für eine vorgegebene Böschungsneigung in Abhängigkeit vom Reibungswinkel  $\varphi$  und der Kohäsion  $c$  die Grenztiefe der Baugrube bzw. des Grabens aus

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

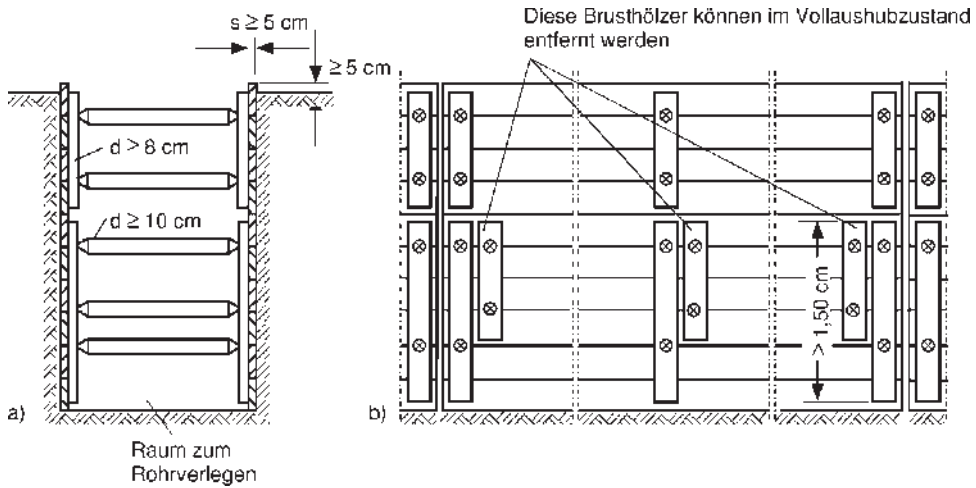
sofern keine großflächige Auflast zu berücksichtigen ist. Die zulässige Grenzhöhe ergibt sich, wenn die Bemessungswerte des Reibungswinkels und der Kohäsion zugrunde gelegt werden, siehe Beispiel in Abschnitt 19.1. Die Beispiele in Abschnitt 19.2 beziehen sich auf das lamellenfreie Gleitkreisverfahren 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.

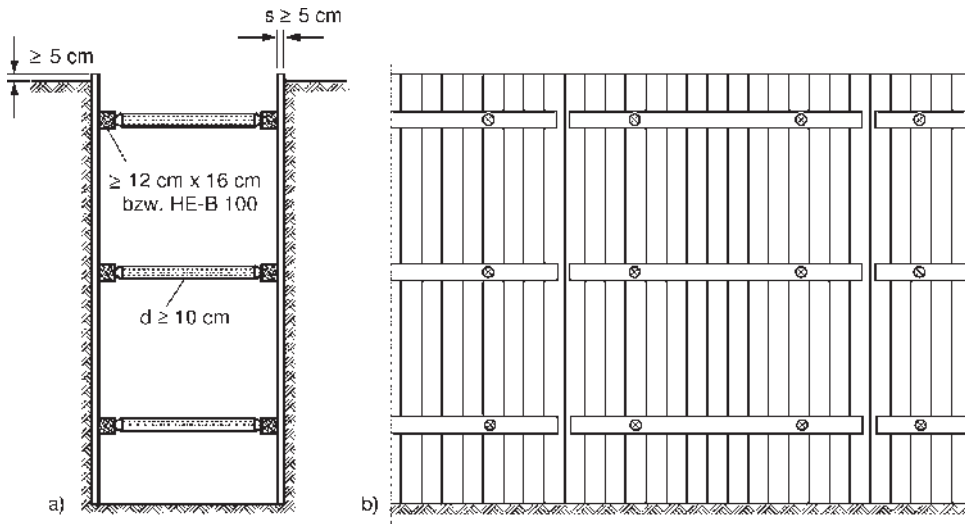
Beim Rückbau darf die Baugrubenverkleidung abschnittsweise entfernt werden, sobald sie durch das Verfüllen der Baugrube entbehrlich wird. Die Bohlen sind im Allgemeinen einzeln auszubauen, sodass ein Einbrechen oder eine Sackung des Bodens vermieden wird. Soweit erforderlich, sind entsprechende Umsteifungen 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

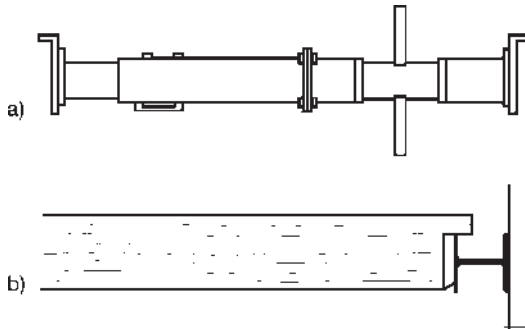


**Bild 1.5** Senkrechter Grabenverbau  
mit gestaffelten Kanaldielen  
(Foto: Hoesch AG, Dortmund)

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) Holzsteife mit angeschnittener Auflagernase

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 eingeebnet 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.

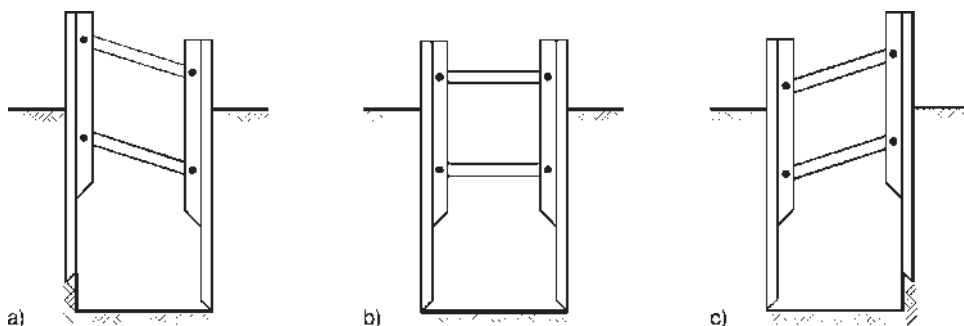
Wenn der Normverbau nach DIN 4124 „Baugruben und Gräben“ verwendet wird, kann auf einen Standsicherheitsnachweis verzichtet werden. Lediglich die Tragfähigkeit der verwendeten Kanalstreben ist anhand der Herstellerangaben zu belegen. Im Übrigen enthält diese Vorschrift alle erforderlichen Angaben über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

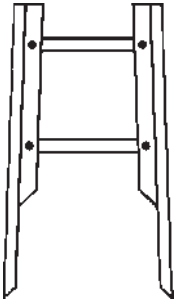


Bild 1.8 Voreinstellung der Verbaueinheit

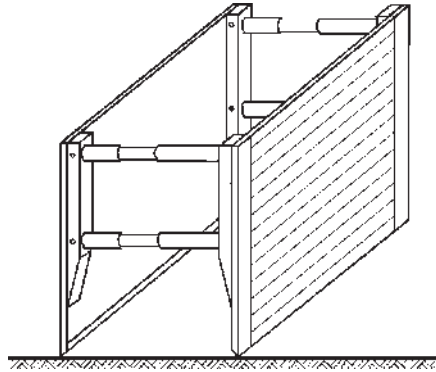
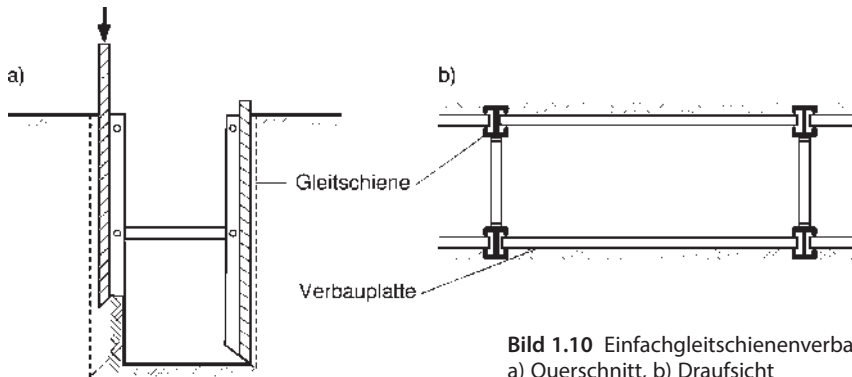


Bild 1.9 Randgestützte Stahlverbauplatten

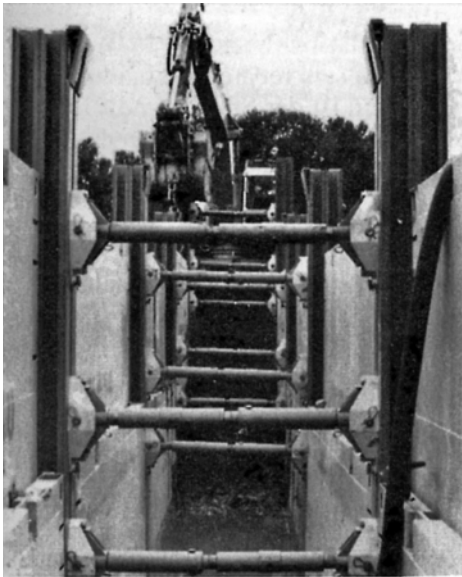
zen hält, ist die zulässige Strebenneigung auf maximal 1:20 begrenzt worden. Um zu verhindern, dass sich die Verbaueinheit beim Absenken im Boden einklemmt, werden die Streben zu Beginn der Absenkung entsprechend Bild 1.8 so eingestellt, dass der Abstand der Platten unten größer ist als oben. Die Folge 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-

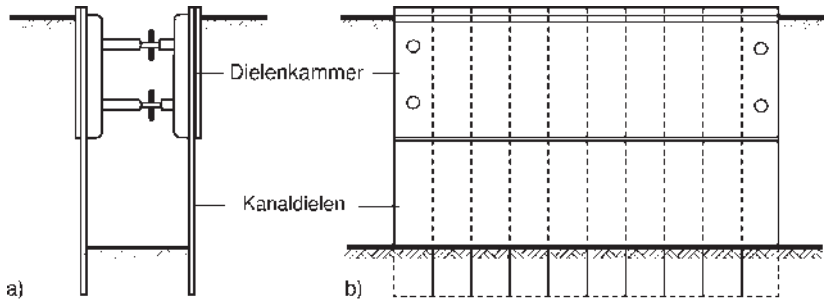


Bild 1.12 Dielenkammerelemente; a) Querschnitt, b) Längsschnitt

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 waagerechtem Verbau 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.

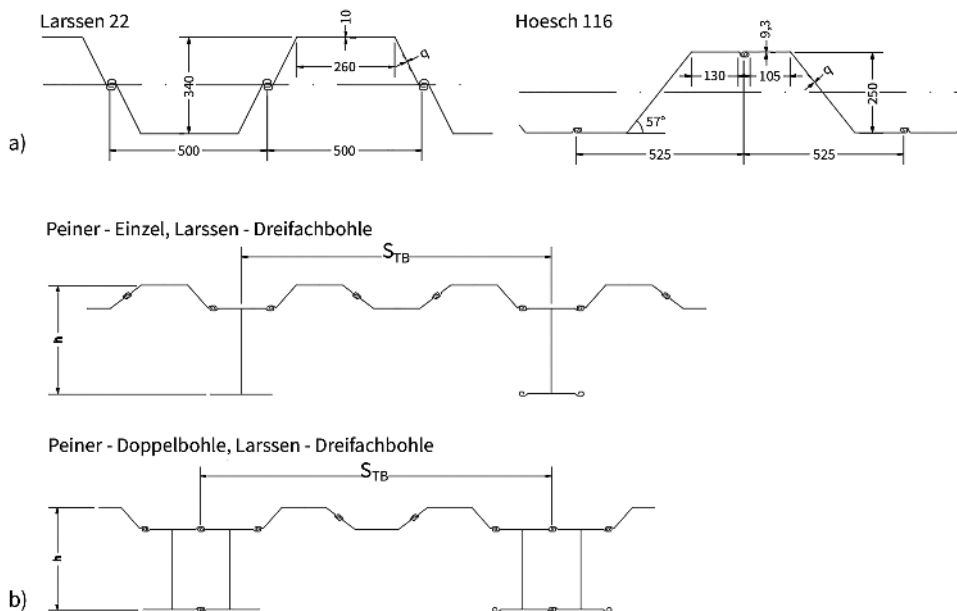
#### 1.4 Spundwände

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.

Das Einbringen von Spundwänden wird üblicherweise über schlagendes Rammen, Rütteln oder durch hydraulisches Einpressen bewältigt. Wenn Rammen oder Vibrieren aufgrund der Lärm- oder Erschütterungsbelästigung nicht möglich sind und hohe Anforderungen neben der tragenden Wirkung hinsichtlich der Wasserdichtigkeit verlangt sind, werden die Spundwände in vorab hergestellte flüssigkeitsgestützte Schlitzwände eingesetzt.

Vor Beginn der Arbeiten ist die Rammpbarkeit des Baugrunds zu prüfen. In schwer zu beurteilenden Fällen empfiehlt sich eine Proberammung. Kleinere Steine werden im Allgemeinen beim Rammen verdrängt, größere Steine (z. B. Findlinge) können durch Vorbohren beseitigt werden. Bei schwerem Rammen besteht die Gefahr der Schlosssprengung. In bestimmten Fällen sind Einbringhilfen wie z. B. Nieder- oder Hochdruckspülung bei sehr dichten oder zähen Böden bzw. Kernbohrungen oder Lockersprengung bei felsähnlichen Böden erforderlich.

Steifen und Anker dürfen nur gegen Zangen oder Gurte gesetzt werden, sofern nicht jede Spundwandwelle für sich verankert wird (Bild 1.14). Als Gurtungen kommen im Allgemeinen nur U- bzw. HE-B-Walzprofile, U-Profil-Spundbohlen oder Stahlbetonbalken infrage. Stahlbetonbalken bieten den Vorteil, dass sie sich der Wellenform der Spundwände und den auftretenden Verrammungen zwanglos anpassen. Bei Gurten aus Stahl werden Rammungenauigkeiten durch Stahlplatten, eingeschweißte Stege, Stahlkeile oder Beton ausgeglichen, soweit es für eine einwandfreie Kraftübertragung erforderlich ist. Die Gurte werden entweder auf Konsolen aufgelegt oder an Ketten, Rundstäben oder Flacheisen aufgehängt, die

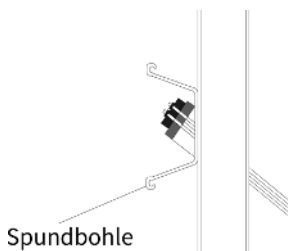


Bild 1.14 Spundbohle als Ankerauflage

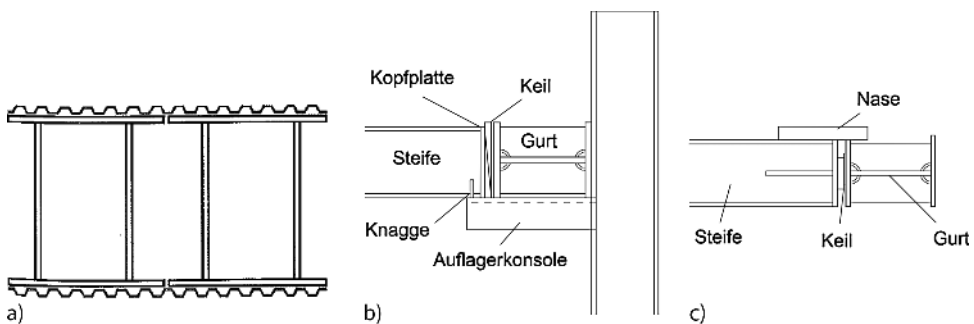


Bild 1.15 Ausgesteifte Spundwandbaugrube; a) Grundriss, b) Steifenauflagerung auf Konsolen, c) Steifenauflagerung auf angeschweißter Nase



ihrerseits am Spundwandkopf eingehakt sind. Die Steifen werden entweder auf Konsolen aufgelegt, die unter dem Gurt angeschweißt sind, oder auf Nasen, die aufgeschweißt sind (Bild 1.15).

Außer den allgemein üblichen Steifen aus Rundholz und Stahlträger-Profilen sind verschiedentlich Stahlrohre (Bild 1.16), Gitterstreben und Stahlbetonbalken als Aussteifung verwendet worden. Rohre weisen ein günstiges Verhältnis von Trägheitsmoment zu Gewicht auf und eignen sich daher besonders gut als Steifen mit großer Knicklänge. Gitterstreben mit drei oder vier Längsprofilen sind in den Abmessungen nicht begrenzt, jedoch in der Herstellung aufwendig. Stahlbetonbalken können nach Erreichen der jeweiligen Aushubtiefe unmittelbar auf die Baugrubensohle betoniert werden. Sie können wirtschaftlich sein, wenn sie in das Bauwerk einbezogen werden oder wenn anderenfalls Stahlprofile verwendet werden müssten, deren Wiederverwendung fraglich ist.

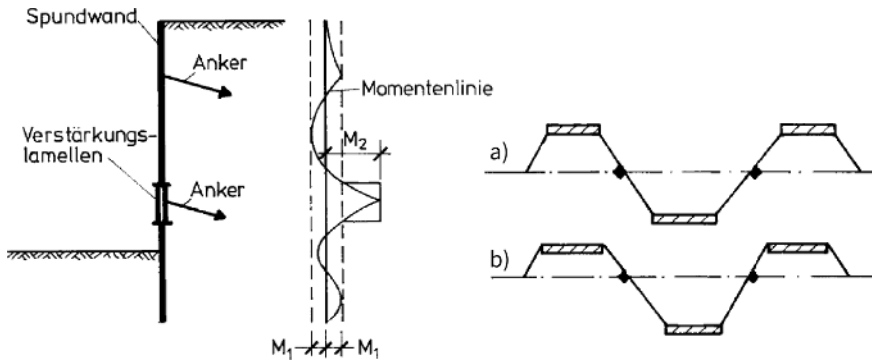


**Bild 1.16** Abgespundete Tunnelbaugrube;  
City-S-Bahn Hamburg, Baulos Binnentalster  
(Foto: Bundesbahndirektion Hamburg)

Außer einer Staffelung des Spundwandfußes ist auch eine Verstärkung des Wandprofils üblicherweise vor dem Einbringen der Spundwand möglich (Bild 1.17a). Im Bild 1.17b ist eine nachträgliche Verstärkung der Spundwandprofile in den Tälern zur Aufnahme höherer Momente dargestellt.

Bei der Wahl des Spundwandprofils sind auch die Wiedergewinnung und die Wiederverwendung von Bedeutung, und so ist man bestrebt, die Spundwände nach Fertigstellung des Bauwerks wiederzugewinnen.

Die Gefahr, dass die Spundwand am Beton einer gegen sie geschütteten Bauwerksohle haftet, kann durch Anheften einer Papplage vor dem Betonieren leicht beseitigt werden. Das Ziehen fällt leichter, wenn Doppelbohlen verwendet werden,



**Bild 1.17** Verstärkung von Spundwandprofilen mit a) Aufschweißung vor Einbringung und b) nach Einbringung der Spundwandprofile mit dem Aushub

die nicht verpresst oder verschweißt sind. Beim Ziehen wird dann als Einheit wie beim Rammen die Doppelbohle gewählt, aber gegenüber dem Rammvorgang um eine Einzelbohle versetzt. Damit wird erreicht, dass sich die Bohlen nicht in den beim Rammen benutzten Schlössern lösen müssen. Die Schlösser, in denen die Bohlen paarweise im Werk zusammengezogen worden sind, weisen eine erheblich geringere Reibung auf, da beim Rammen keine die Verkrustung fördernden Bodenteilchen eindringen. Gegebenenfalls können auch Einzelbohlen gezogen werden, sofern sie nicht verpresst oder verschweißt worden sind.

Stahl ist im Allgemeinen der Korrosion ausgesetzt, wobei die Korrosionsgeschwindigkeit abhängig von der Stahlumgebung ist. Die atmosphärische Korrosion ist im Allgemeinen gering. Bei salzhaltiger Atmosphäre im Küstenbereich sowie anderen stahlaggressiven Medien in der Luft können sich höhere Abtragungsgeschwindigkeiten ergeben. Im Süßwasser liegt im Normalfall eine geringe Korrosionsbelastung vor. Die Hauptangriffszone ist der Bereich unterhalb des Wasserspiegels. Korrosionsbelastungen liegen vor bei größerer Grundwasser-Aggressivität und wechselnden Wasserpegelständen.

Im Boden ist im Allgemeinen die Korrosionsrate sehr gering, vorausgesetzt, es liegen keine stark aggressiven Böden vor, wie z. B. Humusböden oder Waschberge. Das Gleiche gilt für verunreinigte Oberflächen- oder Sickerwässer, die das Wachstum stahlaggressiver Bakterien fördern und von der Spundwand fernzuhalten sind.

Für den Fall des Korrosionsangriffs sind folgende Maßnahmen möglich:

- a) Bemessung mit Abnutzungsvorrat,
- b) korrosionsschutzgerechte Gestaltung und Bemessung von Stahlspundwänden (Maximalmomente nicht in der gleichen Höhenlage wie die Hauptangriffszonen der Korrosion),
- c) Schutzanstriche,
- d) kathodischer Korrosionsschutz (Opferanode, Schutz mit Fremdstrom),
- e) Legierungszusätze (nur in Sonderfällen, da unwirtschaftlich, nicht üblich beim Baugrubenverbau).

Weitere Hinweise zum Korrosionsschutz für Stahlbauten sind der DIN 55928 zu entnehmen.

Weitergehende Angaben hinsichtlich der Herstellung von Spundwandbauwerken mit Regelungen zu Erkundung, Rammverfahren, Lagerung und Einbau von Spundbohlen, Anwendung von Einbringhilfen, Ausführung von Schweißarbeiten, erreichbaren systembedingten Toleranzen, Art und Umfang von Qualitätssicherungsmaßnahmen und zur Wasserdichtigkeit oder Abdichten von Schlossfugen findet man in der DIN EN 12063 sowie in den Handbüchern der Spundwandhersteller.

## 1.5 Trägerbohlwände

Trägerbohlwände (Bild 1.18) sind praktisch eine Weiterentwicklung des waagerechten Grabenverbau für größere Baugrubentiefen. Sie werden häufig im städtischen Tiefbau in fast allen Bodenarten eingesetzt. Wegen seiner Wasserdurchlässigkeit, z. B. in Verbindung mit Holzbohlen, wird der Trägerbohlverbau in Bereichen ausgeführt, wo das Grundwasser tiefer als der Aushub liegt oder vorab abgesenkt wurde. Er ist im Vergleich zu den anderen Verbauarten relativ nachgiebig und deshalb ist seine Anwendung im Einflussbereich von bestehender Bebauung nur bedingt empfehlenswert.

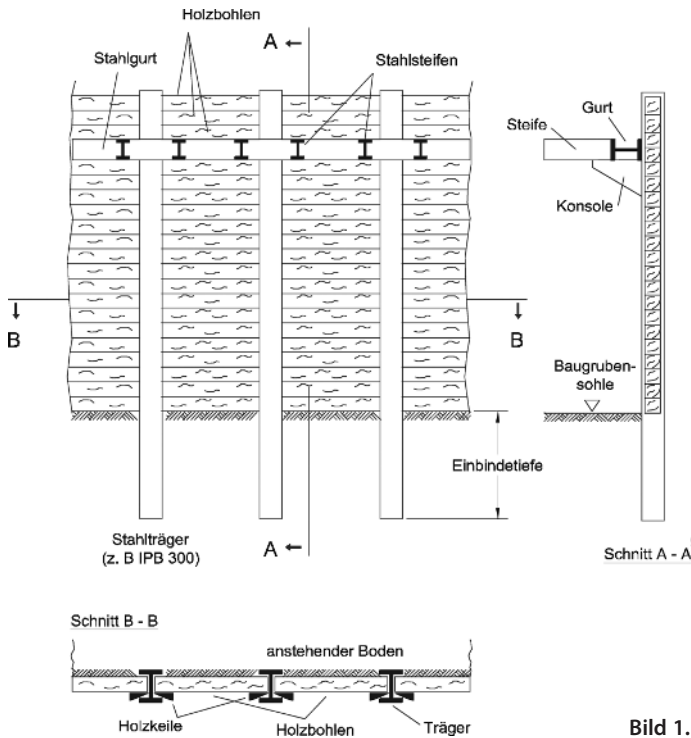


Bild 1.18 Trägerbohlwand

Trägerbohlwände bestehen aus senkrechten Traggliedern, die üblicherweise im Abstand von 1 m bis 3,5 m entlang der geplanten Baugrubenwand von der Geländeoberfläche aus eingebracht werden, und einer waagrecht gespannten Ausfachung (Bild 1.18) aus Holz, Stahl oder Beton.

In der ursprünglichen Form, die beim Bau der Berliner U-Bahn (deshalb auch „Berliner Verbau“) in den Jahren um die Jahrhundertwende entwickelt wurde, handelt es sich um gerammte I-Träger mit dazwischen eingekeilten Holzbohlen. Die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten und die hervorragende Anpassungsfähigkeit an örtliche Gegebenheiten haben bis zum heutigen Tag eine Vielzahl von Abwandlungen entstehen lassen.

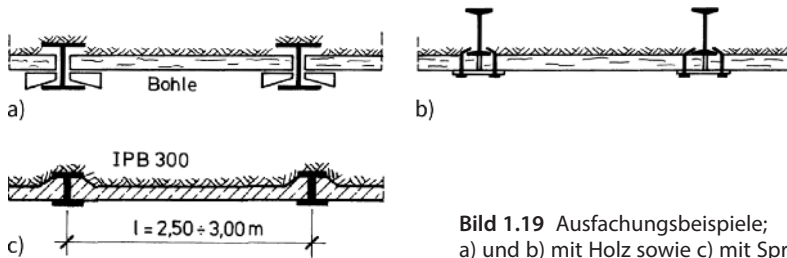
Anstelle der quer zur Stegachse verhältnismäßig weichen und daher leicht verlaufenden I-Profile werden vielfach HE-B-Profile gerammt oder mit einem Schwingbär eingerüttelt. Wenn die beim Rammen entstehenden Erschütterungen und Geräusche vermieden werden sollen oder wenn harte Schichten anstehen, die sich nicht durchrammen lassen, dann kann es zweckmäßig sein, die Bohlträger in vorgebohrte Löcher zu setzen. In diesem Fall können nicht-rammfähige Profile verwendet werden, z. B. auch Doppel-U-Profile. Diese bieten sich insbesondere dann an, wenn die Bohlträger einzeln ohne tragende Gurtungen und ohne überstehende versenkte Ankerköpfe verankert werden sollen.

Die Ausfachung nimmt die Erddruckkräfte auf und leitet sie in die Träger ein, welche die Kräfte konzentriert an eine Baugrubenaussteifung oder an Verpressanker und an das unterhalb der Sohle liegende Erdreich abgeben. Neben den Horizontallasten müssen die Träger Vertikallasten aus Wandreibung zwischen Baugrund und Verbau, aus dem Vertikallastanteil der nach unten geneigten Verpressanker sowie aus evtl. Baugrubenabdeckungen aufnehmen. Muss der Träger größere Vertikalkräfte aufnehmen, wird er entsprechend tiefer eingerammt, mit einer Fußplatte versehen oder einbetoniert.

Das Bohrloch oberhalb des Trägerfußes wird bis zur Geländeoberfläche mit einem Bodenmaterial verfüllt, das bei der späteren Verbauherstellung nicht in die Baugrube ausrieselt. Steht kein geeignetes Material zur Verfügung, so kann ein durch Zement schwach gebundenes Sand-Kiesgemisch verwendet werden.

Die Empfehlungen des Arbeitskreises „Baugruben“ [47] fordern bei Baugruben bis zu 10 m Tiefe eine Mindesteinbindetiefe der Träger von 1,50 m unter der Baugrubensohle, sofern sich aus dem Standsicherheitsnachweis nicht ohnehin ein größeres Maß ergibt. Vielfach reicht die Einbindetiefe von 1,50 m jedoch nicht aus, um den erforderlichen Erdwiderstand zu wecken oder die aus Auflasten oder aus der Wandreibung herrührende Vertikalkraft in den Untergrund abzuleiten. Andererseits kann auf das Einbinden der Träger in den Untergrund verzichtet werden, wenn die unterste Steifen- oder Ankerlage verhältnismäßig dicht über der Baugrubensohle angeordnet wird und keine Vertikalkräfte aufgenommen werden müssen.

Wenn außer der Eigenlast der Baugrubenverkleidung und der Vertikalkomponente des Erddrucks noch weitere vertikale Lasten abzutragen sind, z. B. Vertikalkräfte aus geneigten Verankerungen, Auflagerkräfte von Hilfsbrücken und Baugrubenab-



**Bild 1.19** Ausfachungsbeispiele;  
a) und b) mit Holz sowie c) mit Spritzbeton

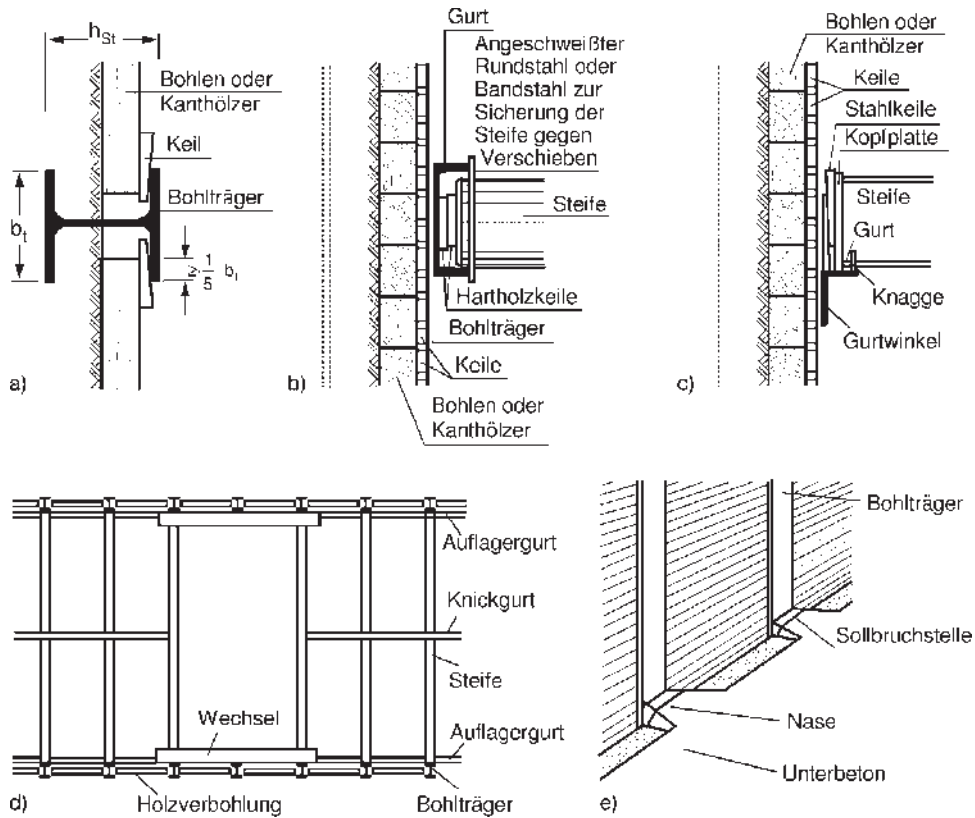
deckungen, Lasten aus Kranbahnen, sollte für gerammte Verbasträger eine Mindesteinbindetiefe von 3,0 m nicht unterschritten werden.

Die Möglichkeiten der Ausfachung der Wand zwischen den Verbasträgern sind zahlreich:

- Holzausfachung, z. B. Holzbohlen, Kantholz, Rundholz (s. Bild 1.19a und b),
- Stahlausfachung, z. B. Kanaldielen, HE-B Träger, Stahlwandvorbauplatten,
- Betonausfachung, z. B. Stahlbeton, Spritzbeton (s. Bild 1.19c).

Die Einzelteile der Ausfachung müssen so lang sein, dass sie auf jeder Seite mindestens auf einem Fünftel der Flanschbreite aufliegen (Bild 1.20a). Sie sind im Allgemeinen mit Keilen oder anderen gleichwertigen Mitteln (z. B. Klemmen, Bild 1.20b) fest und unverschiebbar gegen den Boden zu pressen. Die Ausfachung muss stets mit dem Aushub fortschreitend eingebracht werden. Mit dem Einbringen ist spätestens zu beginnen, wenn eine Aushubtiefe von 1,25 m erreicht ist. Der Einbau der weiteren Ausfachung darf hinter dem Aushub im Allgemeinen nur um 0,50 m, bei steifen oder halbfesten Böden, z. B. bei Lehm und Mergel, höchstens um 1,00 m zurück sein. Beim Antreffen von örtlich begrenzten, wenig standfesten Böden, z. B. bei locker gelagertem, einkörnigem, trockenem Sand, bei sandfreiem Kies und bei Bodenarten, die zum Fließen neigen, kann es erforderlich sein, die Höhe der Abschachtung auf die Höhe der Einzelteile der Ausfachung zu beschränken. Besteht die Gefahr, dass die Bohlen abrutschen, z. B. bei locker gelagerten nichtbindigen Böden oder bei geschichteten Böden mit Einlagerungen von weichen bindigen Böden oder Fließsand (enggestufter, wassergesättigter Feinsand), so sind sie durch aufgenagelte Laschen oder Hängestangen zu sichern. Das Gleiche gilt unabhängig von anstehenden Böden immer dann, wenn der Abstand benachbarter Bohlträger mit der Tiefe zunimmt. Sofern die Gefahr besteht, dass die Keile sich lockern und herausfallen, und ein erneutes Festsetzen nicht möglich ist, sind sie durch Leisten zu sichern. Eine nur teilweise Verkleidung des freigelegten Bodens oder gar ein völliger Verzicht auf die Ausfachung ist nur im Bereich des Felses zulässig und da auch nur, wenn sichergestellt ist, dass keine Felsbrocken sich lösen oder herabfallen können. Gegebenenfalls sind zwischen den Bohlträgern Drahtnetze anzubringen.

Die Bohlen bei einer Holzausfachung werden innerhalb des freigelegten Wandabschnitts von unten nach oben eingebaut und an ihrer Rückseite mit Bodenmaterial verfüllt. Die jeweils unterste Bohle wird mit Holzwohle hinterstopft, damit



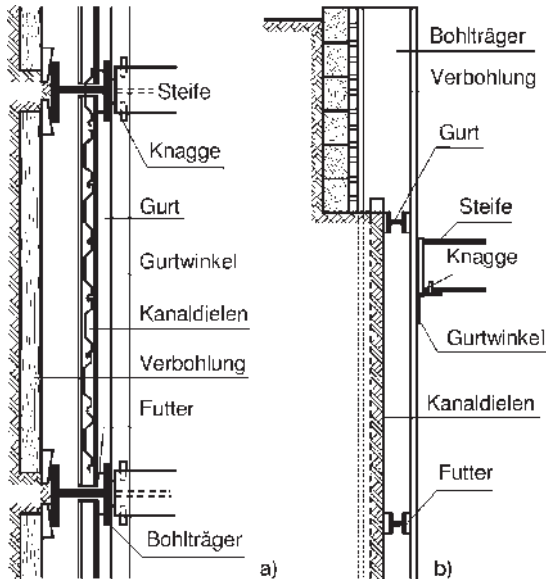
**Bild 1.20** Einzelheiten einer Trägerbohlwand; a) Verkeilung der Bohlen, b) Auflagerung von Holzsteifen, c) Auflagerung von Stahlsteifen, d) Baggerloch, e) Abstützung gegen den Unterbeton

bei nachfolgendem späteren Freilegen des nächsten Wandabschnitts der zuvor oben eingefüllte Boden nicht ausrieselt.

Eine Betonausfachung lässt sich bei bindigen oder sonst standfesten Böden herstellen, bei denen statt der Holzbohlen ein bewehrter Betonverbau mit ca. 15 cm Stärke aus Ortbeton mit einhäufiger Schalung oder Fertigteilen eingebaut wird.

Bei einer Spritzbetonausfachung handelt es sich um einen Sonderfall des Betonverbbaus, der in der statisch erforderlichen Stärke in einer Lage auf die freigelegte Wandfläche gespritzt wird. Bei bewehrten Spritzbetonschalen werden Baustahlmatten eingelegt und mit einer oder mehreren Spritzbetonlagen abgedeckt.

Bei Antreffen von Schichtwasser kann es zu unkontrollierten Ausspülungen hinter der Ausfachung kommen. Ist mit Schichtwassereinfluss zu rechnen, so sind konstruktive Dränmaßnahmen wie z. B. endseitige Dränmatten, Filtersteine vor Einbringen der Ausfachung anzubringen und diese im Bereich des Verbaufußes an einer Längsdrainage entlang der Verbauwand an den Vorfluter anzuschließen.



**Bild 1.21** Trägerbohlwand mit Kanaldielenausfachung; a) Grundriss, b) Querschnitt

Bei Baugruben, die in Bodenschichten einschneiden, welche zum Fließen neigen und sich nur schwer oder gar nicht entwässern lassen, können bei der Verwendung von Trägerbohlwänden erhebliche Schwierigkeiten entstehen. Man umgeht sie, wenn man von vornherein im standfesten Bereich die Ausbohlung hinter die rückwärtigen Trägerflansche setzt und im Bereich der weichen Schichten zwischen den Bohlträgern Kanaldielen einrammt oder einpresst. Gehalten werden diese Kanaldielen von waagerechten Gurten aus leichten Stahlträgern, die mit dem Aushubfortschritt zwischen den Bohlträgern eingebaut werden (Bild 1.21).

Zur Aussteifung gegenüberliegender Bohlträger werden oft Rundholzsteifen verwendet, solange der Abstand etwa 8 bis 10 m nicht überschreitet. Rundholzsteifen müssen an den Enden abgefast sein. Sie liegen zumeist in Gurten aus U-Profilen, die an die Bohlträger angeschraubt oder angeschweißt sind, die gesamte Baugrubenlänge erfassen und somit den seitlichen Abstand der Bohlträger sichern (Bild 1.20b). Nach der Verkeilung, wofür grundsätzlich Hartholzkeile verwendet werden sollen, sind die Steifen durch Anbringen von Winkelstücken oder Stahlstäben gegen Verschieben zu sichern. Das Abheben verhindern bereits die Flansche des Gurtes. Bei Baugrubenbreiten von mehr als 10 m werden die Abmessungen von Holzsteifen im Allgemeinen zu groß. Man wählt dann Stahlsteifen aus Stahlträger-Profilen. Zur Auflagerung dienen Gurtwinkel, deren Flansch zur Aufnahmen der Keile und der Kopfplatten breit genug ist und darüber hinaus noch genügend Platz lässt für die Anordnung von Knaggen, welche die Steife gegen Abheben, Verschieben und Verdrehen sichern (Bild 1.20c). Bei sehr kleinen oder sehr unregelmäßigen Bohlträgerabständen kann es zweckmäßig sein, die Steifen unabhängig von der Anordnung der Bohlträger gegen biegesteife Gurte zu setzen, die ihrerseits mehrere Bohlträger abstützen, ähnlich wie dies bei verankerten Wänden stets der Fall ist (Bild 1.20d). Diese Gurte sind in der oberen Baugrubenhälfte zumindest



einmal in Längsrichtung miteinander zu verbinden. Werden die Steifen unmittelbar zwischen gegenüberliegenden Bohlträgern angeordnet, dann ist wenigstens ein Gurt in der oberen Hälfte der Baugrubenwand auf größere Abschnitte der Baugrube zug- und druckfest durchzuführen. Das Gleiche gilt bei verankerten und bei nicht gestützten Baugrubenwänden. Bei verankerten Verbauwänden wird in der Regel eine horizontale Gurtung angeordnet, welche entweder durchgehend oder in Abschnitten auszuführen ist, damit bei Ausfall einer Steife oder eines Ankers die Durchlaufträgerwirkung der Gurtung einen Einsturz der Verbauwand verhindert. Alternativ zu einer durchgehenden Gurtung kann auch ein durchgehendes Zugband, z. B. Flachstahlband 100 mm × 10 mm, in Höhe des Stützpunktes angeordnet werden. In Sonderfällen kann durch einen vergrößerten Abstand der ] [-Profile ein Ankerkopf zwischen den Trägern versenkt werden, sodass eine glatte Verbaufäche entsteht, gegen die z. B. die aufgehende Wand betoniert werden kann („verlorener Verbau“).

Zur Verkürzung der Stützweite können die Bohlträger nach Bild 1.20e über entsprechende Nasen gegen den Unterbeton abgestützt werden. Diese Nasen erhalten eine Sollbruchstelle, damit später beim Ziehen der Bohlträger keine Bewegung auf das Bauwerk oder seine Abdichtung übertragen wird, und sie erhalten nach oben zum Bohlträger hin eine Verdickung, damit einerseits die Kontaktspannungen verringert und andererseits die Auflagerkräfte exzentrisch in den Unterbeton eingeleitet werden. Die exzentrische Krafteinleitung ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn der Unterbeton über die ganze Baugrubenbreite frei gespannt ist und gegen Ausknicken gesichert werden muss. Die hierbei erforderliche Dicke von 15 bis 20 cm bei größeren Baugruben kann auf 7 bis 10 cm verringert werden, sofern der Unterbeton erst dann zur Aussteifung herangezogen wird, wenn er durch die Sohle des Bauwerks belastet ist.

Für Trägerbohlwände existiert keine spezifische Ausführungsnorm. Anforderungen an Konstruktion und Herstellung ergeben sich aus den „Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben“ (EAB), der DIN 4124 sowie den Ausführungsnormen der „beteiligten“ Gewerke DIN EN 1536 „Bohrpfähle“ bei vorgebohrten Verbauträgern bzw. DIN EN 12699 „Verdrängungspfähle“ bei gerammten Verbauträgern.

## 1.6 Massive Verbauwände

Bei großen Baugrubentiefen kommen massive Verbauarten zum Einsatz, weil zum anwachsenden Erddruck der Wasserdruck hinzukommt, wenn weitgehend wasserundurchlässige Verbauarten benötigt werden. Schlitzwände und Bohrspahlwände sind die weit verbreiteten massiven Verbauarten, die folgende Vorteile aufweisen:

- eine Grundwasserabsenkung ist nicht erforderlich;
- sehr geringe Verformungen im Erdreich, sodass diese Bauweise sich besonders günstig bei Baugruben in unmittelbarer Nähe von Bauwerken auswirkt;
- sie können tiefer als gerammte Wände ausgeführt werden;
- durch die hohen Widerstandsmomente sind die Biegeverformungen relativ gering;

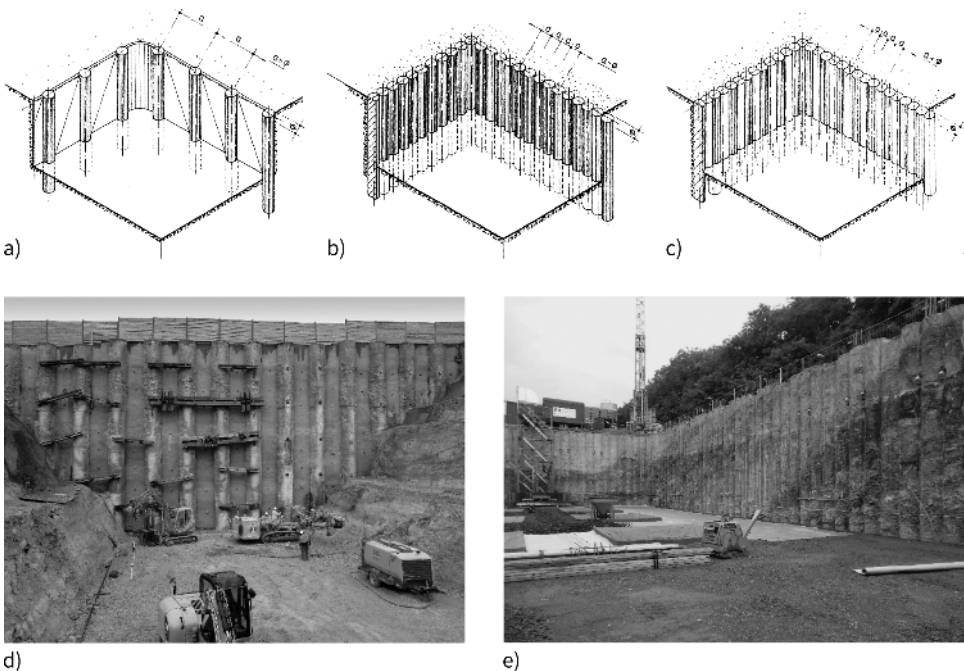
- harte Schichten oder Hindernisse können durchmeißelt werden;
- die mit Rammen verbundene Lärm- und Erschütterungsbelastung der Umgebung wird weitgehend vermieden;
- massive Verbauwände können nicht nur als Baubehelfe dienen, sondern auch als Bestandteil des permanenten Bauwerks verwendet werden.

Falls man die Verbauwände im Zusammenhang mit Unterfangungen der benachbarten Gebäude herstellen muss, so kommen noch weitere Verbauarten wie Düsenstrahlwände, Frostwände oder chemisch verfestigte Wände in Betracht.

### Bohrpfahlwände

Bohrpfahlwände (Bild 1.22) bestehen in der Regel aus Stahlbetonpfählen; es sind aber auch schon anstelle der Bewehrung HE-B-Träger einbetoniert oder die Bohrore im Boden belassen worden.

Bei Ausführung mittels verrohrter Bohrungen bleibt der ursprüngliche Spannungszustand des umgebenden Bodens im Wesentlichen erhalten. Dadurch können Bodenbewegungen bzw. Setzungen hinter der Wand auf ein Minimum reduziert werden, sodass sich diese Verbauart für Baugrubenumschließungen im unmittelbaren Druckausbreitungsbereich neben Gebäuden oder anderen Bauwerken gut eignet.



**Bild 1.22** Pfahlwand-Typen in perspektivischer Darstellung; a) aufgelöste Wand, b) tangierende Wand, c) überschnittene Wand sowie Ausführungsbeispiele, d) aufgelöste Wand (aus Bauer Bohrpunkt 46/2016 S. 24, BAUER AG), e) überschnittene Wand (aus Bauer Bohrpunkt 46/2016 S. 20/21, BAUER AG)

Pfahlwände werden in der Regel vertikal ausgeführt. Sie sind, falls die örtlichen Umstände dies erfordern, auch mit einer Neigung gegen die Vertikale ausführbar, in Ausnahmefällen bis zu einer Neigung von ca. 17°.

Bei entsprechender Sorgfalt kann eine Lagegenauigkeit von 0,5 bis 1,0% erreicht werden. Neben dem Vorteil, Pfähle zu sparen für den Zwischenraum zwischen Verbauwand und existierender Bebauung, ist diese Bauweise sehr anpassungsfähig. Im Grundriss ist praktisch jede geometrische Form ausführbar. Das Überbrücken von kreuzenden Leitungen oder Kanälen quer zur Wand ist relativ einfach durch Weglassen eines Pfahls zu realisieren. Die Öffnungen können z. B. durch Injektionen geschlossen werden.

Bei den Bohrpfahlwänden sind folgende Ausführungsarten üblich (Bild 1.22):

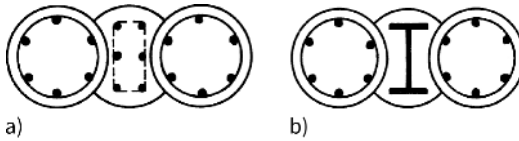
- Wände aus überschrittenen Bohrpfählen (überschnittene Bohrpfahlwand),
- Wände aus tangierenden Pfählen (tangierende Bohrpfahlwand),
- Wände aus Einzelpfählen (aufgelöste Bohrpfahlwand).

Von diesen drei Bohrpfahl-Wandtypen ist nur die überschchnittene Bohrpfahlwand als annähernd wasserdicht zu betrachten, die restlichen Wandtypen gelten als wasserdurchlässiger Verbau.

Legt man Wert auf eine geschlossene und annähernd wasserdichte Wand, dann stellt man zunächst nur jeden zweiten Pfahl her und setzt dann in einem zweiten Arbeitsgang die fehlenden Pfähle so dazwischen, dass sie die im ersten Arbeitsgang hergestellten Pfähle anschneiden. Bewehrt werden üblicherweise nur die im zweiten Arbeitsgang hergestellten Pfähle. Wenn es nicht auf die Verbundwirkung und die weitgehende Wasserdichtigkeit ankommt, verzichtet man üblicherweise auf eine Überschneidung und setzt die Pfähle unmittelbar nebeneinander. Den Übergang zur Trägerbohlwand erhält man mit der aufgelösten Pfahlwand, bei der die Pfähle auf Lücke gesetzt und die Zwischenräume z. B. mit Spritzbeton verkleidet werden.

#### *Überschnittene Bohrpfahlwände*

Die überschchnittene Bohrpfahlwand wird im Pilgerschrittverfahren hergestellt. Es werden zunächst ohne Bewehrung die Primärpfähle und anschließend die Zwischenpfähle (Sekundärpfähle) hergestellt. Die Sekundärpfähle schneiden in die beiden benachbarten bereits betonierten Pfähle ein, sodass eine durchgehende Betonwand entsteht. Diese Art der Wand wird auch zur Aufnahme des Wasserdrucks verwendet. Das Überschneidungsmaß liegt zwischen 10 cm und 30 cm und sollte nicht weniger als 10 cm betragen. Die planerisch anzusetzende Überschneidung ist von der Pfahltiefe und dem Pfahldurchmesser abhängig, da bei den Bohrungen Abweichungen des Ansatzpunktes ( $0,10 \text{ m} \leq e \leq 0,15 \text{ m}$  abhängig vom Pfahldurchmesser) sowie der Neigung ( $\leq 2\%$  Bohrlänge) einzurechnen sind, DIN EN 1536/8.1. Diese führen in Abhängigkeit der Pfahllänge zu verschiedenen Absolutmaßnahmen der Toleranz. Die Sekundärpfähle sollen nach nur wenigen Tagen gebohrt werden, um das Einschneiden in den noch nicht voll ausgehärteten Beton der Primärpfähle zu erleichtern.



**Bild 1.23** Ausführungen von Bohrpfahlwänden mit bewehrten Primärpfählen zur Aufnahme von hohen Belastungen bzw. bei verformungsarmen Bohrpfahlwänden; a) schmaler Rechteckkorb, b) eingestellter I-Träger

Die Sekundärpfähle erhalten eine Bewehrung gemäß den statischen Anforderungen. Abweichend von der klassischen überschnittenen Bohrpfahlwand, welche einen bewehrten und einen unbewehrten benachbarten Primärpfahl vorsieht, gibt es Ausführungen, wie im Bild 1.23 dargestellt, bei denen aufgrund der hohen Steifigkeitsanforderungen an die Wand auch die Primärpfähle bewehrt werden müssen. Hierzu bedarf es einer besonderen Überwachung. Aus gerätetechnischen Gründen können allerdings die Bewehrungen der Primärpfähle nicht so ausgeführt werden wie bei den Sekundärpfählen. Die Bewehrung der Primärpfähle erhält entweder einen schmalen Rechteckkorb (Bild 1.23a) oder einen eingestellten I-Träger (Bild 1.23b). Bei geringeren Belastungen ist es aber auch möglich, abweichend von der üblichen Anordnung, auch zwei bzw. drei unbewehrte und einen bewehrten Pfahl anzuordnen.

#### *Tangierende Pfahlwände*

Im Gegensatz zu den wasserdichten Wänden, bei denen nur überschnittene Pfähle infrage kommen, werden bei nicht wasserdichten Wänden tangierende Pfähle verwendet. Diese Wände bestehen aus aneinandergereihten Bohrpfählen mit einem lichten Abstand von 5 bis 10 cm. Baugruben mit diesen wasserdurchlässigen Wänden werden im Trockenen oder aber im Schutz einer Grundwasserabsenkung ausgeführt.

Häufiges Einsatzgebiet ist die Sicherung von unmittelbar angrenzenden Bauwerken, da durch die massive Anordnung von bewehrten Pfählen große Biegemomente übertragen werden können. Durch die Pfahl-an-Pfahl-Anordnung ist sichergestellt, dass während des Aushubs nur geringe Auflockerungen des Bodens hinter der Wand auftreten.

#### *Aufgelöste Pfahlwände*

Die aufgelöste Bohrpfahlwand enthält nur die statisch erforderliche Anzahl von bewehrten Pfählen. Bei besonders günstigen Verhältnissen, wie z. B. felsartigem Boden oder injiziertem Baugrund, können die Pfähle auf Lücke gestellt werden und die Zwischenräume für gewisse Zeit unverkleidet bleiben.

Der Zwischenraum zwischen den Pfählen wird bei fortschreitendem Aushub durch Spritzbeton gesichert oder vor dem Aushub der Baugrube ausgefüllt, z. B. mit Mixed-in-Place-Pfählen die vor allem in nichtbindigem Boden eingesetzt werden. Die Sicherung kann eben oder durch ein Gewölbe erfolgen. Eventuell vorhandenes Sickerwasser kann durch Dränmatten oder sonstige Filterelemente hinter dem Spritzbeton gefasst und einer geeigneten Vorflut zugeführt werden.

Der Anwendungsbereich liegt in der Regel dort, wo angrenzende Verkehrswege oder leichte Bebauung zu sichern sind und Trägerbohlwände eine zu geringe Steifigkeit aufweisen.

#### *Herstellung der Bohrpfahlwände*

Bei tangierenden und überschnittenen Bohrpfahlwänden werden vor Beginn der Arbeiten Bohrschablonen hergestellt. Diese Schablonen bestehen aus einem leicht armierten Ortbeton mit einer Höhe von ca. 0,5 m. Die Bohrschablone dient zur Führung der Bohrröhre bzw. Bohrwerkzeuge und wird nach Beendigung der Pfahlarbeiten wieder abgebrochen. Für die Herstellung von Einzelpfählen können grundsätzlich alle Bohrmethoden angewendet werden. Für die Sekundärpfähle der überschnittenen Bohrpfahlwand kommen jedoch nur verrohrte bzw. Schneckenortbetonpfähle infrage, um ein symmetrisches und sicheres Überschneiden der Nachbarpfähle (Primärpfähle) zu gewährleisten.

Für das Herstellen der Einzelpfähle gelten die üblichen Regeln der Pfahltechnik wie z. B. DIN EN 1536 hinsichtlich Vorseilen der Verrohrung, Bohren unter Grundwasser und weiterer Qualitätssicherungsmaßnahmen. Neben der DIN EN 1536 sind weitere relevante Regelwerke die DIN EN 1997-1/NA, DIN 1054; DIN EN 1992-1 und 2, EN 206-1 und die EAB (5. Auflage, 2012) sowie die DIN 18301.

#### **Schlitzwände**

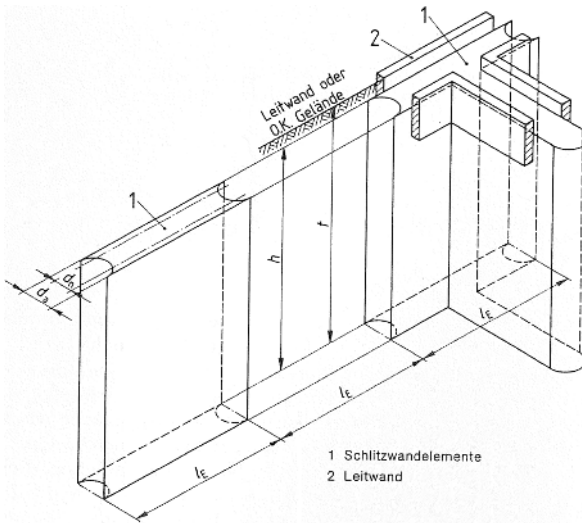
Schlitzwände bestehen meistens aus vertikalen Wandelementabschnitten, welche aus Stahlbeton, Beton oder anderen zementgebundenen Stoffen hergestellt werden, die statisch tragende, abdichtende oder abschirmende Funktion haben und sich sowohl für temporäre als auch für permanente Zwecke eignen.

Es gibt mehrere Verfahren, eine Schlitzwand herzustellen, abhängig von der Art des Lösens und Förderns des Bodens, z. B. durch Greifer oder Fräse. Man kann zum Verständnis die Definition bei den Betonierarbeiten von Schlitzwänden anführen.

Eine Betoniereinheit bei der Schlitzwandherstellung wird als Schlitzwandelement- oder Lamelle oder Paneel bezeichnet. Die Schlitzwandelemente werden in der Regel durch Abstellkonstruktionen voneinander getrennt. Die Abmessungen der Elemente werden wie folgt benannt (Bild 1.24):

- $d_n$  Nenndicke (Breite des Aushubwerkzeugs)
- $d_a$  Ausbruchdicke
- $l_E$  Länge (Achsabstand der Abstellkonstruktion)
- $t$  Tiefe
- $h$  Wandhöhe

Die gebräuchlichsten Schlitzwanddicken liegen bei 60, 80 oder 100 cm, in Sonderfällen werden auch dickere Schlitzwände bis 160 cm ausgeführt. Mit Fräsen sind auch Wanddicken bis 3,0 m ausführbar. Die übliche Arbeitslänge des Aushubwerkzeugs liegt zwischen 2,5 m und 3,0 m. Es gibt jedoch Sonderwerkzeuge mit Längen von 1,8 m oder bis zu 4,3 m. Die Tiefe  $t$  eines Schlitzwandelements ist theoretisch nicht begrenzt, doch ist bei größeren Tiefen die Gefahr des „Verlaufens“ von Schlitzwandelementen gegeben. Geringe Lotabweichungen bei der Herstellung er-



**Bild 1.24** Schlitzwandelemente (Lamellen, Paneele)

geben dann im unteren Wandbereich große Abweichungen von der Solllage, welche zu Spaltöffnungen zwischen den Elementen führen können. Schlitzwände über 40 m Tiefe sind darum sehr selten und erfordern besondere Erfahrung und Maßnahmen bei der Herstellung, wie z. B. eine umfangreiche messtechnische Überwachung der Lage in den offenen Schlitzen.

Die Ortbetonschlitzwand wird beim Zweiphasenverfahren in nicht erhärtenden flüssigkeitsgestützten Schlitzen im Boden nach dem Kontraktorverfahren hergestellt oder mit einer selbsterhärtenden Zementmischung zusammen mit dem Aushubmaterial beim Einphasenverfahren realisiert. Schlitzwände können aber auch aus Betonfertigteilen, sog. Fertigteilschlitzwand, hergestellt werden.

Die wesentlichen *Nachteile* der Schlitzwand gegenüber anderen Verbauartmethoden sind:

- aufwendige Baustelleneinrichtung, deshalb bei kleinen Wandflächen und beengten Platzverhältnissen unwirtschaftlich,
- Entsorgung des mit gebrauchter Stützflüssigkeit verunreinigten Aushubmaterials,
- Aussparungen für tiefquerende Leitungen und Kanäle relativ unflexibel.

Die wesentlichen *Vorteile* der Schlitzwand sind:

- geringere Fugenzahl und demzufolge weniger potenzielle Wasserundichtigkeitsstellen, verglichen mit der Bohrpfahlwand
- Schlitzwand kann direkt als endgültige Bauwerkswand genutzt werden.

Der Aushub und das Lösen des Bodens erfolgen entweder mit Greifern mechanisch bzw. hydraulisch oder mit einer Fräse. Vor Beginn der Arbeiten wird eine Leitwand in der Flucht der herzustellenden Wand bis in eine Tiefe von etwa 1,5 m ausgehoben. Leitwände sind wie die Bohrschablone bei Pfahlwänden Hilfskonstruktions-



teile, bestehend aus Ortbeton oder aus Betonfertigteilen und werden nach Fertigstellung der Schlitzwand abgebrochen.

Die Stützflüssigkeit besteht beim Zweiphasensystem im Extremfall aus Wasser, üblicherweise aus Tonsuspensionen (Bentonitsuspension) in feinkörnigen Böden manchmal auch aus einer Polymer-Flüssigkeit. Eine stützende Flüssigkeit ist eine Suspension (Aufschlammung) von sehr feinkörnigen, festen Stoffen, vorzugsweise von Bentoniten oder anderen ausgeprägt plastischen Tonen, in Wasser, welche im frischen Zustand die Anforderungen nach DIN 4126 und DIN 4127 erfüllt und während des Bodenaushubs und des Betonierens die Wandungen des offenen Schlitzes stützt. Die Dichte der Suspension, die in den Schlitz gepumpt wird, beträgt etwa  $\rho_F = 1,03 \text{ t/m}^3$ .

Die Standsicherheit des offenen Schlitzes ist in der DIN EN 1538 und der DIN 4126 geregelt. Der Nachweis erfolgt üblicherweise über die Lagesicherheit. Demzufolge wird die Wirkung der günstig wirkenden Suspension mit dem Teilsicherheitsfaktor 0,9 und die aus der Wirkung der ungünstigen Einwirkungen aufgrund des Bodeneigengewichts und evtl. Auflasten resultierenden Erddruckkräfte mit dem Teilsicherheitsfaktor 1,0 beaufschlagt. Diese Vorgehensweise ist für die Standsicherheitsbetrachtung kritisiert worden, da es hier um Standsicherheitsuntersuchungen geht und es hierfür bereits alternative Vorschläge gibt [183].

Zur Berechnung der Erddrücke wird ein räumlicher Ansatz gewählt, welcher entweder auf der Silotheorie basiert oder dem die Elementscheibentheorie von *Terzaghi* zugrunde liegt. Ebene Schlitzgeometrien deckt die Norm ab (DIN 4126, EN 1538) und Standsicherheitsnachweise für nichtebene Schlitzgeometrien, wie z. B. Eck-schlitzgeometrien, findet man in *Triantafyllidis* u. a. [180, 181, 183] sowie in *Grandas* und *Triantafyllidis* [61].

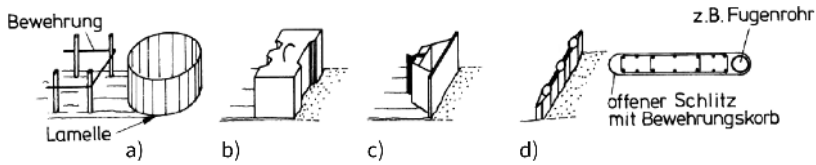
Während des Aushubs und der anschließenden Arbeiten bis zum Betonieren darf der Flüssigkeitsspiegel nicht unter den statisch notwendigen Stand und nicht unter die Unterkante der Leitwand absinken.

Genormt sind bisher nur die Qualitätseigenschaften und Prüfmethode der Tonsuspension für das Zweiphasenverfahren in DIN 4126 und DIN 4127. Alle anderen Stütz- und Dichtungssuspensionen unterliegen derzeit noch einem sehr starken Entwicklungsprozess. Hinweise und Erfahrungen für Dichtungswand-suspensionen sind aus der Literatur zu entnehmen, z. B. GDA-Empfehlungen, 1997.

Die einzelnen Wandelemente werden bei der Zweiphasenwand über ein Fugensystem voneinander getrennt, welches eine weitestgehende Wasserdichtigkeit gewährleisten soll (Bild 1.25). Es gibt allerdings auch Fugensysteme, welche den Einbau von Fugenbändern ermöglichen (Bild 1.25c und d).

Lamellenfugen sind ohne besondere Maßnahmen nicht absolut wasserdicht. Feuchtstellen müssen in Kauf genommen werden und stören nicht, wenn Schlitzwände als reine Bauhilfsmaßnahme dienen. Die Fugen zwischen den einzelnen Betonierabschnitten können sich infolge von Verformungen der Wand aus Erd- und Wasserdrücken und infolge von Schwinden des Betons geringfügig öff-





**Bild 1.25** Fugensystem zwischen einzelnen Schlitzwandelementen; a) mit Abstellrohr, b) mit Betonfertigteil, c) mit Fugenbandelement (System CWS) und d) mit Flachfugen

nen. Das kann zu Undichtigkeiten führen. Durch Anordnung von planmäßigen Dehnungsfugen lässt sich dies vermeiden, jedoch lohnt sich ein derartiger Aufwand nur bei Verwendung der Schlitzwand als endgültige Bauwerkswand.

Eine Vorsorgemaßnahme zum Verhindern von Feuchtstellen in den Lamellenfugen ist der Einbau von Fugenbändern. Diese Lösung mit Fugenbändern hat die derzeit beste Dichtwirkung (Bild 1.25c). Das Abstellelement muss nicht direkt nach der Erstarrungszeit des Betons wieder geborgen werden, sondern erst nachdem der Aushub der Nachbarlamelle abgeschlossen ist. Das Abstellelement wird am Wandkopf vom erhärteten Beton abgestemmt, seitlich in den neu geöffneten Schlitz gekippt und herausgezogen.

#### *Bewehren*

Unmittelbar vor dem Einstellen der Bewehrung ist die im Schlitz mit Feinanteilen des Bodens aufgeladene Suspension zu entsanden, um einen ausreichend geringen Fließwiderstand gegenüber dem Frischbeton sicherzustellen.

In Tabelle 1 der DIN EN 1538 ist daher die zulässige Höchstwichte der Suspension „vor dem Betonieren“ begrenzt (Tabelle 1.1). Die Zeitdauer nach dem Homogenisieren bis zum Beginn des Betonierens sollte aus demselben Grund fünf Stunden nicht überschreiten. Das Betonieren wird durch die Bewehrung umso mehr behindert, je höher die während des Betonierens vorhandene Fließgrenze  $\tau_F$  der stützenden Flüssigkeit ist. Neben der Suspensionswichte ist daher auch die Fließgrenze durch die Beschränkung der „Marsh-Zeit“ in Tabelle 1 der DIN EN 1538 begrenzt. Üblicherweise sollte bei der Ausführung der Wert von  $\tau_F = 26 \text{ N/m}^2$  nicht überschritten werden. Weiterhin sind nach DIN EN 1538 gegenüber der DIN EN 1991-1-1 deutlich größere Mindestbewehrungsabstände erforderlich, die sicherstellen, dass der aufsteigende Frischbeton die Bentonitsuspension vollständig verdrängt und die Bewehrung umfließen kann.

Für die Stababstände des Bewehrungskorbs gilt nach DIN EN 1538:

Für die Vertikalbewehrung:

- Stabdurchmesser  $\geq 12 \text{ mm}$
- horizontaler Abstand  $\geq 100 \text{ mm}$  für Größtkorn  $\geq 20 \text{ mm}$   
 $\geq 80 \text{ mm}$  für Größtkorn  $< 20 \text{ mm}$   
 $\geq 4\text{-facher Größtkorndurchmesser}$

**Tabelle 1.1** Anforderungen an die Stützsuspension bei der Schlitzwandherstellung (aus DIN 1538, Tab. 1)

Eigenschaft	Verwendung		
	Zustand „frisch“	Zustand fertig für die Wiederverwertung	Zustand vor dem Betonieren
Dichte [g/ml]	< 1,10	< 1,25	< 1,15
Marsh-Zeit [s]	32 bis 50	32 bis 60	32 bis 50
Filtratwasserabgabe [ml]	< 30	< 50	entfällt
pH-Wert	7 bis 11	7 bis 12	entfällt
Sandgehalt [%]	entfällt	entfällt	< 4
Filterkuchendicke [mm]	< 3	< 6	entfällt

Für die Horizontalbewehrung:

- vertikaler Abstand  $\geq 200$  mm für Größtkorn  $\geq 20$  mm  
 $\geq 150$  mm für Größtkorn  $< 20$  mm
- horizontaler Abstand der den Korb kreuzenden Stäbe:  $\geq 150$  mm (empfohlen  $\geq 200$  mm)

Bei der konstruktiven Gestaltung einer Schlitzwand sind die Besonderheiten dieser Bauweise zu beachten. Insbesondere ist auf die verfahrensbedingten Toleranzen (s. DIN EN 1538, 8.2) und auf die beim Betonieren zu verdrängende Stützflüssigkeit Rücksicht zu nehmen.

Für Bewehrungsführung, Anschlusskonstruktion und Aussparungen für anschließende Bauteile (z. B. Anker), Fugenbandkonstruktionen u. a. sind konstruktiv besondere Maßnahmen zu treffen. Grundsätzlich ist zu beachten, dass Schlitzwände auch im Detail so zu planen sind, dass der Frischbeton die Bewehrung und Einbauten umfließen und die Stützflüssigkeit verdrängen kann.

#### *Betonieren*

Zum Betonieren werden Kontraktorrohre mit wasserdichten Kupplungen verwendet. Um zu erreichen, dass der aufsteigende Frischbeton über den gesamten Schlitzquerschnitt annähernd lotrecht verläuft, ist das Betonierrohr tief in den Beton einzutauchen. Bei tieferen Schlitzten  $> 5$  m sind mehrere Betonierrohre zu verwenden. Dieses soll gewährleisten, dass durch eine größere Durchflussgeschwindigkeit Betonitsuspensionsablagerungen mit Feststoffen durch den aufsteigenden Kontraktorbeton verdrängt werden. Die Kontraktorrohre (Betonierrohre) werden zu Betonierbeginn knapp (ca. 10 cm) über der Schlitzsohle platziert.

Das Kontraktorverfahren stellt hohe Anforderungen an das Fließvermögen des Betons. Nach DIN 1045-2:2008 muss eine mindestens weiche Konsistenz (Ausbreitklasse F3) gewählt werden. Erfahrungsgemäß ist jedoch ein Ausbreitmaß von 55 bis 60 cm erforderlich, was der Ausbreitklasse F5 „fließfähig“ entspricht. Im

Hinblick auf die Gefahr des Entmischens soll das Ausbreitmaß 63 cm nicht überschritten werden. Die geforderten Ausbreitmaße werden durch einen hohen Wassergehalt oder durch die Zugabe von Fließmitteln erreicht. Damit sind zur Einhaltung des Wassorzementwerts auch höhere Zementgehalte (mind.  $350 \text{ kg/m}^3$ ) verbunden. Ein dadurch bedingtes größeres Schwindmaß ist unbedenklich, weil die Schlitzwandelemente in der Regel nicht länger als 7 bis 10 m und zumindest einseitig in erdfeuchtem Boden eingebettet sind.

Für die Betonzusammensetzung gelten grundsätzlich die DIN 1045-2:2008 in Verbindung mit DIN EN 206-1:2001 und die Richtlinien für die Erstellung und Verarbeitung von Fließbeton. Darüber hinaus werden besondere Anforderungen an die Zusammensetzung von Schlitzwandbeton in der DIN EN 1538 festgelegt. Beispielsweise wird in DIN EN 1538 der Mindestzementgehalt und Gesamtmehlkorngehalt in Abhängigkeit des Größtkorns sowie die möglichen Größtkornmaße selbst festgelegt.

Weitere Betonierregeln sind:

- Vermeiden von längeren Betonierunterbrechungen,
- Steigggeschwindigkeit des Betons mind. 3 m/h,
- Homogenisieren der Stützflüssigkeit oder Austausch von stark versandeter Stützflüssigkeit vor dem Betonieren zur Einhaltung der geforderten Suspensionsseigenschaften nach DIN EN 1538 Tabelle 2 „vor dem Betonieren“,
- Rüttelverdichtung des Betons ist nicht erlaubt.

Beim Betoniervorgang durchmischt sich die oberste Zone des Betons meist mit Stützflüssigkeit. Dieser Bereich kann daher konstruktiv nicht genutzt werden und ist nach Freilegen der Wand zu entfernen.

#### *Maßabweichungen der Wand*

Maßabweichungen der fertigen Schlitzwand ergeben sich aus Abweichungen von der Lotrechten und „Ausbauchungen“ durch Zurückdrängen des Bodens infolge Frischbetondruck oder Ausbrechen von Bodenscheiben, Rollkieslagen oder Steinen aus der Schlitzwandung. Die Beschaffenheit der Oberfläche ist also vor allem von dem anstehenden Boden abhängig. Je grobkörniger ein nichtbindiger Boden oder weicher ein bindiger Boden ist, desto größere Unregelmäßigkeiten der Wandoberfläche sind zu erwarten.

Aus den genannten Ursachen werden „übliche“ Maßabweichungen als systembedingte Toleranzen in DIN EN 1538 definiert und sind bei der Planung des Schlitzwandbauwerks zu berücksichtigen:

Lageabweichung am Wandkopf:	≤ 25 mm auf der Aushubseite
	≤ 50 mm auf der Erdseite
Abweichung von der Lotrechten:	≤ 1 % der Aushubtiefe
Ausbauchungen auf der Wandoberfläche:	≤ 100 mm über das Maß der Lagetoleranzen

Darüber hinausgehende Beulen müssen meist beseitigt werden.

### Weitere Hinweise zum statischen System

Bei ausgesteiften Schlitzwänden werden in der Regel Gurte angeordnet, die auf Konsolen gelagert oder am Wandkopf aufgehängt sind. Wird jedoch eine entsprechende Querbewehrung eingelegt, dann kommt zusammen mit der Verdübelungswirkung an den Lamellenfugen eine längsverteilende Wirkung zustande, die es erlaubt, auf die Gurtung zu verzichten. Man spricht von einer innenliegenden Gurtung der Wand. Bei verankerten Schlitzwänden ist der Verzicht auf Gurtungen die Regel. Oft werden Aussparungen angeordnet, in denen die Ankerköpfe verschwinden. Direkt unter der Grundplatte des Ankerkopfes ist dann im Beton eine Zusatzbewehrung (Wendelbewehrung) für den Querspaltzug einzusetzen.

Weiterführende Hinweise z. B. hinsichtlich der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit sowie der Qualitätssicherung bei der Ausführung findet man in den relevanten Regelwerken DIN EN 1997-1, DIN EN 1992-1, DIN 1045-2, EN 206-1, DIN 4126, DIN EN 1538 und der EAB.

### Gemischte Verbauarten

Oft ist es nicht zweckmäßig, Schlitz- und Bohrpfahlwände bis zur Geländeoberfläche zu führen, besonders dann, wenn sie nach Abschluss der Bauarbeiten teilweise entfernt werden müssten. Soweit es die Platzverhältnisse zulassen, böscht man die Baugrube im oberen Bereich ab und ordnet eine Berme an (Bild 1.26). Ist dies nicht möglich, so kann man leichte Trägerprofile in die Schlitz- oder die Pfahlwände einbetonieren und den Bereich bis zur Geländeoberfläche ausbohlen (Bild 1.27). Dieser Verbau lässt sich später leicht entfernen. Gegenüber Spundwänden und Trägerbohlwänden wirtschaftlich konkurrenzfähig sind Schlitz- und Pfahlwände im Allgemeinen aber nur, wenn sie als tragendes Glied in das zu erstellende Bauwerk einbezogen werden. In anderen Fällen können nur besondere örtliche Verhältnisse, z. B. Boden- und Grundwasserverhältnisse, Anforderungen hinsichtlich Lärm- und Erschütterungsschutz oder Verformungsbeschränkungen, ihre Verwen-

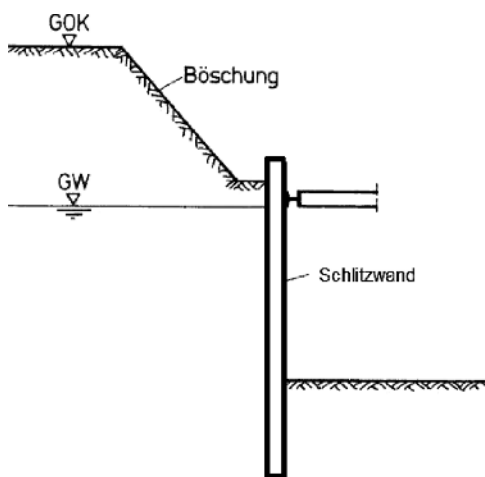


Bild 1.26 Gemischter Verbau (Böschung/Schlitzwand)

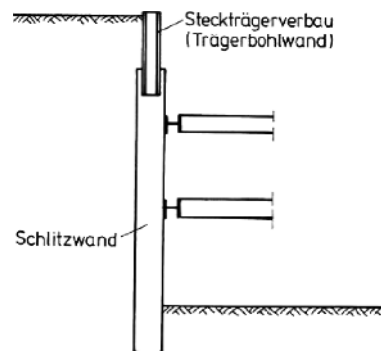


Bild 1.27 Steckträgerverbau

dung rechtfertigen. Maßgebend für die gemischten Verbauarten sind wirtschaftliche Aspekte, örtliche Erfahrungen und die Grundwasserverhältnisse sowie die Notwendigkeit, die oberen 2 m des Verbaus frei von bleibenden Einbauten zu halten, damit z. B. Leitungen eingebaut werden bzw. weitergeführt werden können.

## 1.7 Injektionswände, Frostwände

### Injektionswände

Reicht eine Baugrube bis unmittelbar an ein bereits bestehendes Gebäude heran, so stellt die Ausbildung einer Injektionswand unterhalb des Gebäudes eine technisch und wirtschaftlich optimale Lösung dar. Voraussetzung hierfür ist, dass der anstehende Boden für eines der verschiedenen Injektionsmittel geeignet ist. Gegenüber den übrigen Verbauarten hat die Unterfangungsinjektion den Vorteil der direkten Lastübertragung. Außerdem entsteht kein Platzverlust zwischen Alt- und Neubau, da die Injektionswand mit der Giebelwand bzw. den Fundamenten abschließt. Bei großer freier Höhe muss der Unterfangungskörper zusätzlich verankert werden, um unzulässige Bewegungen zu vermeiden und die sonst erforderliche Kubatur des Injektionskörpers zu verringern. Im Allgemeinen ist eine Verankerung schon bei einer freien Höhe von 2 bis 3 m wirtschaftlich. Bei noch größeren Abfangungshöhen werden mehrere Ankerlagen erforderlich.

Neben der Anwendung bei der Unterfangung von Fundamenten werden Injektionen oft für die Ausbildung von Baugrubenwänden dort verwendet, wo Schlitz- oder Bohrpfahlwände wegen Versorgungsleitungen oder Kanälen unterbrochen werden müssen.

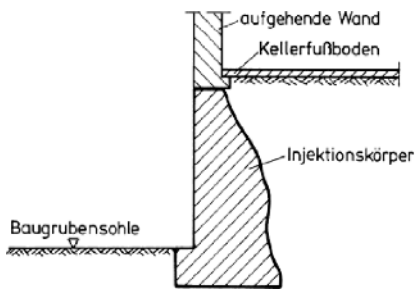
Injektionskörper können auch dort installiert werden, wo die Spundwandschlösser aufgrund der Rammung gesprengt wurden oder dort, wo Pfahlwände nicht als überschnitten ausgeführt wurden.

Unterfangungskörper müssen statisch nachgewiesen werden. Der Nachweis erstreckt sich auf Normalspannungen und Biegespannungen in den ungünstigsten Schnitten sowie auf Scherspannungen am Fuß und Kopf des Körpers.

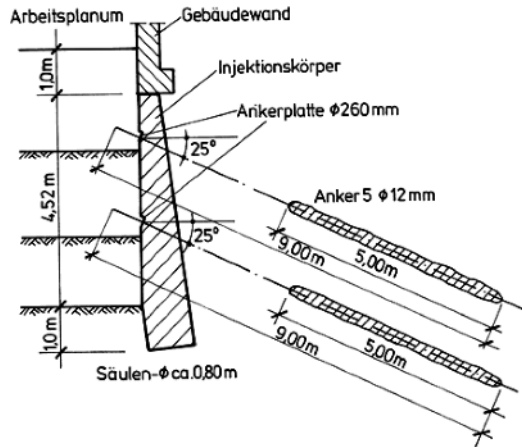
Injizierte Unterfangungskörper können keine (Biege-)Zugspannungen aufnehmen. Die Übertragung von Biegemomenten erfolgt daher durch eine außermittige Lage der Druckspannungserzeugenden (Normalkraft in lotrechter Wandrichtung), wobei rechnerisch klaffende Fugen auftreten können. Eine möglichst hohe Gebäudeauflast wirkt sich daher günstig auf das Tragverhalten der Injektionswand bzw. den erforderlichen vertikalen Ankerabstand aus.

Neben der inneren Sicherheit des Injektionskörpers sind noch Grundbruchsicherheit, Gleitsicherheit und Geländebruchsicherheit nachzuweisen.

Bild 1.28 zeigt beispielhaft einen Injektionskörper, der wie eine Gewichtsstützwand wirkt. Beim Beispiel in Bild 1.29 kann der Injektionskörper nur die vertikalen Lasten in den Untergrund abtragen. Zur Aufnahme des Erddrucks werden Anker eingebaut.



**Bild 1.28** Injektionskörper als Gewichtsstützwand



**Bild 1.29** Injektionskörper mit Rückverankerung und Aussteifung

### Frostwände

Beim Gefrierverfahren werden doppelwandige Gefrierrohre im Abstand von 0,8 bis 2,0 m in vorab hergestellte Bohrlöcher eingebaut oder eingerammt. Die Kühlflüssigkeit wird im inneren Rohr zugefügt und im Hohlraum zwischen dem inneren und äußeren Rohr hochgedrückt. Dem umgebenden Gebirge wird Wärme entzogen, bis das im Boden vorhandene Wasser gefriert und den Boden verfestigt.

Im Hinblick auf das Tragverhalten kommen folgende Systeme infrage:

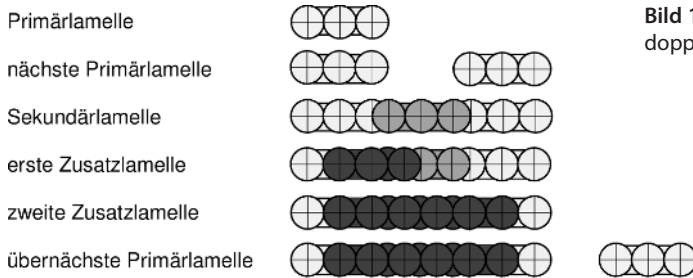
- kreisförmige oder elliptische Frostkörper, die Ringdruckspannung aufnehmen können,
- Frostkörper, die wie Gewichtsstützwände wirken,
- Frostkörper, die durch Steifen oder Anker gestützt werden.

## 1.8 Mixed-in-Place-Wände

Die Herstellung der Mixed-in-Place-Wände (MIP) basiert auf der sog. „Tiefreichenden Bodenstabilisierung“ oder im Englischen „Deep Soil Mixing (DSM)“. Dabei entsteht aus dem anstehenden Boden durch Zugabe von Zement, Wasser und ggf. weiteren Stoffen ein verbessertes Bodenmaterial. Das Verfahren wurde ursprünglich zur Bodenverbesserung oder zur Dichtwandherstellung [176] eingesetzt und kommt auch bei der Herstellung von Baugrubenwänden zum Einsatz.

Vom Tragsystem her vergleichbar mit MIP-Wänden ist die Trägerbohlwand mit Spritzbetonausfachung. Jedoch ist das Bauverfahren völlig unterschiedlich. Zunächst wird ein Mixed-in-Place-Schlitz hergestellt. Dabei werden häufig Geräte mit 3-fach-Schnecken, die gegenläufig arbeiten, eingesetzt. Zur verbesserten Homogenisierung wird im sog. doppelten Pilgerschrittverfahren gearbeitet, d.h. nach Herstellung der Primär- und Sekundärlamellen werden deren Überschneidungsberei-





**Bild 1.30** Herstellabfolge im sog. doppelten Pilgerschrittverfahren



**Bild 1.31** Ausführungsbeispiel einer MIP-Wand (nach Bauer Spezialtiefbau GmbH, Schrobenthausen)

che in zwei zusätzlichen Lamellen noch einmal überbohrt. Danach folgt wieder eine Primärlamelle (Bild 1.30). Nach der Fertigstellung des Schlitzes werden die Träger eingesetzt. Verwendet werden z.B. HE-B-Profile oder auch Gitterträger. Bild 1.31 zeigt ein ausgeführtes Beispiel einer MIP-Wand mit Gurtung und obliegenden Steifen zur Sicherung einer 8,55 m tiefen Baugrube.

Wie bei Trägerbohlwänden mit Spritzbetonausfachung ohne Bewehrung kann bei MIP-Wänden der Bereich zwischen den Trägern als gewölbartiges Tragwerk modelliert werden. Das erhärtete Gemisch aus Boden und Bindemittel kann eine Festigkeit wie für einen Beton der Güte B5 erreichen. Dies entspricht einem  $\beta_{w28}$  von  $5 \text{ N/mm}^2$ . Auf dieser Grundlage kann der Nachweis für das Gewölbe geführt werden.

MIP-Wände können eine Alternative sein zu Dichtwänden mit eingestellter Spundwand, zu Spundwänden und zu Trägerbohlwänden mit Holzausfachung, insbesondere bei verlorenem Verbau. Vorteile sind eine relativ erschütterungsarme Herstellung. Im Vergleich zu Trägerbohlwänden mit herkömmlicher Holzausfachung sind die Verformungen geringer. Dies rechtfertigt den Ansatz eines erhöhten aktiven Erddrucks, wenn zusätzlich die Wand annähernd unnachgiebig gestützt wird.