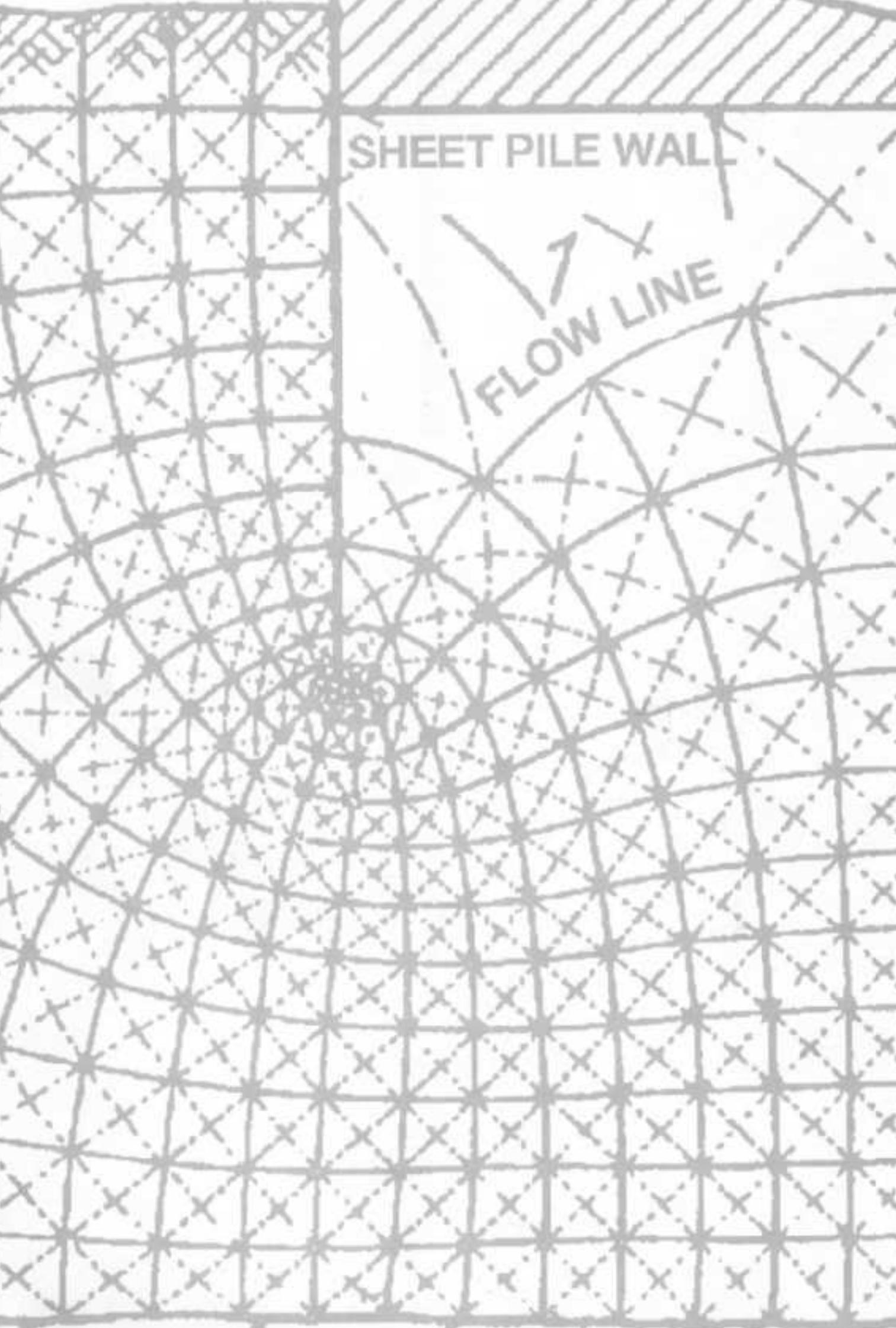


A stylized graphic of a steel sheet piling cross-section, rendered in shades of green. The shape is a thick, rounded 'U' with a central channel, and it is surrounded by a white outline that follows its general shape. The background is a light green gradient.

Stahlspundwand

**Die Dichtigkeit von
Spundwandbauwerken**

Teil 1: Bemessung



SHEET PILE WALL

FLOW LINE

Rechnerische Behandlung der Dichtheit von Spundwänden

1. Einleitung

Bisher war es dem Ingenieur nicht möglich, im Entwurfsstadium die Dichtheit einer Spundwand und deren Einfluß auf die Grundwasserströmung abzuschätzen. Das Fehlen einer geeigneten Methode zur rechnerischen Behandlung der Dichtheit von Spundwänden konnte in der Vergangenheit dann zu unwirtschaftlichen Lösungen führen, wenn die angewendeten Dichtungsmaßnahmen weit über der geforderten spezifischen Dichtheit des Spundbauwerkes lagen.

ProfilARBED (L), der weltweit größte Hersteller von Stahlspundwänden führte zusammen mit Grondmechanica Delft (NL) ein umfangreiches Forschungsprojekt durch, mit dem Ziel, die Dichtheit der Spundwand den Anforderungen des jeweiligen Bauwerkes anpassen zu können. Hierzu wurden die Sickerwassermengen durch das mit verschiedenen Materialien gedichtete Schloß, das ungedichtete und das verschweißte Schloß bestimmt.

Das Forschungsprojekt deckte zwei Bereiche ab:

- Aufstellen einer Theorie zur Beschreibung des Sickervorganges durch das Schloß
- In-situ-Versuche an Spundwänden

Diese Veröffentlichung vermittelt dem in der Praxis (Entwurf) tätigen Ingenieur die Ergebnisse der Forschungsarbeit und versetzt ihn in die Lage, die zu erwartenden Sickerwassermengen rechnerisch abzuschätzen unter Berücksichtigung von eventuellen Schloßdichtungen. Es werden mehrere Varianten untersucht: das ungedichtete Schloß, das gedichtete Schloß (mittlere bis hohe Dichtheit) sowie das verschweißte Schloß für sehr hohe Dichtungsanforderungen.

Somit ist es möglich schon im Entwurfsstadium die Dichtheit der Spundwandlösung an die Erfordernisse anzupassen und somit eine optimale wirtschaftliche Dichtwand zu erhalten.

2. Der Schloßsickerwiderstand

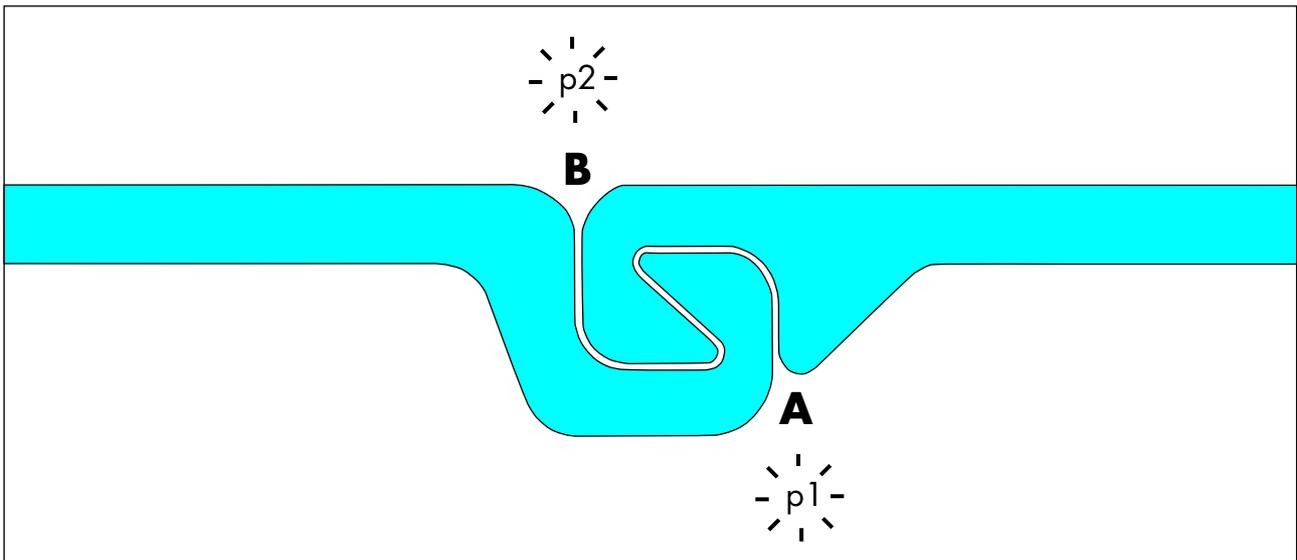


Abb. 1

Stahlpundbohlen sind von sich aus vollständig dicht. Einzig durch das Schloß kann ein Fluid eine Spundwand „durchströmen“. Für homogene Dichtungsschirme wie Betondichtwände kann der Sickervorgang durch die Wand mit Hilfe des Darcy'schen Gesetzes beschrieben werden:

$$\mathbf{v} = \mathbf{K} \cdot \mathbf{i} \quad (1)$$

hierbei ist v die sogenannte Filtergeschwindigkeit und i ist der hydraulische Gradient:

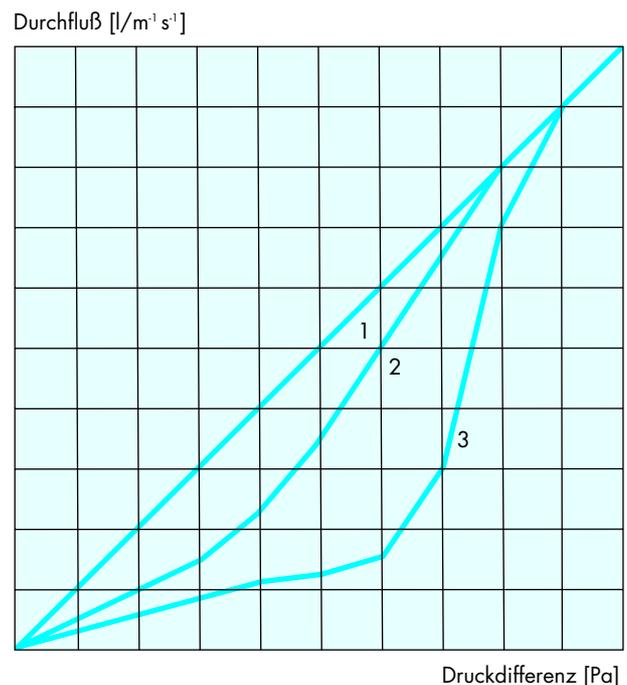
$$\mathbf{i} = (\Delta p / \gamma) / s \quad (2)$$

In einem horizontalen Schnitt ist dieser definiert als das Verhältnis der Druckhöhe $(\Delta p / \gamma)$ zum Sickerweg (s), siehe hierzu auch [4].

Abbildung 1 zeigt einen Horizontalschnitt durch ein Spundwandschloß. Die positive Druckdifferenz zwischen den Punkten A und B: $p_2 - p_1$ führt zu einem Sickervorgang von B nach A.

Die Art der Strömung (Druckleitung; Potentialströmung,...) welche sich dabei im Schloß einstellt ist nur schwer bestimmbar. Jedenfalls ist der lokale Vorgang in dem engen Zwischenraum im Schloß nicht durch das Darcy'sche Gesetz beschreibbar. Deswegen wurde von Grondmechanica Delft das Konzept des Schloßsickerwiderstandes eingeführt. Abbildung 2 zeigt eine Spundwand mit unterschiedlichen Wasserspiegeln auf beiden Seiten der Wand, welche zu einer resultierenden Druckdifferenz führen, deren Größe von der Koordinate z abhängt. Unter Vernachlässigung der vertikalen Strömung im Schloß, eine Annahme die allgemeiner ist als die gängige Dupuit-Forchheimer-Hypothese, kann davon ausge-

gangen werden, daß in einer horizontalen Ebene der prinzipielle Zusammenhang zwischen der Sickermenge durch das Schloß und der dort wirkenden Druckdifferenz durch die in Abbildung 3 dargestellten Kurven beschrieben wird (siehe hierzu auch [2]).



1. Leeres Schloß
2. Mit Boden verstopftes Schloß
3. Mit Schloßdichtung

Abb. 3

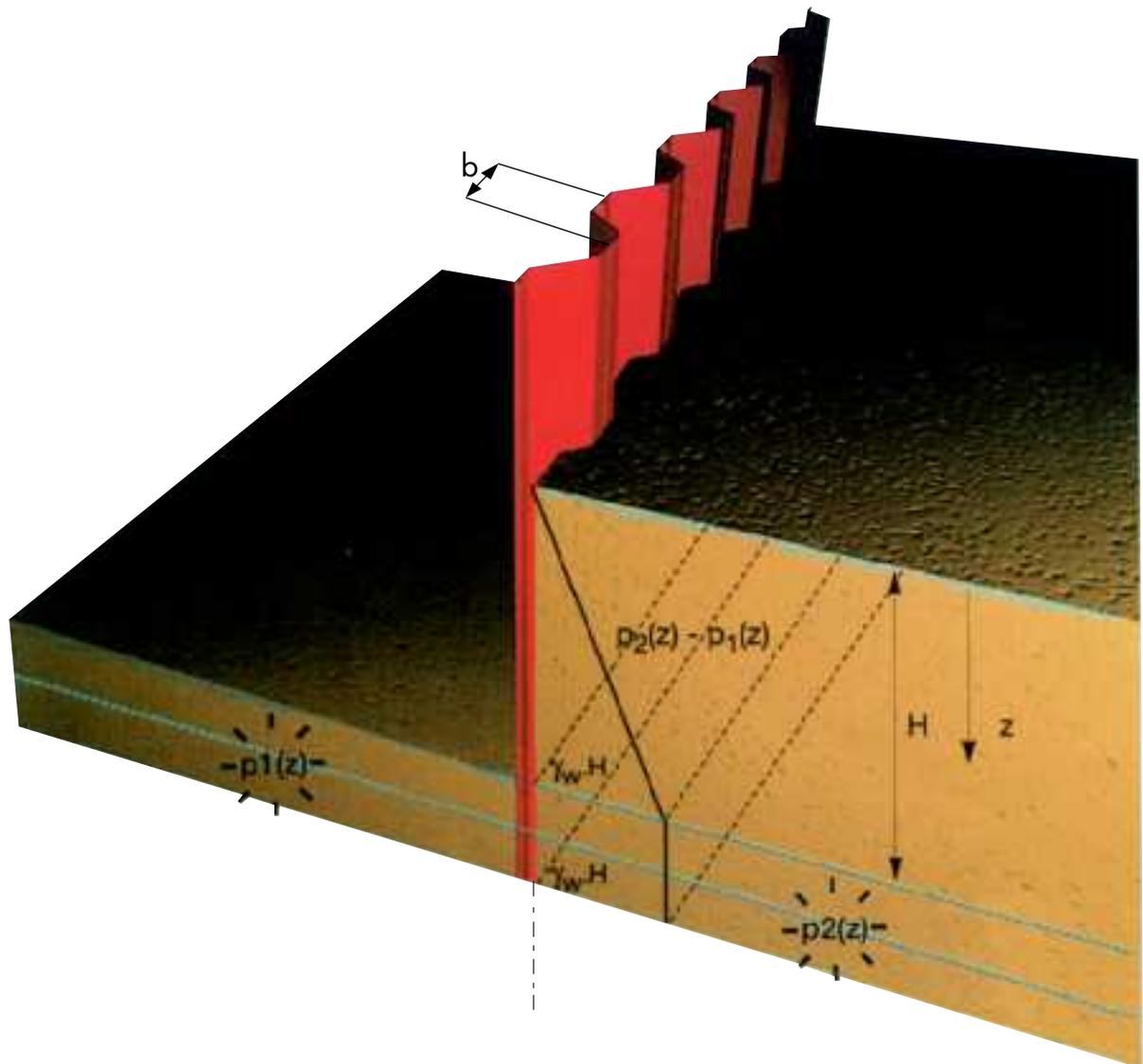


Abb. 2

Eine für die Praxis sinnvolle Vereinfachung des Vorganges stellt die Annahme einer Proportionalität zwischen der Sickermenge und der Druckdifferenz dar.

Mit der Proportionalitätskonstante ρ schreibt sich dies:

$$\mathbf{q}(z) = \rho \cdot \Delta \mathbf{p}(z) / \gamma \quad (3)$$

Es bedeuten:

$\mathbf{q}(z)$: der Durchfluß pro m im Schloß in z, [m³/s/m]

$\Delta \mathbf{p}(z)$: die Druckdifferenz in z, [kPa]
 γ : die Wichte des Fluids, [kN/m³]
 ρ : der Kehrwert des Schloßwiderstandes, [m/s]

(3) setzt keine Potentialströmung im Schloß voraus. ρ spiegelt alle Eigenschaften des Schloßes wieder und muß experimentell ermittelt werden.

3. Die Feldmessungen

Grondmechanica Delft und ProfilARBED haben eine große Anzahl von Feldversuchen durchgeführt, um die Anwendbarkeit der Gleichung (3) zu gewährleisten. Aus den Ergebnissen dieser Versuche wurden ρ -Werte für die verschiedenen Schloßdichtungen bestimmt.

Dabei wurde zum Abteufen der Bohlen die Vibrationsrammung benutzt, welche für die Schloßdichtung die stärkste Beanspruchung darstellt. Jede Schloßdichtung wurde in mehrere Schlösser eingebracht und auf ihre Dichtheit untersucht.

Der Sickerstrom wurde in Abhängigkeit vom aufgetragenen Wasserdruck für jedes Schloß mit Hilfe einer speziellen Meßvorrichtung, siehe Abbildung 4, gemessen. Das zeitabhängige Verhalten wurde durch Ablesungen in konstanten Zeitschritten erfaßt.

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Auswahlkriterien für eine Schloßdichtung (bituminös oder quellend), basierend auf der Auswertung der Ergebnisse der über hundert Versuche; zum Vergleich werden

ebenfalls die Ergebnisse für das leere Schloß aufgeführt. Hierzu ist jedoch zu bemerken, daß die ρ -Werte für das leere Schloß sehr stark vom anstehenden Boden abhängen; die Streuung dieser Ergebnisse ist entsprechend groß. Beispielhaft sind in Abbildung 5 Versuchsergebnisse aufgetragen: Sie belegen, daß das vereinfachte Vorgehen nach Formel (3) durchaus zulässig ist, zumindest in einem bestimmten Druckintervall.

Die von Grondmechanica Delft und ProfilARBED gemeinsam durchgeführten Versuchsreihen zeigen deutlich, daß die Schloßdichtung in der Lage ist die Dichtheit einer Spundwand drastisch zu erhöhen. Zusätzlich konnte dabei gezeigt werden, daß die Dichtungsmaterialien sogar nach der Vibrationsrammung voll funktionsfähig bleiben, vorausgesetzt, die herstellerepezifischen Verarbeitungshinweise werden strengstens befolgt und das Auftragen erfolgt mit den von ProfilARBED entwickelten Geräten.

Tabelle 1

SPUNDWANDDICHTUNG	ρ [10^{-9} m/s]		ANWENDUNG DES SYSTEMS	BEZOGENE KOSTEN **
	100kPa	200kPa		
LEERES SCHLOSS*	> 100	-	-	0
BITUMINÖSE SCHLOSSDICHTUNG	< 60	NICHT EMPFOHLEN	EINFACH	1,0
QUELLDICHTUNG	0,3	0,3	MUSS FACHGERECHT ERFOLGEN	2
DICHTSCHWEISSEN DER SCHLÖSSER	0	0	NUR NACH AUSHUB FÜR DAS BAUSTELLENSCHLOSS MÖGLICH	5

* WERTE SIND STARK VOM BODEN ABHÄNGIG

** Bezogene Kosten = $\frac{\text{Kosten des Dichtungssystems}}{\text{Kosten für bituminöse Schloßdichtung}}$

Bemerkung: Bemessungswerte sind in der Tabelle im Klappentext angegeben.

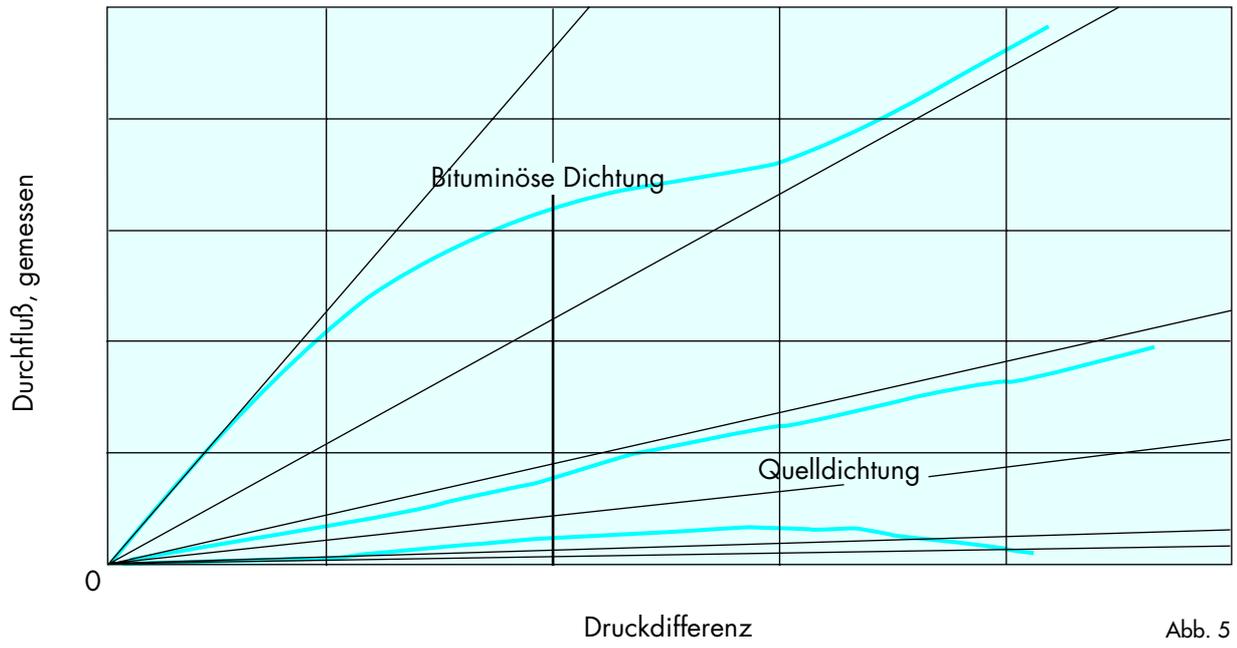


Abb. 5

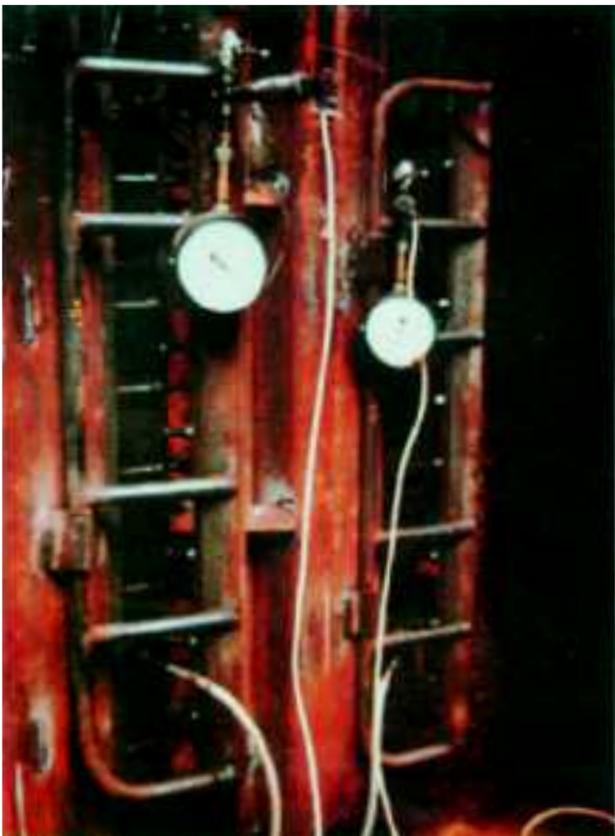


Abb. 4

4. Anwendung der Berechnungsgrundlagen

Die grundlegende Beziehung ist:

$$q(z) = \rho \cdot \Delta p(z) / \gamma \quad (3)$$

$q(z)$: Durchfluß pro m Schloß in z , [$m^3/s/m$]
 $\Delta p(z)$: Druckdifferenz in z , [kPa]
 γ : Wichte des Fluids, [kN/m^3]
 ρ : Kehrwert des Schloßsickerwiderstandes, [m/s]

Die geometrischen Definitionen sind in Abb. 1 und 2 gegeben.

4.1. Sickervorgang durch eine Spundwand: Die einfache Situation

Abb. 6 zeigt den Querschnitt einer Baugrubenhälfte. Der Wasserspiegel wurde in der Baugrube um 5 m abgesenkt. Der Spundwandfuß bindet in eine als wasserdicht angenommene Bodenschicht ein. Unter dieser Annahme kann die Umströmung des Spundwandfußes vernachlässigt werden. Die Frage, ab welchem K-Wert diese Annahme berechtigt ist, wird in 4.3. angeschnitten. Vereinfachend wird also nur der Sickervorgang durch eine Wand betrachtet. Das hydrostatische Druckdiagramm ist in Abb. 6 angegeben: max. $(\Delta p) = \gamma \cdot H$, und daraus folgt für den Durchfluß pro Schloß:

$$Q_1 = \int_0^{H+h} q(z) \cdot dz = (\rho/\gamma) \cdot \int_0^{H+h} \Delta p(z) \cdot dz \quad (4)$$

Der Verlauf des hydrostatischen Druckes $\Delta p(z)$ ergibt sich laut Abb. 6 zu:

$$\Delta p(z) = \begin{cases} \gamma \cdot z, & z \leq H \\ \gamma \cdot H, & H < z \leq H + h \end{cases}$$

Das Integral in (4) entspricht somit dem Flächeninhalt des Druckdiagrammes und der Durchfluß pro Schloß beträgt:

$$Q_1 = \rho \cdot H \cdot (0,5 H + h) \quad (5)$$

Die Gesamtzahl der Spundwandschlösser in der Baugrubenumschließung beträgt:

$$n = L / b \quad (6)$$

L: Umfang der Baugrube in m
b: Systembreite der Bohlen in m

Insgesamt ergibt sich ein Sickerwasserstrom in die Baugrube von:

$$Q = n \cdot Q_1 \quad (7)$$

(7) ist eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung: da verschiedene vereinfachende Annahmen getroffen wurden: z.B. wurde der tatsächliche Verlauf des sich einstellenden Wasserspiegels vernachlässigt.

ZAHLENBEISPIEL:

Gegeben sei eine rechteckige Baugrubenumschließung aus AZ18-Bohlen: $b = 0,63$ m. Der Umfang der Baugrube beträgt $L = 160$ m.

Abb. 6 zeigt eine Querschnittshälfte mit den geometrischen Daten: $H = 5$ m und $h = 2$ m.

Jedes Schloß ist mit einer Quelledichtung versehen und ist durch Angabe des ρ -Wertes vollständig beschrieben: $\rho = 3,0 \cdot 10^{-10}$ m/s.

Gemäß (6) beträgt die Zahl der Schlösser:

$$n = 160 / 0,63 = 254 \quad (6)$$

Der Durchfluß pro Schloß folgt aus (5) zu:

$$Q_1 = 3,0 \cdot 10^{-10} \cdot 5,0 \cdot (0,5 \cdot 5,0 + 2,0) \cdot (5) \\ Q_1 = 6,75 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s}$$

und somit erhält man den gesamten Zufluß in die Baugrube aus (7):

$$Q = 254 \cdot 6,75 \cdot 10^{-9} \text{ m}^3/\text{s} \quad (7) \\ Q = 6,17 \text{ l/h}$$

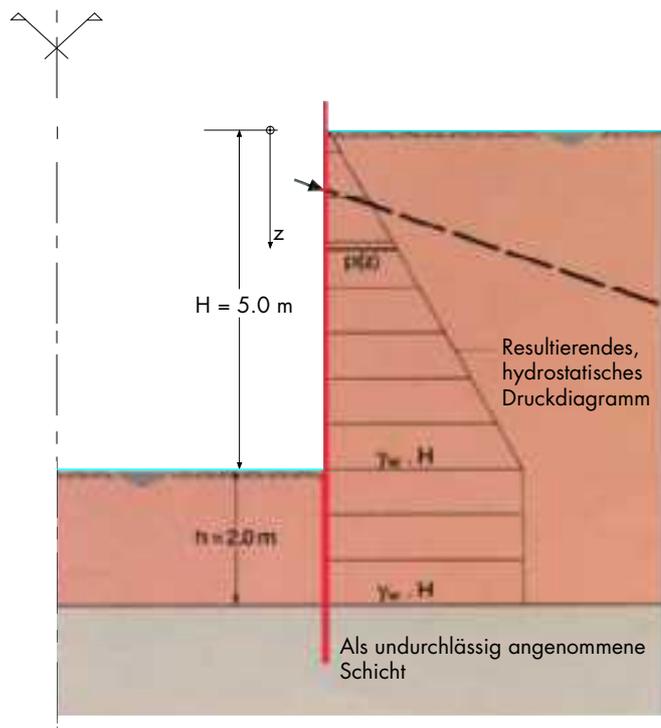


Abb. 6

4.2. Vergleich mit porösen Dichtwänden

Der Ingenieur muß beim Entwurf einer Dichtwand des öfteren einen Leistungsvergleich in Bezug auf die Dichtigkeit, zwischen der Spundwandlösung einerseits und einer Lösung basierend auf einem porösen Material (z.B. Beton) andererseits, durchführen. Eine Schlitzwand z.B. kann als eine poröse Dichtwand betrachtet werden und der Sickervorgang durch die Wand mit dem Darcy'schen Gesetz beschrieben werden. Der Vergleich zwischen der Spundwand und der porösen Dichtwand kann nur durchgeführt werden unter der Voraussetzung gleicher Durchflüsse pro Wandflächeneinheit unter gleicher Druckbeaufschlagung. Mit den Definitionen aus Abb. 7 unter Anwendung der Darcy'schen Formel (siehe [2] und [4]) folgt für den spezifischen Durchfluß (= pro Flächeneinheit):

$$Q_{sw} = K \cdot (\Delta p / \gamma) / d \quad (8) \text{ mit}$$

- d:** Dicke der Wand in m
- K:** Durchlässigkeitskonstante der Wand in horizontaler Richtung in m/s
- Δp :** Druckunterschied auf beiden Seiten der Wand in kPa

Der spezifische Durchfluß für die Spundwand ergibt sich mit den Angaben aus Abb. 7 sowie (3), (6) und (7) mit $L = 1 \text{ m}$ zu

$$Q_{sp} = (1/b) \cdot \rho \cdot (\Delta p / \gamma) \quad (9)$$

Durch Gleichsetzen der beiden spezifischen Durchflüsse:

$$Q_{sw} = Q_{sp} \quad (10)$$

erhalten wir:

$$(K/d) = (\rho/b) \quad (11)$$

Bei einer gegebenen Spundwand kann man mit Hilfe von (11) die Daten für die poröse Wand ermitteln, welche unter der gleichen Druckbeaufschlagung denselben Durchfluß wie die Spundwand hat. Geht man dabei von einer Wanddicke von 1 m aus erhält man einen äquivalenten K-Wert.

$$K_e = \rho \cdot (1 \text{ m}) / b \quad (12)$$

Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß die beiden Sickerströmungen vollkommen verschieden sind.

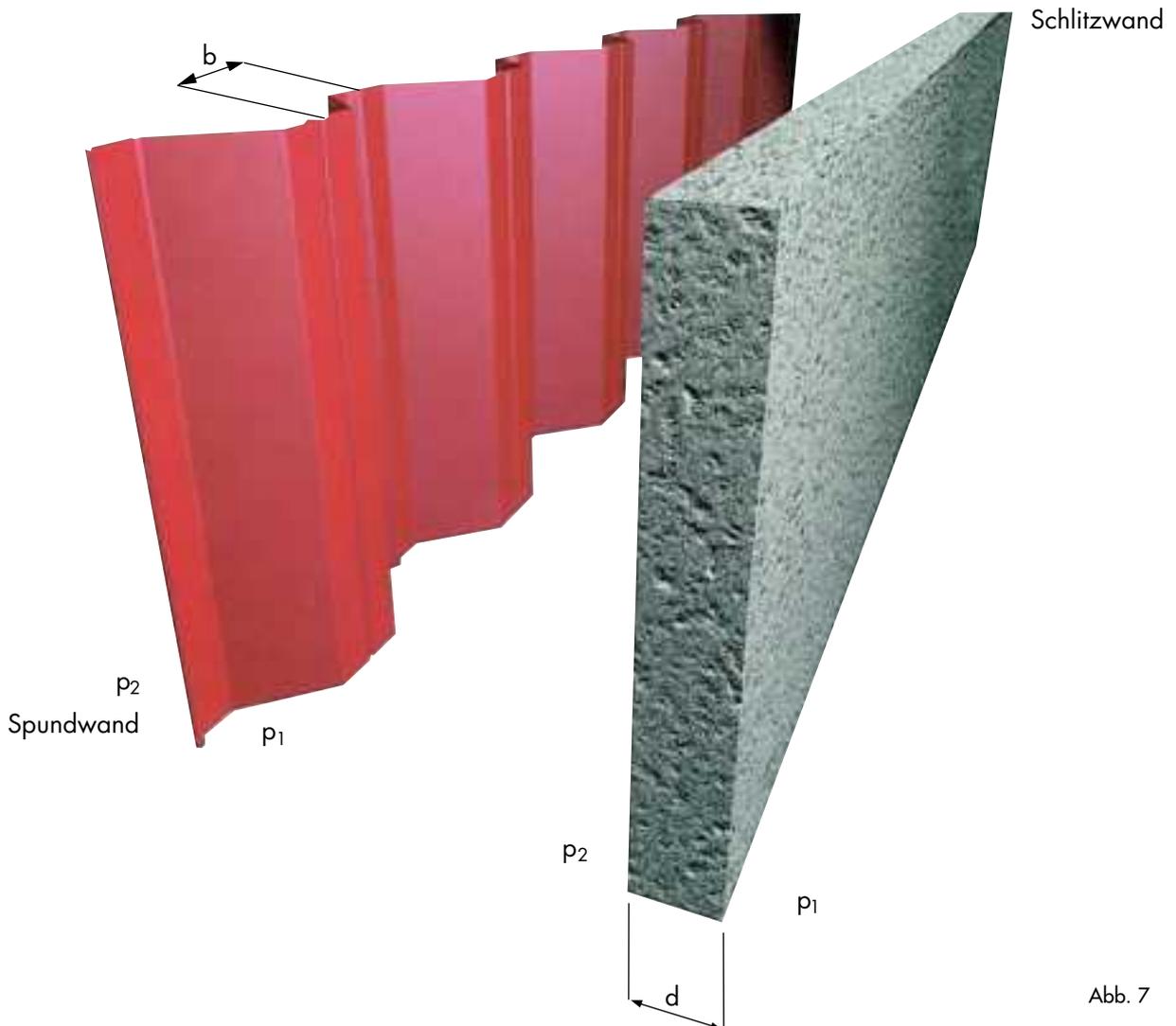


Abb. 7

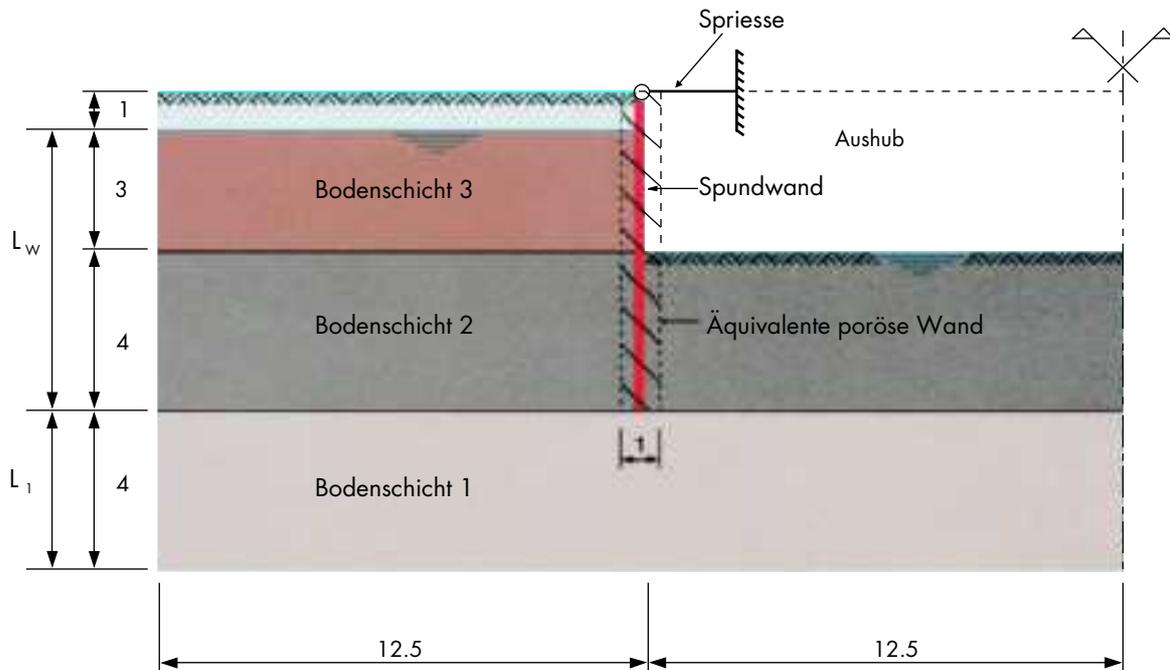


Abb. 8

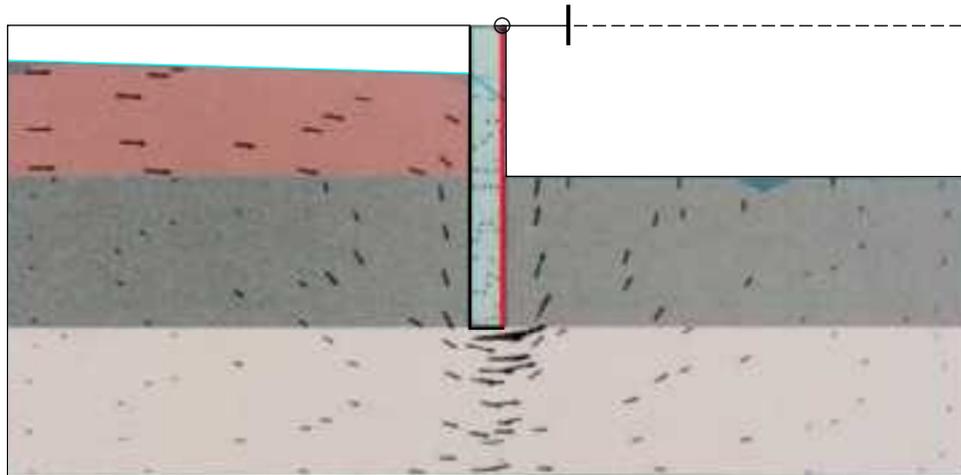
4.3. Zweidimensionale Durch- und Umströmung einer Spundwand

In Abschnitt 4.1 wurde die Umströmung des Spundwandfußes vernachlässigt. Dieses Vorgehen ist nur zulässig, wenn die Einbindeschicht des Fußes viel undurchlässiger ist als die obere Schicht (Abb. 6). Ist diese Voraussetzung nicht erfüllt, stellt sich sowohl eine Sickerströmung durch die Wand als auch eine Umströmung des Spundwandfußes ein. Um das gesamte Strömungsfeld zu erfassen kann auf ein Simulationsprogramm für 2D-Sickerströmungen zurückgegriffen werden, welches für PCs erhältlich ist. Da diese Programme jedoch nur Sickerströmungen nach Darcy berechnen,

muß die Spundwand zuerst in eine äquivalente poröse Dichtwand der Dicke d mit einem entsprechenden K -Wert (nach 11) umgewandelt werden. Um diese Vorgehensweise zu verdeutlichen und um gleichzeitig den Einfluß der unteren Bodenschicht aufzuzeigen wurden vier verschiedene Fälle durchgerechnet. Die vier Fälle sind Varianten der in Abb. 8 im Querschnitt dargestellten Baugrube. Die Spundwand dient als Stützbauelement und muß gleichzeitig eine Funktion als Dichtwand erfüllen. Für die Berechnung der sich einstellenden stationären Grundwasserströmung wird die Spundwand ersetzt durch eine poröse äquivalente Dichtwand der Dicke $d = 1$ m. Der äquivalente K -Wert kann dann mit (12) berechnet werden.

TABELLE 2

ZEILE		FALL 1	FALL 2	FALL 3	FALL 4
1	BODENSCHICHT 1, $i=1$ K_i [m/s]: BODENSCHICHT 2, $i=2$ BODENSCHICHT 3, $i=3$	10^{-4} 10^{-4} 10^{-3}	10^{-4} 10^{-4} 10^{-3}	10^{-7} 10^{-4} 10^{-3}	10^{-4} 10^{-4} 10^{-3}
2	ÄQUIVALENTE PORÖSE WAND: $K_w = \rho/b$ [m/s]	10^{-6}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-5}
3	GEOMETRIE: L_w/L_1	$7/4$	$7/4$	$7/4$	$7/8$
4	$K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1$	0,0175	0,175	17,5	0,0875
5	GESAMTE SICKERWASSERMENGE GEMÄSS 2D-MODELL: D_i [l/h]	518	742	60,5	887
6	SICKERWASSERSTROM DURCH DIE WAND GEMÄSS 4.1.: D_w [l/h]	59,4	594	59,4	594
7	D_w / D_i [%]	11,5	80	98,2	67



Ultimate flow field with phreatic line
Extreme velocity 6.57E-05 units

Abb. 9

Die Berechnung der Grundwasserströmung erfolgt dann mit Hilfe des Finite Elemente Programmes PLAXIS. Die Tabelle 2 fasst die Eingabedaten und die Ergebnisse für die vier Fälle zusammen. Die jeweiligen Strömungsfelder sind in den Abb. 9, 10, 11 und 12 dargestellt.

Fall 1: $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 0,0175$

Die Wand ist insgesamt viel weniger durchlässig als die untere Bodenschicht. Es findet nahezu ausschließlich eine Umströmung des Spundwandfußes statt (Abb. 9).

Fall 2: $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 0,175$

Es findet sowohl eine Umströmung als auch eine Durchströmung statt (Abb.10).

Fall 3: $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 17,5$

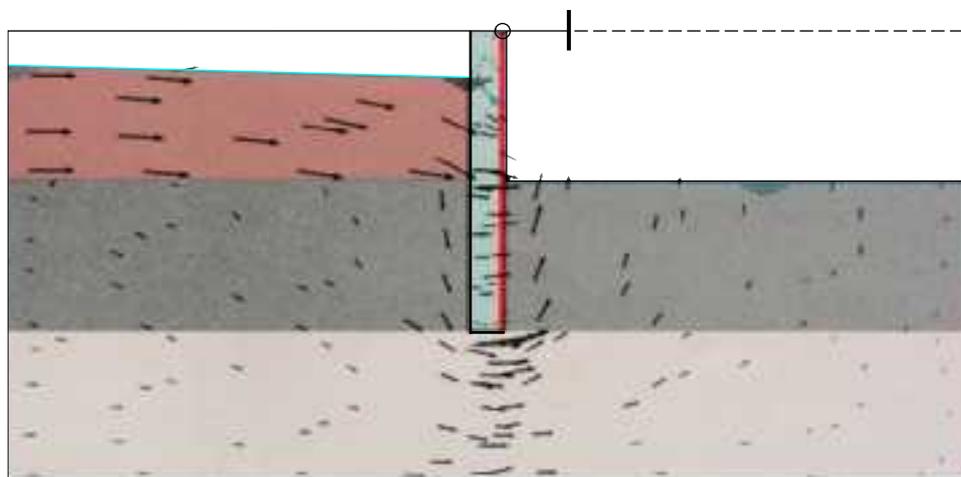
Die untere Schicht ist praktisch dicht. Es findet keine Umströmung des Fußes statt (Abb.11).

Fall 4: $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 0,0875$

Die K-Werte sind identisch mit denen aus Fall 2 aber die Mächtigkeit der unteren Schicht wurde verdoppelt (Abb.12); dies um den Einfluß der Geometrie auf das sich einstellende Strömungsfeld zu zeigen. Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, daß sich der gesamte Durchfluß erhöht hat, bedingt durch die Umströmung des Fußes durch die untere Schicht.

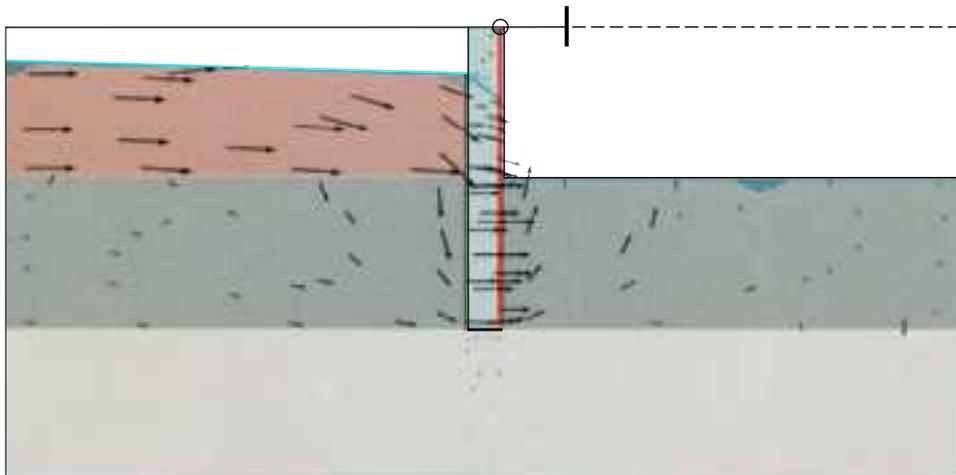
Die Zeile 5 aus Tabelle 2 gibt den gesamten Durchfluß (D_t) (Wand + untere Schicht) pro laufend m an (Abb. 8); die Zeile 6 dagegen den Durchfluß (D_w) durch die Wand gemäß der vereinfachten Vorgehensweise nach 4.1.

D_w/D_t gibt das Verhältnis der beiden Durchflüsse an während $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1$ den Einfluß der Geometrie und der Dichtigkeit erfaßt.



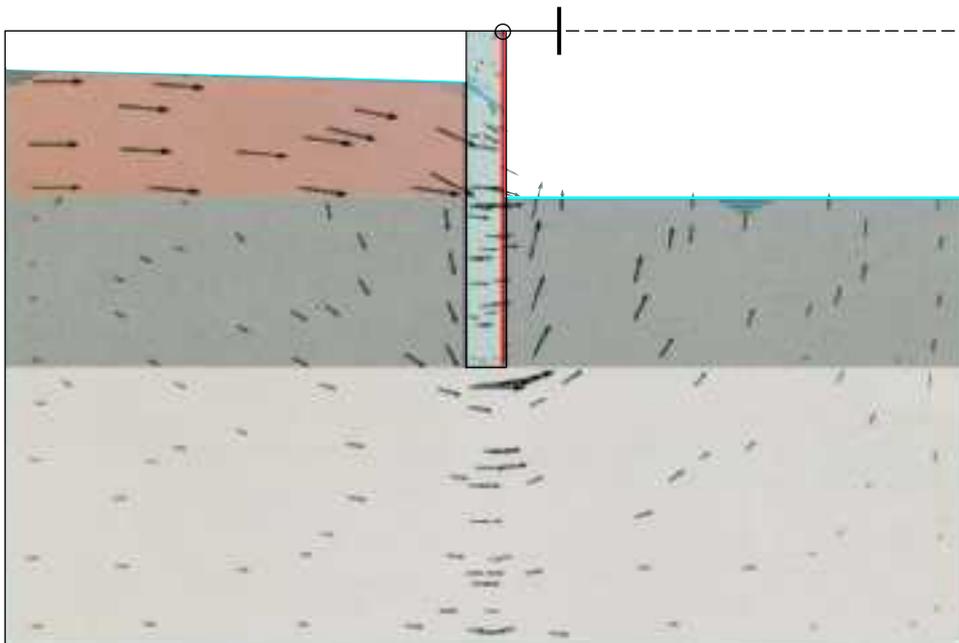
Ultimate flow field with phreatic line
Extreme velocity 4.21E-05 units

Abb. 10



Ultimate flow field with phreatic line
Extreme velocity 4.61E-06 units

Abb. 11



Ultimate flow field with phreatic line
Extreme velocity 4.74E-05 units

Abb. 12

Für Fall 3 ist demnach aus Tabelle 2 ersichtlich, daß die in 4.1 getroffene Annahme für diesen Fall durchaus zutreffende Ergebnisse liefert (Fall 3: $K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 = 17,5 \Rightarrow D_w / D_t = 98\%$).

Allgemein folgt aus dem Diagramm in Abb. 13, daß schon für Werte

$$K_w \cdot L_w / K_1 \cdot L_1 > 0,175$$

80% des gesamten Durchflusses durch die Wand erfolgt und somit die vereinfachte Vorgehensweise nach 4.1 zulässig ist.

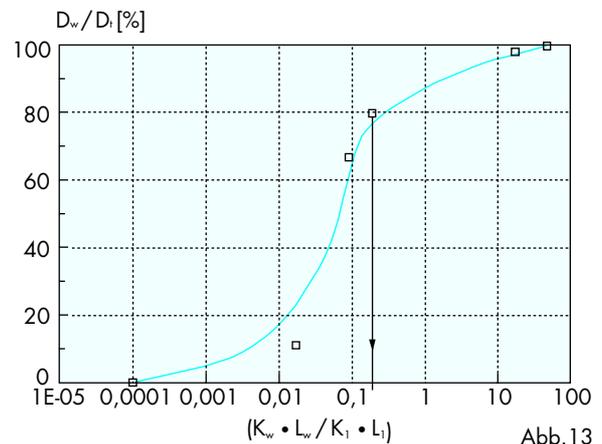


Abb.13

5. Abschließende Bemerkungen

- Alle in dieser Broschüre angegebenen ρ -Werte sind charakteristische Werte (ungünstigste Werte als vorsichtige Schätzung) welche sich aus den Feldmessungen ergaben. Um aus diesen Rechenwerten abzuleiten, müssen sie mit einem Sicherheitsbeiwert >1 multipliziert werden. Der Sicherheitsbeiwert deckt die Streuungen der Versuchsergebnisse sowie die Unwägbarkeiten des Einbringvorgangs der Spundbohlen, des Bodens und lokale Fehlstellen usw. ab. Weitere Angaben zur Festlegung des Sicherheitsbeiwertes erhalten Sie entweder direkt bei der technischen Abteilung von Arcelor RPS Sheet Piling oder durch die Vertretung von ProfilARBED vor Ort.
- Bei der Zusammenstellung der Texte und Abbildungen für diese Broschüre wurde mit größter Sorgfalt vorgegangen. Trotzdem weisen wir darauf hin, daß ProfilARBED sowie Arcelor RPS keinerlei Haftung übernehmen in Bezug auf eventuell enthaltene Fehlinformationen oder für Schäden, die durch eine fehlerhafte Interpretation des Inhalts entstehen könnten.

6. Literaturverzeichnis

Zur Vertiefung des vorgestellten Themas sei auf folgende Schriften verwiesen:

- 1) Steel Sheet Pile Seepage Resistance, J.B. Sellmeijer, Fourth International Landfill Symposium, Cagliari, Italy, 1993
- 2) Joint resistance of steel sheet piles, Definition, J.B. Sellmeijer, August 1993, unveröffentlicht
- 3) The hydraulic resistance of steel sheet pile joints, J.B. Sellmeijer, J.P.A.E. Cools, W.J. Post, J. Decker, 1993, Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 121, 1995
- 4) EAU 1990, Recommendations of the Committee for Waterfront Structures Harbours and Waterways, 1992, Berlin

Die Bauausführung des Abdichtens von Spundwänden wird im zweiten Teil dieser Broschüre „Ausführung“ behandelt. Dieser Teil umfaßt u.a. das Einbringen der Dichtung ins Schloß, das Dichtschweißen, die Verbindung zwischen der horizontalen und der vertikalen Dichtung sowie das Abteufen der gedichteten Bohlen.

Der Klappentext enthält eine Zusammenfassung für den eiligen Leser mit den wichtigsten Hinweisen zur Bemessung der Dichtheit einer Spundwand.

Die Dichtheit von Stahlspundwänden

Um eine wirtschaftliche Spundwandlösung zu erhalten ist es notwendig schon im Entwurfsstadium die Anforderungen in Bezug auf die Dichtheit der Wand festzulegen. Je nach Höhe dieser Anforderungen bieten sich drei verschiedene Dichtlösungen für Spundwände an:

1. Bei geringen Anforderungen an die Dichtheit (z.B. Baugruben mit Pumpen) ist oft die Dichtheit der ungedichteten Larssenschlösser ausreichend. Je nach anstehendem Boden führt dieser zu einem Verstopfen der Schloßzwischenräume beim Abteufen der Bohlen.
2. Für Anwendungen wie Dichtwände für Umkapselungen von Altlasten, Spundwände für Brückenwiderlager oder Tunnel, welche mittlere bis hohe Anforderungen an die Dichtheit der Spundwände stellen, sollten werkseitig verschweißte Doppelbohlen zum Einsatz kommen um somit die Breite des absolut dichten Elementes zu verdoppeln. Das Baustellenschloß wird mit einer Schloßdichtung versehen. Für mittlere Anforderungen genügt dabei eine bituminöse Schloßdichtung, deren Einsatz sich aber auf Wasserdruckhöhen ≤ 10 m beschränkt. Für hohe Anforderungen und Wasserdruckhöhen ≤ 20 m kommt die Queldichtung zum Einsatz. Eine gedichtete Spundwand ist mindestens 100 bis 1000 mal dichter als eine ungedichtete Wand mit Larssen Schlössern.

3. Eine 100% - Dichtheit der Spundwand ist nur über das Dichtschweißen aller Schlösser zu erreichen. Es werden wieder werkseitig verschweißte Doppelbohlen eingesetzt. Das Baustellenschloß muß auf der Baustelle nach dem Aushub verschweißt werden.

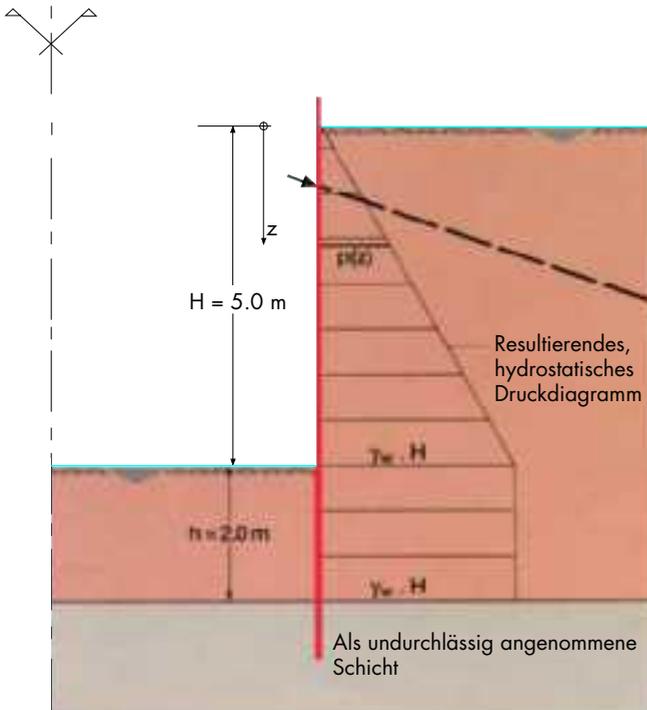
Um einen Vergleich zwischen der Dichtheit der Spundwand mit der einer Betonwand (Schlitzwand) anzustellen kann die untenstehende Tabelle benutzt werden. Für eine gegebene Spundwand kann der K-Wert abgelesen werden, welchen eine Schlitzwand der Dicke D haben muß, um unter gleichem Wasserdruck maximal den gleichen Durchfluß zu haben wie die Spundwand.

Zahlenbeispiel:

Gegeben sei eine Spundwand bestehend aus werkseitig verschweißten AZ-Doppelbohlen welche mit einer Queldichtung im Baustellenschloß versehen sind. Bei einer durchflußmäßig äquivalenten Schlitzwand mit einer Wandstärke $D = 80$ cm darf der Beton einen maximalen K-Wert von $K = 1,9 \cdot 10^{-10}$ m/s haben.

Zur Festlegung der Abdichtung der Spundwand im Entwurfsstadium ist es u.U. sinnvoll den Durchfluß rechnerisch abzuschätzen. Falls der Fuß der Wand in eine als dicht angenommene Bodenschicht gründet, kann dies sehr einfach erfolgen. Die erforderlichen geometrischen Ausgangsdaten können der Abbildung entnommen werden:

SPUNDWAND			K-WERT FÜR EINE ÄQUIVALENTE SCHLITZWAND DER STÄRKE D		
PROFIL	JEDES ZWEITE SCHLOSS WERKSEITIG VERSCHWEISST	SCHLOSSDICHTUNG	D = 60 cm	D = 80 cm	D = 100 cm
AZ	JA	BITUMINÖS	2,86 E-08	3,81 E-08	4,76 E-08
	JA	QUELEND	1,43 E-10	1,90 E-10	2,38 E-10
	NEIN	BITUMINÖS	5,71 E-08	7,62 E-08	9,52 E-08
	NEIN	QUELEND	2,86 E-10	3,81 E-10	4,76 E-10
PU	JA	BITUMINÖS	3,00 E-08	4,00 E-08	5,00 E-08
	JA	QUELEND	1,50 E-10	2,00 E-10	2,50 E-10
	NEIN	BITUMINÖS	6,00 E-08	8,00 E-08	1,00 E-07
	NEIN	QUELEND	3,00 E-10	4,00 E-10	5,00 E-10
LS	JA	BITUMINÖS	3,60 E-08	4,80 E-08	6,00 E-08
	JA	QUELEND	1,80 E-10	2,40 E-10	3,00 E-10
	NEIN	BITUMINÖS	7,20 E-08	9,60 E-08	1,20 E-07
	NEIN	QUELEND	3,60 E-10	4,80 E-10	6,00 E-10
JSP	JA	BITUMINÖS	4,50 E-08	6,00 E-08	7,50 E-08
	JA	QUELEND	2,25 E-10	3,00 E-10	3,75 E-10
	NEIN	BITUMINÖS	9,00 E-08	1,20 E-08	1,50 E-07
	NEIN	QUELEND	4,50 E-10	6,00 E-10	7,50 E-10



H: ist der Höhenunterschied der Wasserspiegel auf beiden Seiten der Wand und
h: der Höhenunterschied zwischen der undurchlässigen Schicht und dem unteren Wasserspiegel.
Der Durchfluß durch ein nicht verschweißtes Schloß beträgt:

$$Q_1 = \rho \cdot H \cdot (H/2 + h)$$

Aus den zahlreichen Feldversuchen kann der Kehrwert des Schloßwiderstandes ρ wie folgt angesetzt werden:

für bituminöse Schloßdichtungen:

$$\rho = 6 \cdot 10^{-8} \text{ m/s} \quad (\rho < 100 \text{ kPa})$$

für die Quelledichtung im Schloß:

$$\rho = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m/s} \quad (\rho \leq 200 \text{ kPa})$$

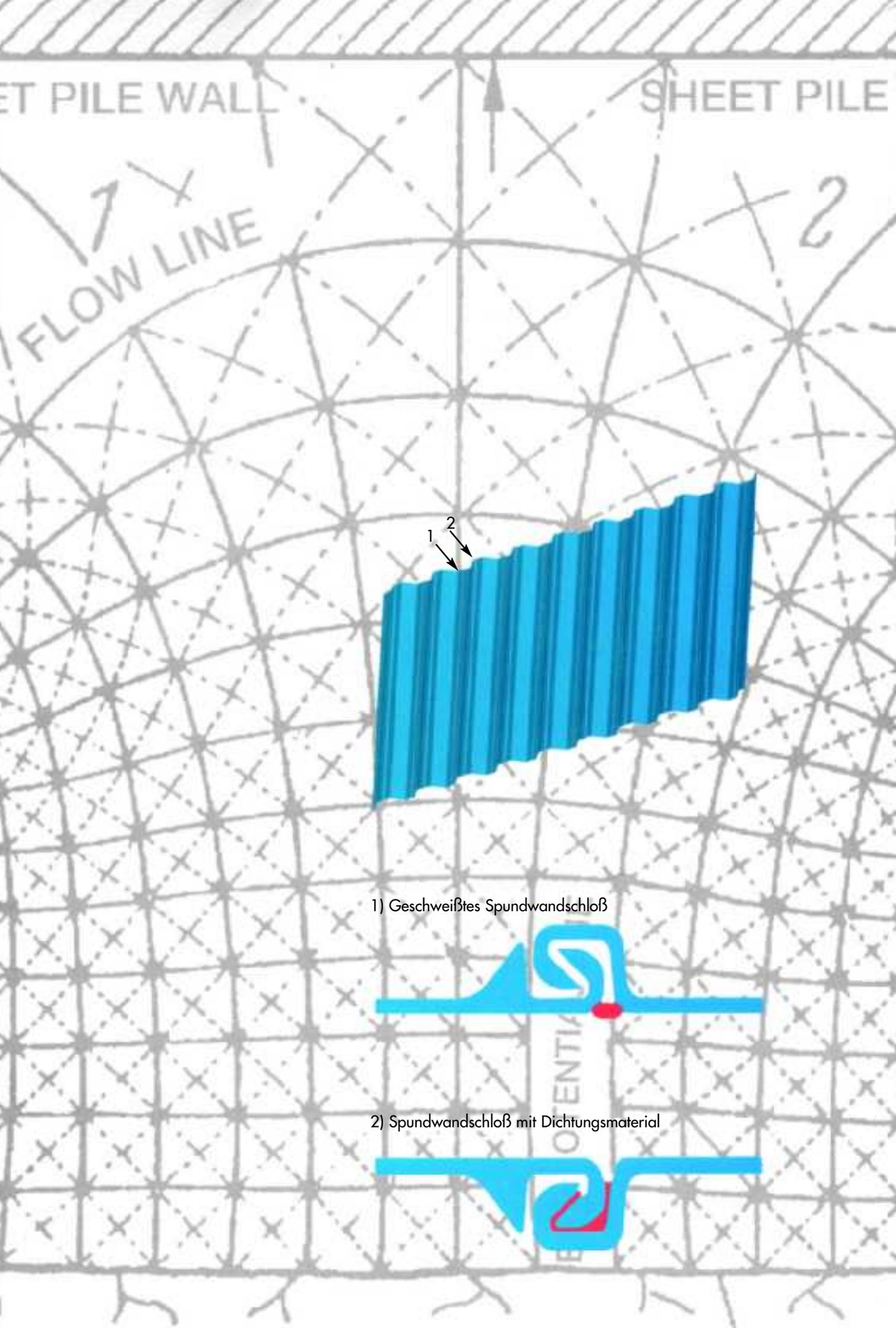
Für weitere Angaben zu diesem Berechnungsverfahren wird auf Abschnitt 4.1. des Hauptdokumentes verwiesen.

Zur Abrundung gibt die folgende Tabelle einen Überblick über die Kosten der verschiedenen Abdichtungsverfahren pro m Schloß. Das Verhältnis der Kosten bezieht sich auf die Kosten der bituminösen Schloßdichtung und beinhaltet das Material und das Einbringen im Schloß.

Schloßdichtungssystem	Kostenverhältnis
Leeres Schloß	0
Schloß mit Bitumendichtung	1
Schloß mit Quelledichtung	2
Schloß mit Dichtschweißnaht	5

ρ - Werte für Entwurfsberechnung

Dichtungssystem	ρ [10^{-10} m/s]	maximale Wasserdruckdifferenz [k Pa]
Leeres Schloß	>1000	100
Bituminöse Schloßdichtung	600	100
Quelledichtung (Roxan®)	3	200



SHEET PILE WALL

SHEET PILE

FLOW LINE

2

1 2

1) Geschweißtes Spundwandschloß

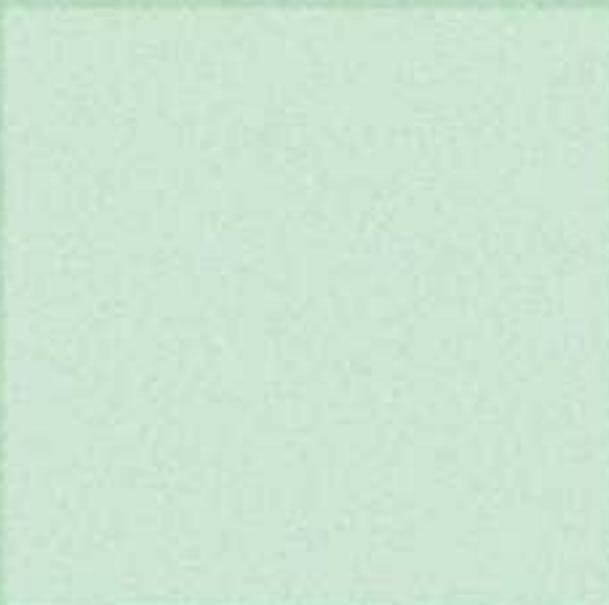
2) Spundwandschloß mit Dichtungsmaterial

PHOTENTIK



Spundwand

66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch-sur-Alzette (Luxemburg)
Tel.: (+352) 5313 3105
Fax: (+352) 5313 3290
E-mail: spundwand@arcelor.com
Internet: www.arbedspundwand.de





Stahlspundwand

**Die Dichtigkeit von
Spundwandbauwerken**
Teil 2: Ausführung

DIE DICHTHEIT VON SPUNDWANDBAUWERKEN TEIL 2: AUSFÜHRUNG

INHALT

Einleitung	3	1.1.3 Schweißen	21
Die wichtigsten vertikalen und horizontalen Abdichtungssysteme	3	1.1.3.1 Einführung	21
1. Vertikale Abdichtung	4	1.1.3.2 Mögliche Arten des Schweißens von Spundwandschlössern	21
1.1 Merkmale von Produkten und Verfahren zur vertikalen Abdichtung	4	1.1.3.3 Wahl des Baustellen-Schweißverfahrens	21
1.1.1 Heiß installierte Bitumenprodukte	4	1.1.3.4 Automatisierung des Schweißens von Spundwandschlössern	25
1.1.1.1 Produktmerkmale	4	1.1.4. Andere Lösungen für die Vertikalabdichtung von Spundwänden ..	27
1.1.1.2 Verpackung	4	1.1.4.1 Kombination Spundwand mit Bentonitzement	27
1.1.1.3 Anwendungsbedingungen	4	1.1.4.2 Vorbohren in Schloßachse	27
1.1.1.4 Haltbarkeit des Produktes in verschiedenen Umgebungen	4	1.1.4.3 Rammen unter Verwendung eines Hilfsprofils	27
1.1.1.5 Verbrauch	4	1.1.4.4 Rammen unter Verwendung eines speziellen Verdrängungsprofils	27
1.1.1.6 Einbringen der Abdichtung im Werk	6	1.1.4.5 Dichtungsinjektionen hinter die Spundwand	27
1.1.1.7 Einbringen der Abdichtung auf der Baustelle	10	1.1.5 Reparatur von defekten Schloßabdichtungen	29
1.1.1.8 Transport der abgedichteten Bohlen	10	1.1.5.1 Reparaturen über Geländehöhe (Schlösser auf der Aushubseite zugänglich)	32
1.1.1.9 Einbringen der Spundbohlen	10	1.1.5.2 Reparaturen unterhalb Geländehöhe	33
1.1.2 Quelledichtung	12	1.1.5.3 Reparaturen im Wasser	36
1.1.2.1 Merkmale des Produktes	12	2. Horizontale Abdichtung	38
1.1.2.2 Verpackung	12	3. Literaturnachweis	44
1.1.2.3 Anwendungsbedingungen	12		
1.1.2.4 Haltbarkeit des Produktes in verschiedenen Medien	12		
1.1.2.5 Verbrauch	12		
1.1.2.6 Einbringen der Abdichtung im Werk	12		
1.1.2.7 Einbringen der Abdichtung auf der Baustelle	12		
1.1.2.8 Transport abgedichteter Bohlen	18		
1.1.2.9 Einbringen der Spundbohlen	18		

Einleitung

Die Wasserdichtheit der Wände ist eines der wichtigen Auswahlkriterien für Bauverfahren bei bestimmten Arten von Arbeiten, wie zum Beispiel: Tiefgaragen, Tunnelbauten, Deponien usw.

Spundwände, per definitionem das Trennelement zwischen zwei verschiedenen Materialien, stellen eine ideale Lösung für das Problem wasserdichter Wände dar, vorausgesetzt, es ist möglich:

- a) ein Verfahren zur präzisen Berechnung der Durchsatzrate durch die Schlösser
- b) Lösungen für die praktischen Probleme, die sich während des Baus wasserdichter Wände ergeben, zu finden.

Abschnitt (a) wird ausführlich in Teil 1: **Bemessung** behandelt.

Abschnitt (b) bildet den Gegenstand der vorliegenden Veröffentlichung, die die unterschiedlichen Abdichtungssysteme sowie die praktischen Gesichtspunkte im einzelnen darlegt.

Die wichtigsten vertikalen und horizontalen Abdichtungssysteme

Bei einer dichten Spundwand sind zwei Arten von Dichtung zu unterscheiden:

- vertikale Abdichtung, die darin besteht, die Spundwandschlösser wasserdicht zu machen;
- horizontale Abdichtung, die aus der dichten Verbindung zwischen der Spundwand und einem mit ihr verbundenen horizontalen Bauelement besteht (zum Beispiel einer Betonplatte, einer geotextilen Membrane usw.).

1. Vertikale Abdichtung

Es werden mehrere Dichtungssysteme je nach Art der Anwendung vorgeschlagen:

A. Produkte, die in die Schlösser eingebracht werden, entweder bevor oder nachdem die Bohlen zusammengezogen sind:

- Bitumprodukt (heiß angewendet) für Anwendungen, bei denen Durchschnittswerte ($\rho = 6 \cdot 10^{-8}$ m/s) hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit gefordert sind (siehe Absatz 1.1.1.).
- wasserquellendes Produkt (kalt angewendet) für hohe Anforderung ($\rho = 3 \cdot 10^{-10}$ m/s) (siehe Absatz 1.1.2.).

B. Schweißen für Anwendungen mit höchsten Anforderungen:

- im Werk für zusammengezogene Bohlen, die als Doppel- oder Dreifachbohlen geliefert werden;
- in situ über Geländehöhe oder in geringer Tiefe unter dem Aushubboden für Schlösser, die vor Ort eingefädelt werden (siehe Absatz 1.1.3.).

C. Verschiedene sonstige Verfahren für vertikale Abdichtung (siehe Absatz 1.1.4.).

1.1 Merkmale von Produkten und Verfahren zur vertikalen Abdichtung

1.1.1 Heiß installierte Bitumenprodukte

1.1.1.1 Produktmerkmale

Zusammensetzung:	Bitumen - Polymer - Füllmasse
Dichte bei 25°C:	~ 1,0
Erweichungspunkt:	~ 90°C
Farbe:	schwarz-braun

Die Merkmale sind lediglich als Hinweis gegeben und können vom Lieferanten je nach Erfordernis geändert werden.

1.1.1.2 Verpackung

Das Produkt kann in Fässern oder in Paketen verpackt werden.

1.1.1.3 Anwendungsbedingungen

Nachstehend wird das Verhalten des Bitumenproduktes bei seiner (Heiß)installation erläutert:

- Anwendung auf einer mit stehendem Wasser bedeckten Oberfläche: zu vermeiden
- Anwendung auf feuchtem Metall (Taupunkt): sehr gut, jedoch soweit als möglich zu vermeiden
- Anwendung auf Metall bei -10°C bis +70°C: hervorragend
- Aushärtung im Regen: hervorragend
- Trocknen unter UV-Licht: hervorragend

1.1.1.4 Haltbarkeit des Produktes in verschiedenen Umgebungen

d.h. Dauerhaftigkeit in der installierten Spundwand:

- Wasser mit pH 3.5 - pH 11.5: hervorragend
- Meerwasser: hervorragend
- Mineralöl: gering
- Benzin: sehr gering
- Rohöl: sehr gering

1.1.1.5 Verbrauch

a. Eingießen in eine freie Klaue (Abbildung 1-1):

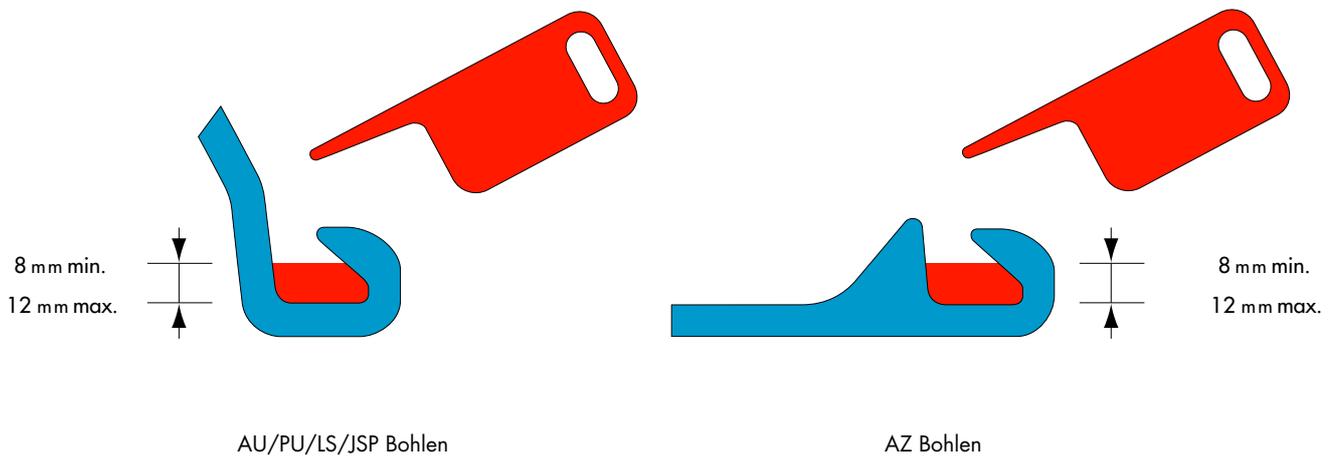
Verbrauch ungefähr 0,3 l pro Meter Klaue.

b. Anwendung in zusammengezogenen Schlössern (Abbildung 1-2):

Verbrauch ungefähr 0,1 pro Meter Schloß auf jeder Seite der Spundwand, d.h. 0,2 l/m, wenn die Anwendung auf beiden Seiten erfolgt.

Bitumenprodukt: Heißeinbringung in die Spundwandschlösser

1) Füllen einer freien Klaue:



2) Füllen von zusammengezogenen Schlössern unter Berücksichtigung der Wasserdruckseite

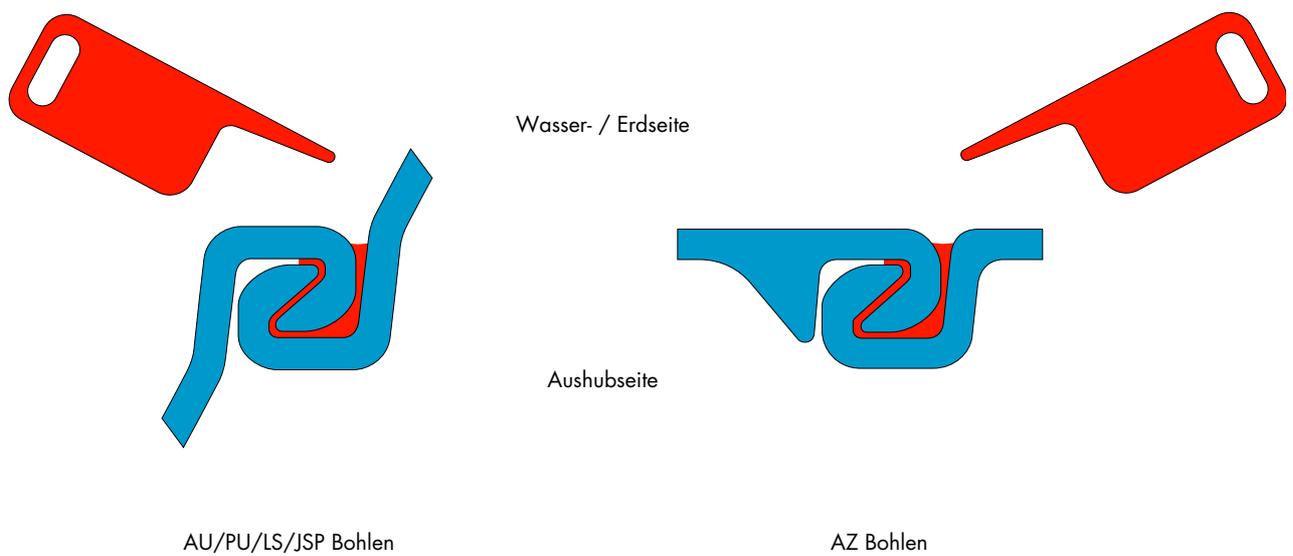


Abbildung 1

1.1.1.6 Einbringen der Abdichtung im Werk (Abbildungen 2, 3 und 4)

Das Einbringen des Bitumenproduktes im Werk erfolgt unter Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte:

- die Klauen müssen trocken sein; leichte Feuchtigkeit ist jedoch zulässig;
- die Bohlen müssen in vollkommen horizontaler Position ausgelegt sein;
- damit das Produkt in den Klauen haften kann, wird auch bei geringem Anrosten eine Reinigung mittels Druckluftstrahl, Stahldrahtbürste oder Hochdruckwasserstrahl empfohlen. Frisch gewalzte Spundbohlen erfordern keinerlei besondere Vorkehrungen;
- um zu verhindern, daß das heiße flüssige Produkt aus den Enden der Spundbohlen ausfließt, müssen die Klauenenden mit Kitt verschlossen werden;
- das Produkt wird auf eine Maximaltemperatur erhitzt, wie sie auf dem beiliegenden Merkblatt angegeben ist;
- das Produkt muß durch Umrühren vermischt werden, damit sich eine homogene Masse ergibt;

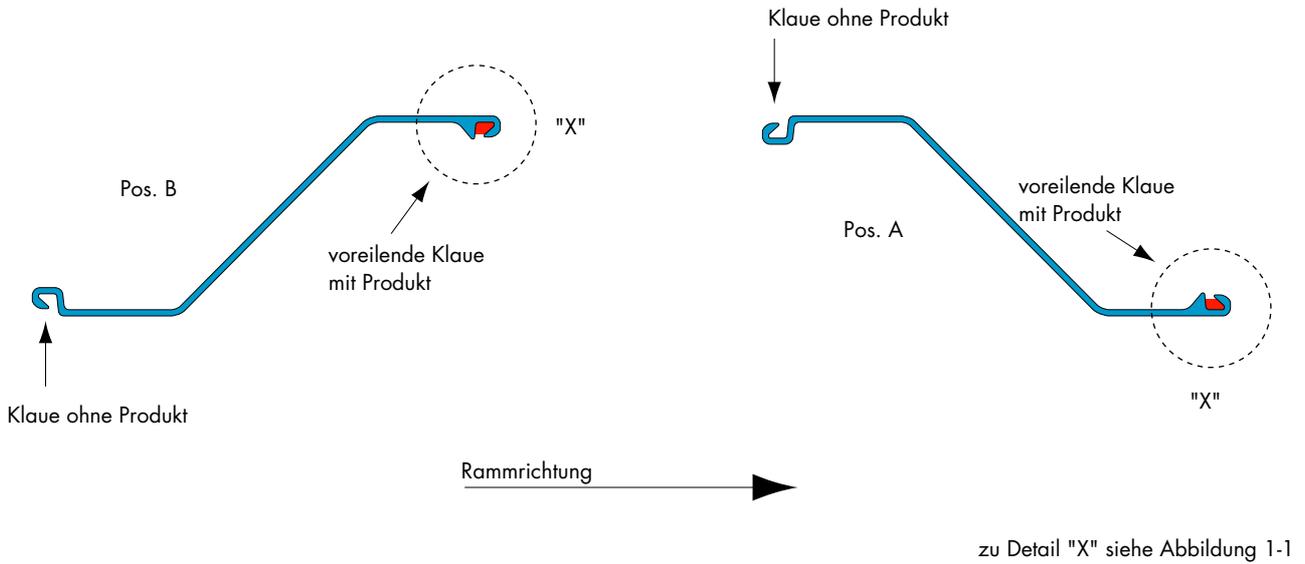
- das Produkt wird unter Verwendung eines geeigneten Gießgerätes in die Klauen gegossen;
- die Klauen werden unter Beachtung der Rammrichtung und ihrer Lage zum Wasserdruck gefüllt;
 - * werden die Bohlen als Einzelbohlen geliefert, so wird eine freie Klaue pro Einzelbohle gefüllt (**Abbildung 2**);
 - * werden die Spundwandbohlen als Mehrfachbohlen (Doppelbohlen) geliefert, so werden die Zwischenschlösser und eine freie Klaue gefüllt (**Abbildung 3**);
- 8 bis 12 mm Füllhöhe in einer freien Klaue (**Abbildung 1-1**).

Anmerkung:

Um im Falle von zusammengezogenen und verpreßten Bohlen die Kraftaufnahme der Preßpunkte nicht herabzusetzen, ist das Bitumenprodukt aufzubringen, nachdem die Spundbohlen verpreßt sind.

Bitumenprodukt: Heißeinbringung in die Klauen von Einzelbohlen

1) AZ Bohlen



2) AU/PU/LS/JSP Bohlen

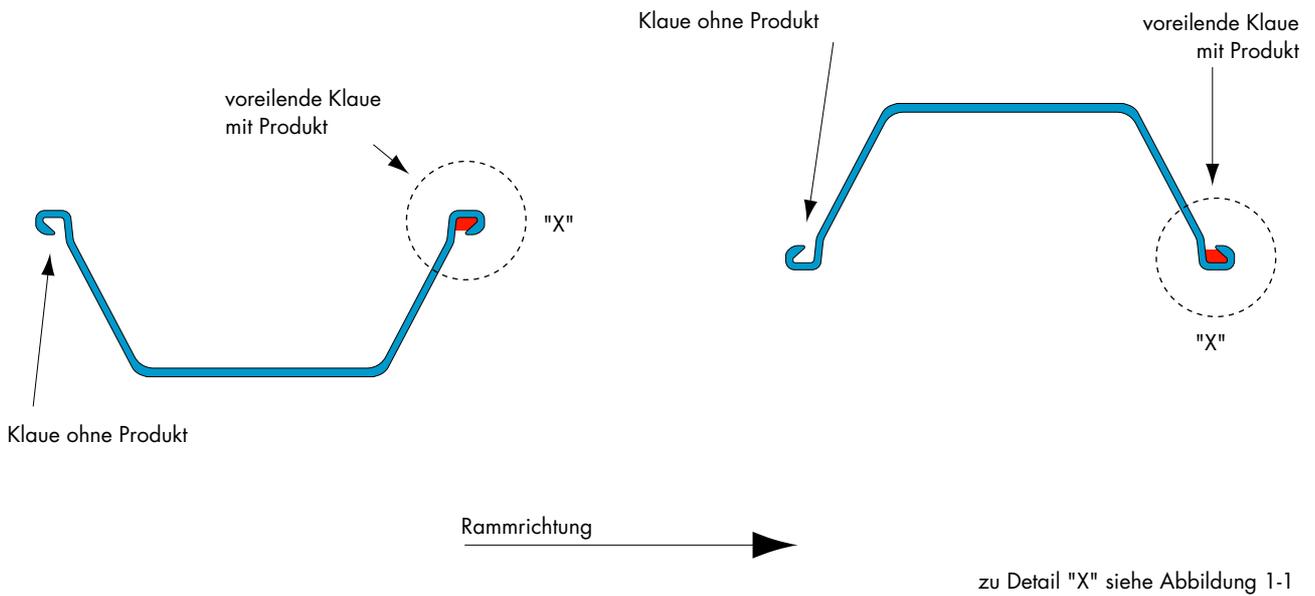
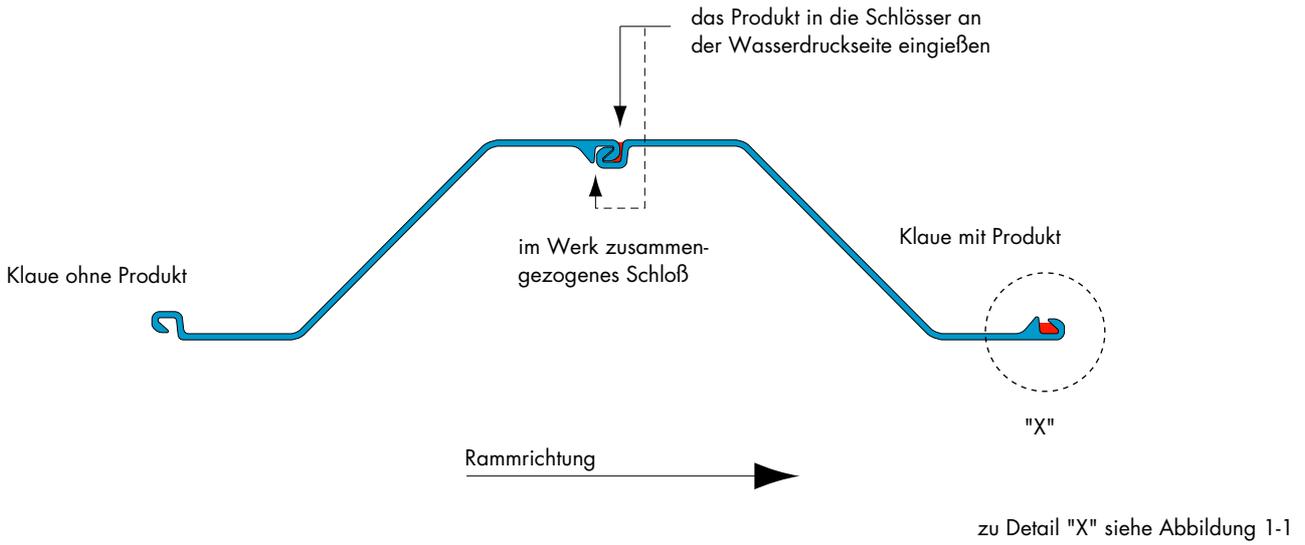


Abbildung 2

Bitumenprodukt: Heißeinbringung in die Schlösser von zusammengezogenen Spundbohlen

1) AZ Bohlen



2) AU/PU/LS/JSP Bohlen

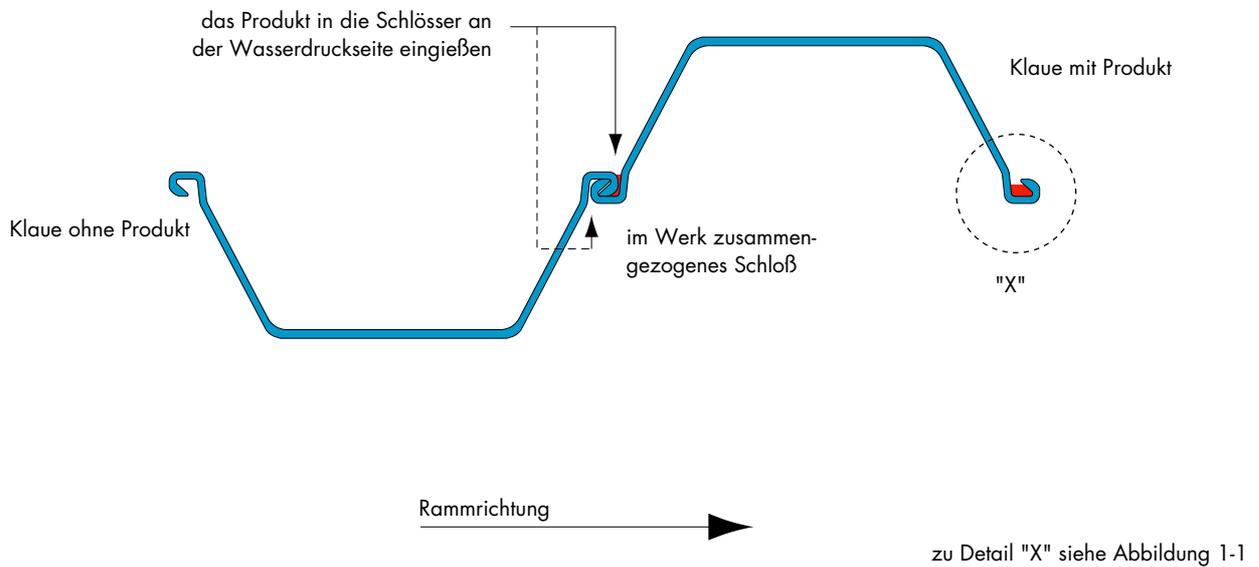
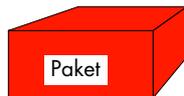
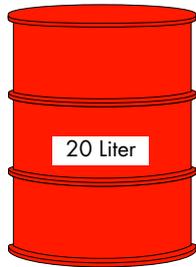
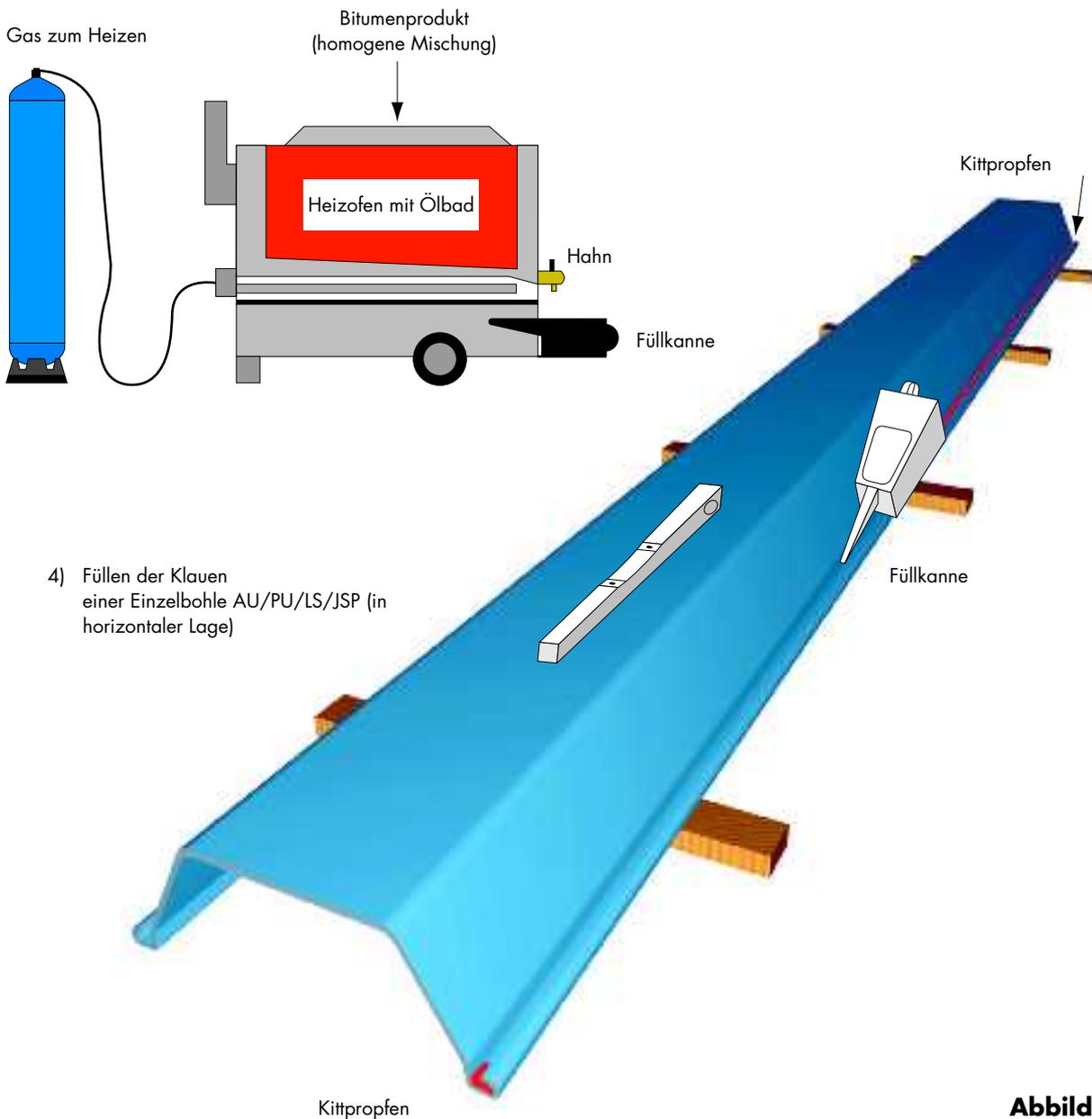


Abbildung 3

Beschreibung der Anwendung des Bitumenproduktes



- 1) Lieferung des Bitumenproduktes in 20-L-Topf oder Paket. Der Topf wird aufgeschnitten und das Produkt stückweise entnommen.
- 2) Heizofen für Bitumenprodukt
- 3) vor Gebrauch umrühren



- 4) Füllen der Klauen einer Einzelbohle AU/PU/LS/JSP (in horizontaler Lage)

Abbildung 4

1.1.1.7 Einbringen der Abdichtung auf der Baustelle

Das Einbringen des Bitumenproduktes in situ geschieht in Übereinstimmung mit den Hinweisen, wie sie in 1.1.1.6 für das Einbringen im Werk angegeben sind.

Bei trockenem Wetter stellt das Einbringen im Freien kein Problem dar.

Bei Regen muß sorgfältig darauf geachtet werden, eventuell durch Verwendung einer Plane oder einer Plastikbahn, das Eindringen von Wasser in die Klauen zu vermeiden, bevor diese mit dem heißen Bitumenprodukt gefüllt werden.

1.1.1.8 Transport der abgedichteten Bohlen

Wenn das Bitumenprodukt nicht ausgehärtet ist, müssen die behandelten Bohlen in horizontaler Lage transportiert werden, wobei die Öffnungen der behandelten Klauen **nach oben** gedreht sind.

Nach der Abkühlung des Produktes müssen die Bohlen gegen Überhitzung geschützt werden (Erweichungspunkt des Produktes: ~ 90°C) um zu verhindern, daß das Produkt aus der Klaue ausläuft.

1.1.1.9 Einbringen der Spundbohlen (Abbildung 5)

Spundbohlen, die unter Verwendung eines Bitumenproduktes abgedichtet wurden, können entweder mit einem Schlaghammer, Vibrator oder einer Presse eingebracht werden.

Einige Hinweise zum Einbringen:

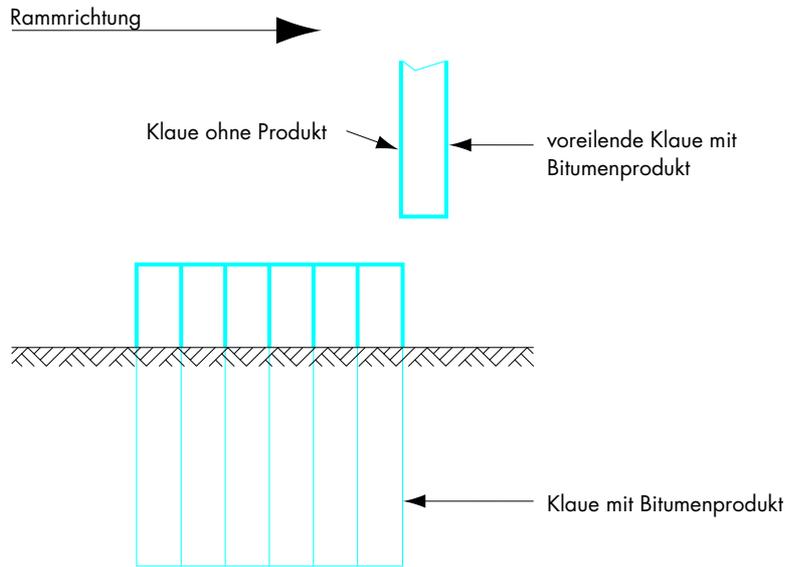
- die voreilende Klaue wird mit dem Bitumenprodukt versehen;
- beim Rammen abgedichteter Spundbohlen ist bei der Führung sorgfältig darauf zu achten, daß verhindert wird, daß die Spundwandbohlen längs und quer aus dem Lot laufen. Die Verwendung einer stabilen Führung ist absolut unerlässlich, um eine Maximaltoleranz von 1% in der Vertikalen einzuhalten;
- werden Spundbohlen einfach ohne Rammen eingestellt, ist es möglich, daß die Bohlen nicht auf die geforderte Tiefe gleiten wenn in den Klauen zuviel Dichtungsmaterial vorhanden ist, oder wenn das Produkt bei niedriger Temperatur steif geworden ist. In derartigen Fällen muß vor Ort ein Rammgerät zur Verfügung stehen, um ein korrektes Einbringen zu ermöglichen, oder das widerspenstige Schloß kann behutsam mit einer Lötlampe erhitzt werden.

Achtung!!

Den Erweichungspunkt des Produktes nicht überschreiten.

Mit Bitumenprodukt abgedichtete Spundbohlen Einbringen

1) Mit Bitumenprodukt abgedichtete Einzelbohlen



2) Mit Bitumenprodukt abgedichtete Doppelbohlen

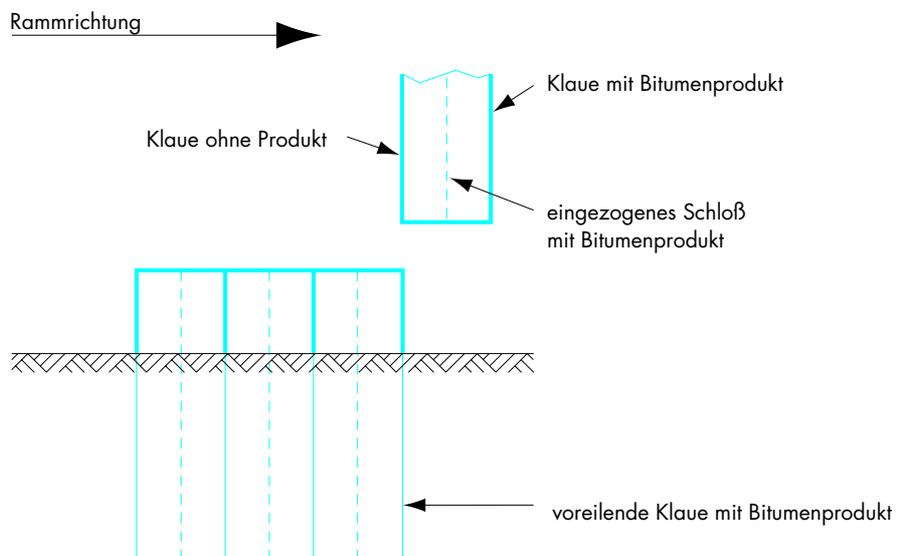


Abbildung 5

1.1.2 Wasserquellendes Produkt (System Roxan®)

1.1.2.1 Merkmale des Produktes

Zusammensetzung:	Urethan-Prepolymer
Dichte bei 20°C:	1.22
Flammpunkt:	500°C
Maximales Quellvermögen:	<ul style="list-style-type: none">• Dauer-Immersion in Süßwasser: 115%; in Meerwasser: 90%• Wechselbelastung Süßwasser: 115%; Meerwasser: 90%• keine Ausdehnung in Öl• Quellen in alkalinen Salzen: identisch mit Trinkwasser
Farbe:	<ul style="list-style-type: none">• hellgrau

Die Merkmale sind lediglich als Hinweis gegeben und können vom Lieferanten je nach Erfordernis geändert werden.

1.1.2.2 Verpackung

Das Produkt wird in Kartuschen von 320 ml oder in Fässern von ungefähr 15 l zum Spritzen geliefert.

1.1.2.3 Anwendungsbedingungen

Nachstehend wird das Verhalten des wasserquellenden Produktes erläutert:

- Anwendung auf einer mit stehendem Wasser bedeckten Oberfläche: unmöglich
- Anwendung auf feuchtem Metall (Taupunkt): hervorragend
- Anwendung auf Metall bei -10°C: heikel bis kritisch
- Anwendung auf Metall bei +5°C bis +70°C: hervorragend
- Polymerisation bei Regen: heikel bis kritisch
- Polymerisation unter UV-Licht: hervorragend

1.1.2.4 Haltbarkeit des Produktes in verschiedenen Medien

- d.h. Haltbarkeit in der installierten Spundwand:
- Wasser mit pH 3.5 - pH 11.5: hervorragend
 - Meerwasser: hervorragend
 - Mineralöl: hervorragend
 - Benzin: hervorragend
 - Rohöl: hervorragend

1.1.2.5 Verbrauch

Einbringung in eine offene Klaue (Abb. 6-1): Verbrauch: ~ 0,15 l pro Meter Klaue.

1.1.2.6 Anbringen der Abdichtung im Werk (Abbildungen 7, 8, 9)

Das Einbringen des wasserquellenden Produkts erfolgt vorzugsweise im Werk und sollte folgenden Bedingungen genügen:

- die Klaue muß trocken sein; leichte Feuchtigkeit ist jedoch zulässig;
- eine vollkommen horizontale Lage der Bohlen ist nicht erforderlich;
- damit das Produkt in den Klauen haften kann, müssen frisch gewalzte Spundbohlen mit einem Druckluftstrahl gereinigt werden. Sind die Bohlen angerostet, ist eine Reinigung mittels Stahldrahtbürste und/oder Hochdruckwasserstrahl erforderlich;
- Einbringen des Produktes mittels Spritzen und Verteilung des Produktes unter Verwendung einer speziellen Schablone (ProfilARBED-Patent LU83397).

!! Vorsicht: die Verteilung durch die Spezialschablone ist wesentlich, um die Abdichtung des Schlosses zu gewährleisten.

Füllen der Klauen unter Berücksichtigung der Rammrichtung:

- werden die Bohlen als Einzelbohlen geliefert, wird eine freie Klaue pro Bohle gefüllt (**Abbildung 7**);
- werden Doppelbohlen geliefert (**Abbildung 8**):
 - * wird eine freie Klaue gefüllt;
 - * wird das Mittelschloß entweder vor dem Zusammenziehen verfüllt oder nach dem Zusammenziehen verschweißt.

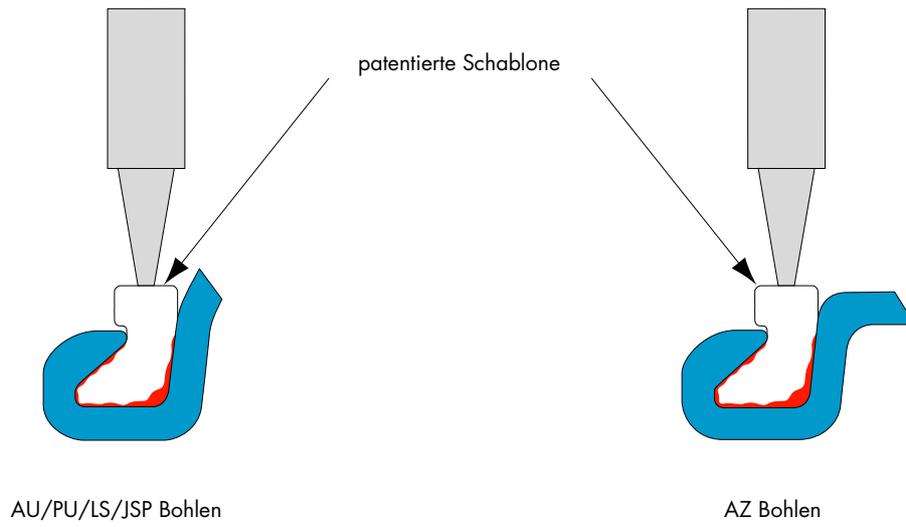
Es bleibt anzumerken, daß die Bohlen verpreßt werden können, nachdem sie angedichtet und zusammengezogen sind.

1.1.2.7 Einbringen der Abdichtung auf der Baustelle

Die Anwendung des wasserquellenden Produktes auf der Baustelle wird nicht empfohlen, es sei denn, die Arbeit kann unter einer Schutzvorrichtung ausgeführt werden. Sie muß dann nach denselben Richtlinien wie für die Anwendung im Werk ausgeführt werden. Die technische Abteilung von Arcelor Long Commercial Sheet Piling steht für benötigte technische Hilfe zur Verfügung.

Wasserquellendes Produkt: Einbringen in die Spundwandklauen

1) Füllen der freien Klaue mit einem wasserquellenden Produkt



2) Ausdehnung der wasserquellenden Dichtung in dem eingezogenen Schloß

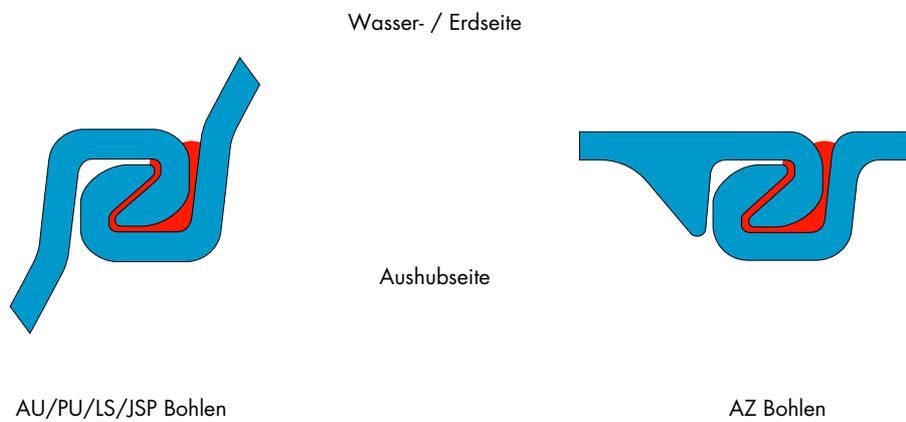
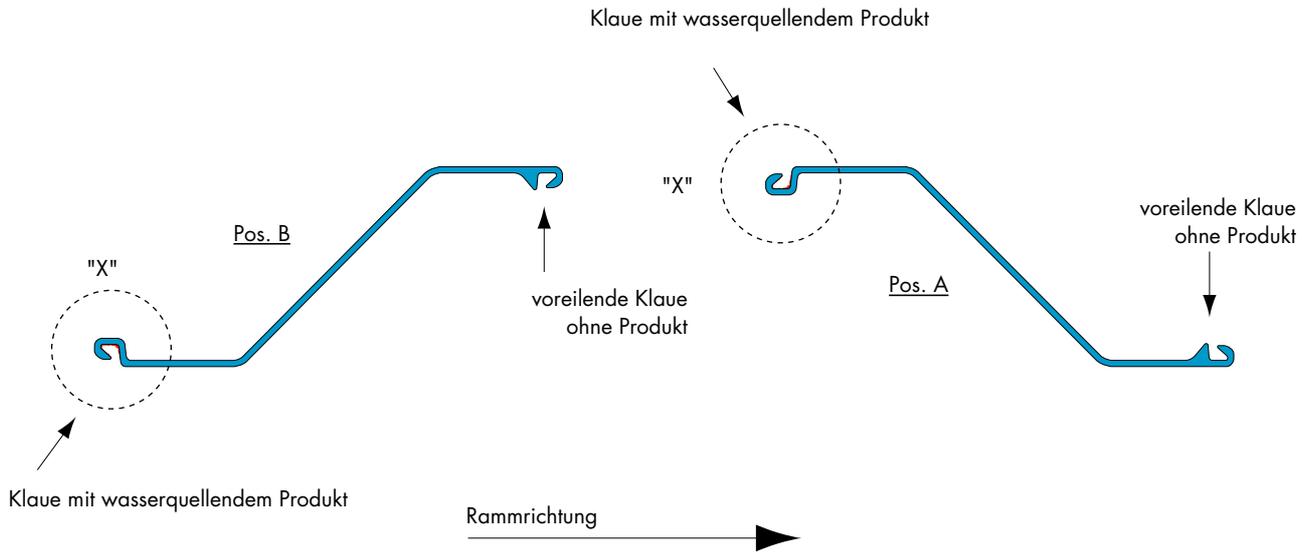


Abbildung 6

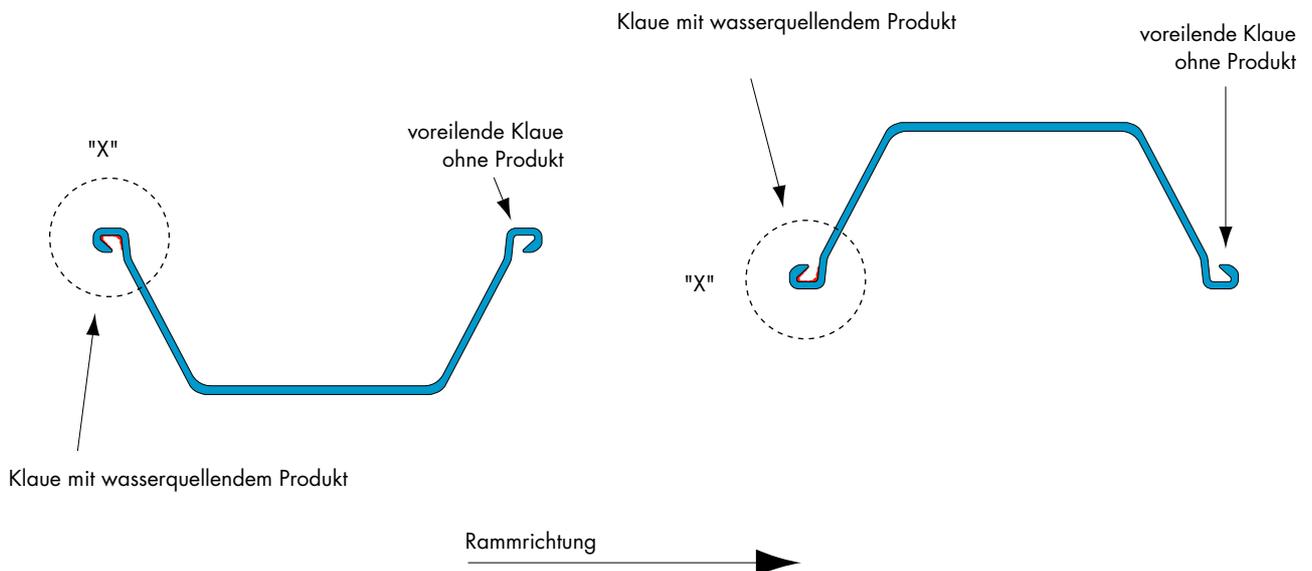
Wasserquellendes Produkt: Einbringung in die Klauen von Einzelbohlen

1) AZ Bohlen



Detail "X" siehe Abbildung 6-1

2) AU/PU/LS/JSP Bohlen

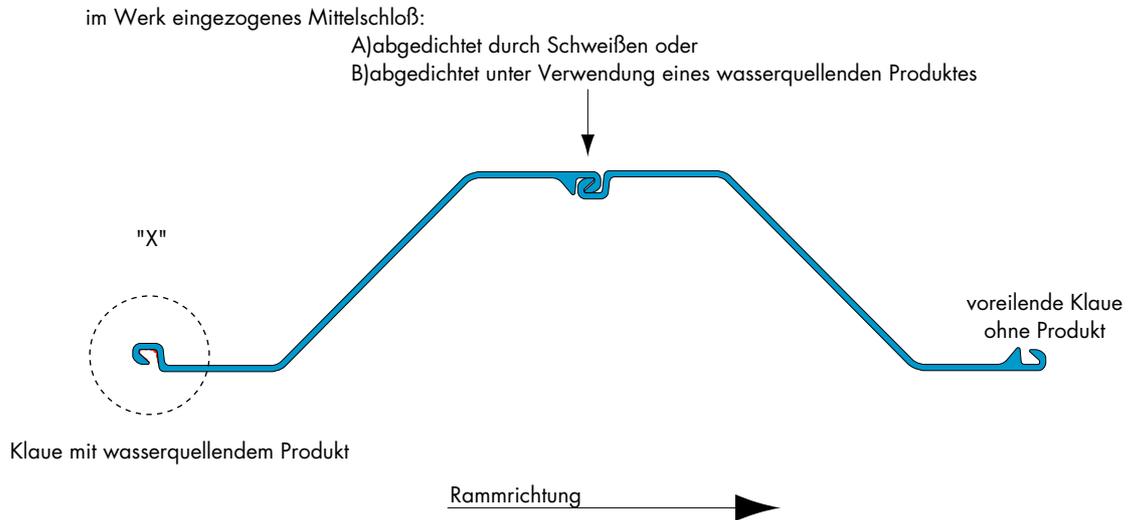


Detail "X" siehe Abbildung 6-1

Abbildung 7

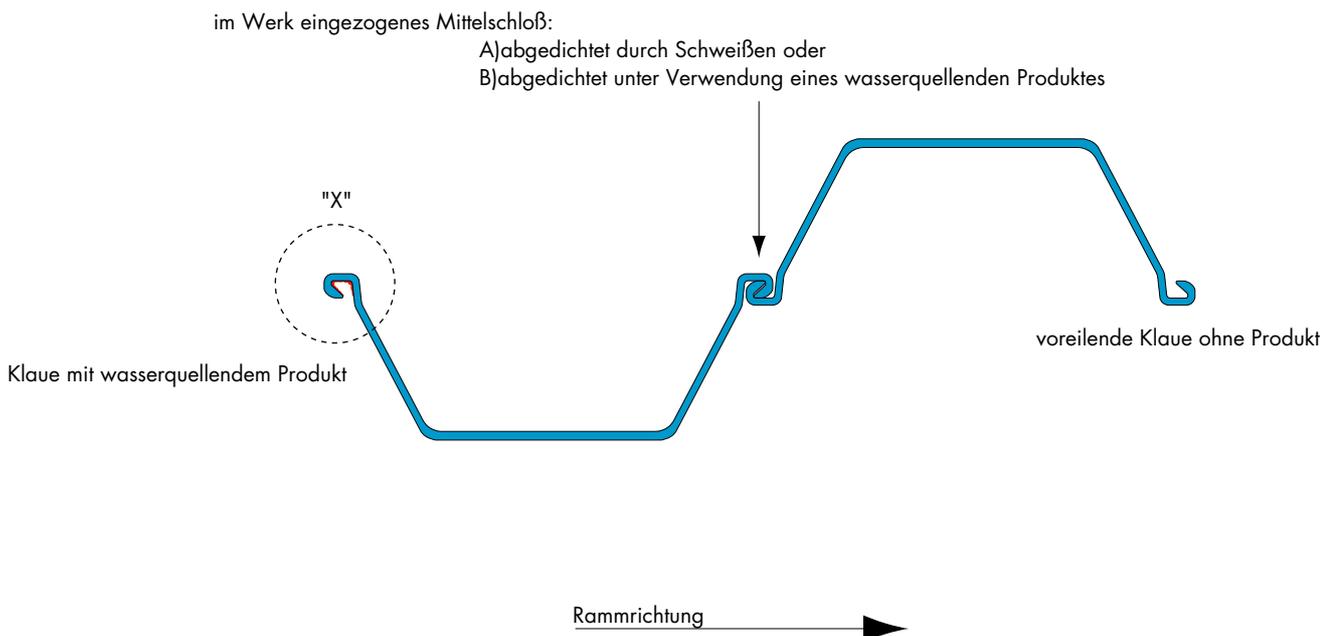
Wasserquellendes Produkt: Einbringung in die Klauen zusammengezogener Bohlen

1) AZ Bohlen



Detail "X" siehe Abbildung 6-1

2) AU/PU/LS/JSP Bohlen



Detail "X" siehe Abbildung 6-1

Abbildung 8

Beschreibung des Einbringens eines wasserquellenden Produktes

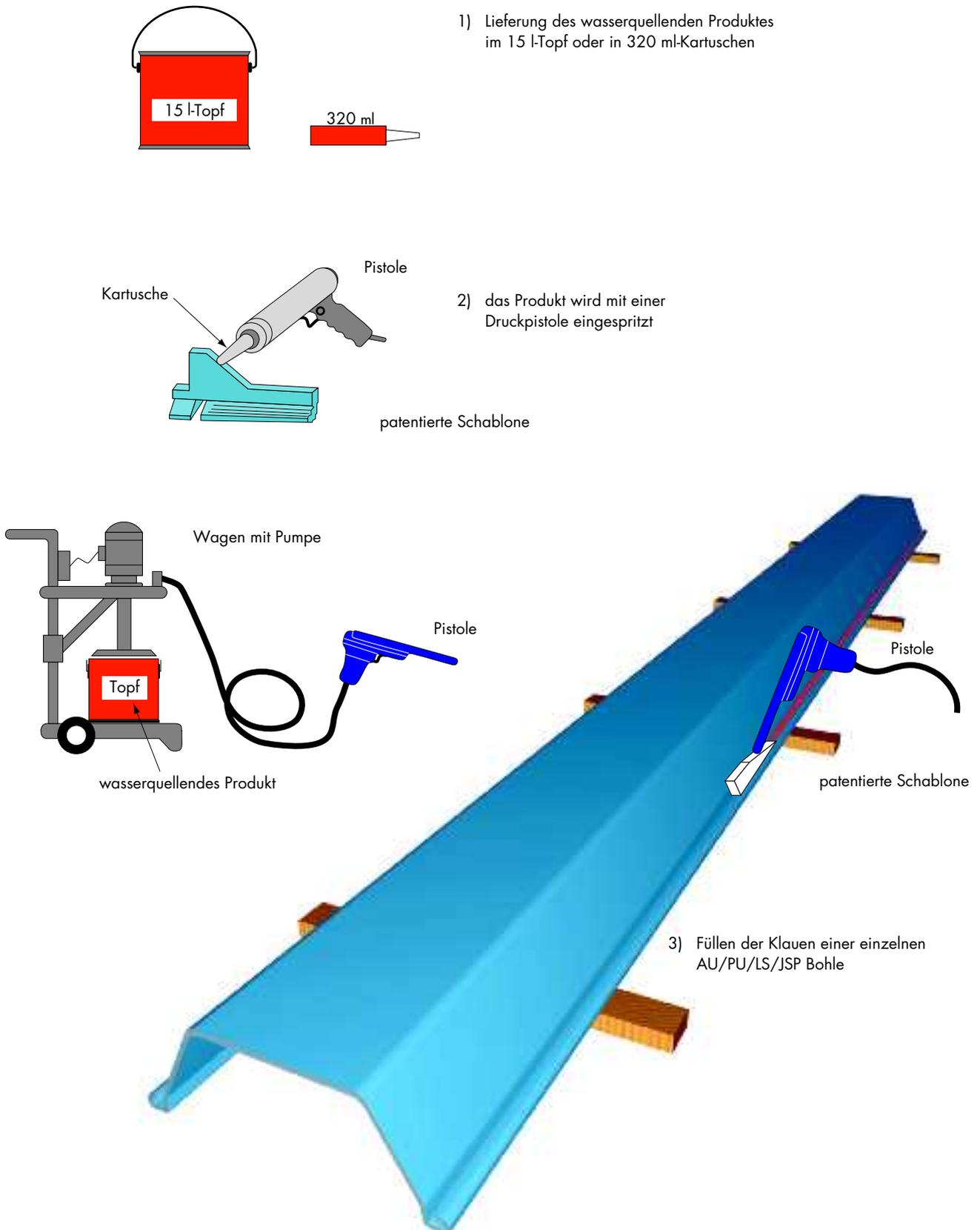


Abbildung 9

Mit wasserquellendem Produkt abgedichtete Bohlen Transport und Lagerung

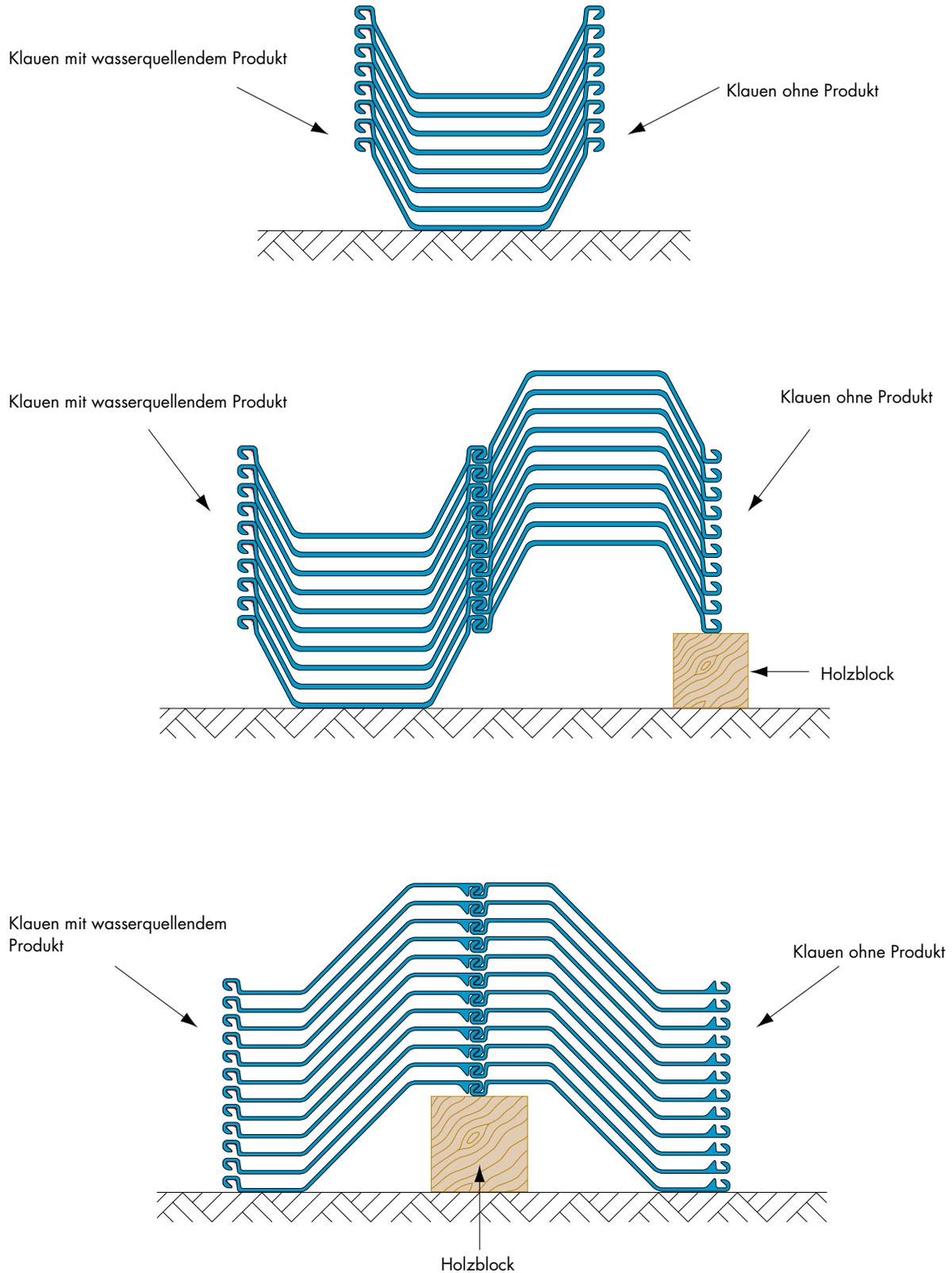


Abbildung 10

1.1.2.8 Transport abgedichteter Bohlen (Abbildung 10)

Mit dem wasserquellenden Produkt gedichtete Bohlen sind so zu transportieren, daß verfüllte Klauen, die nicht eingefädelt sind, nicht mit stehendem Wasser in Berührung kommen. (Gefahr der Produktquellung durch Polymerisation, Verlust der Haftung). Es ist deshalb sorgfältig darauf zu achten, daß die Bohlen mit den Öffnungen der abgedichteten freien Klauen nach unten transportiert werden.

Im Falle von nicht verpreßten Doppelbohlen, bei denen das Mittelschloß und eine freie Klaue mit dem wasserquellenden Produkt abgedichtet wurden, sind die zusammengezogenen Schösser in ihrer Position zu sichern, um zu vermeiden, daß die beiden Elemente gegeneinander rutschen und die Dichtung dadurch beschädigen.

1.1.2.9 Einbringen der Spundbohlen (Abbildung 11)

Eine Spundwand, die unter Verwendung eines wasserquellenden Produktes abgedichtet wurde, wird in klassischer Weise entweder mit Fallhammer, Vibrator oder Presse eingebracht.

Das Einbringen sollte wie folgt ausgeführt werden:

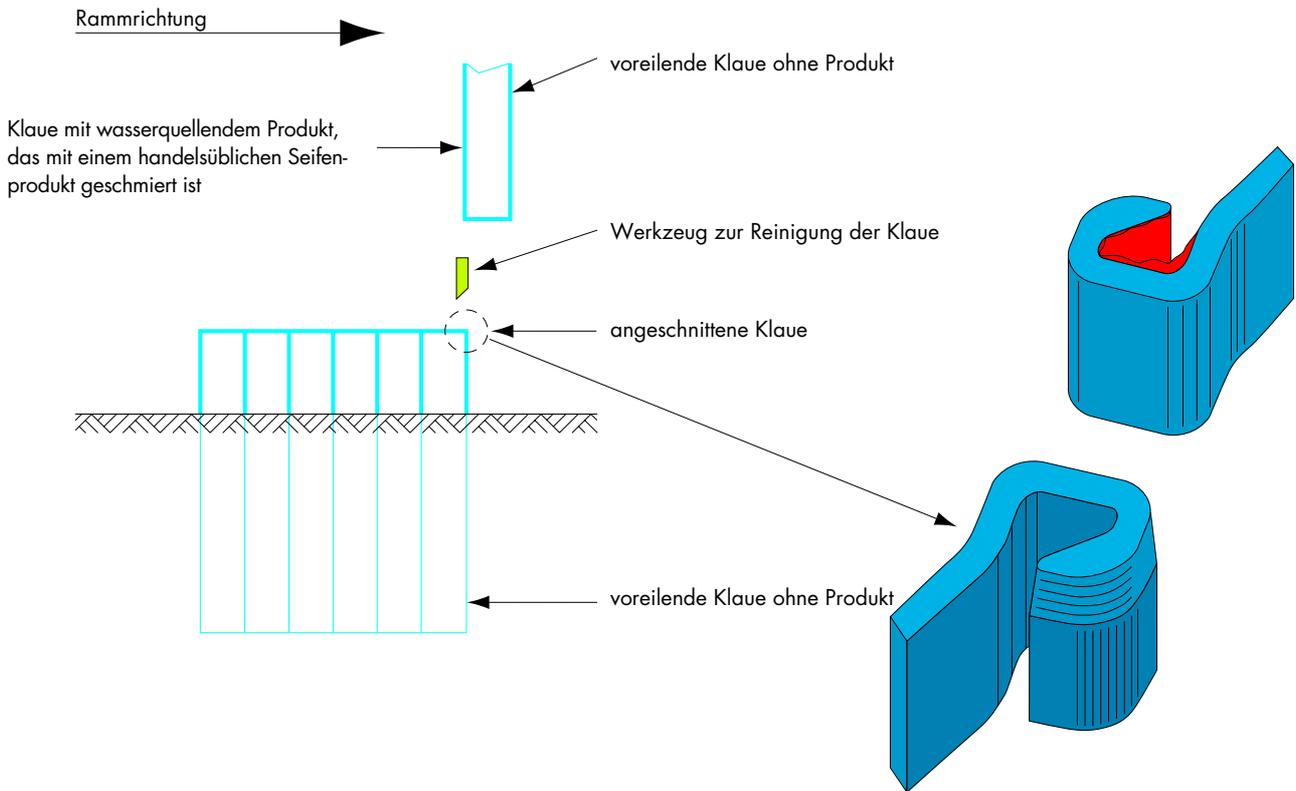
- die voreilende Klaue ohne Dichtungsmaterial muß zuerst dadurch gereinigt werden, daß der abgedichteten Klaue der nachfolgenden Bohle ein Reiniger vorgeschaltet ist, d.h. ein Reinigungswerkzeug (Abbildung 12), das der Form der Klaue angepasst ist und die Verunreinigungen wegschiebt, welche das ordnungsgemäße Funktionieren der Dichtung beeinträchtigen könnten. Dieses Teil, das nicht zurückgewonnen werden kann, kann von ProfilARBED geliefert werden. In diesem Zusammenhang muß angemerkt werden, daß Doppelbohlen, die im Werk zusammengezogen und abgedichtet worden sind, nicht als Einzelbohlen gerammt werden können;

- beim Rammen von mit wasserquellendem Produkt abgedichteten Spundbohlen ist beim Führen sorgfältig darauf zu achten, daß ein längs oder quer Aus-dem-Lot-Laufen der Bohlen verhindert wird. Die Verwendung von Führungen ist absolut unerlässlich, und das Einbringen mit einer Vertikaltoleranz unter 1% auszuführen;
- das Dichtungsprodukt muß vor dem Rammen unter Verwendung eines handelsüblichen Seifenproduktes geschmiert werden. Dieses Produkt ist mit einem Pinsel in der abgedichteten Klaue zu verstreichen;
- werden Spundbohlen einfach ohne Rammen in Position gebracht, ist es möglich, daß die Bohlen wegen des Dichtungsmaterials nicht auf die geforderte Tiefe gleiten. In derartigen Fällen muß auf der Baustelle ein Rammgerät vorhanden sein, um ein korrektes Einbringen zu ermöglichen;
- wenn Spundbohlen unter Verwendung eines Vibrators installiert werden, ist sorgfältig darauf zu achten, daß die Temperatur in den Schössern 130°C nicht übersteigt (Gefahr der Beschädigung der Dichtung);
- bei anstehendem Wasser darf das Rammen einer teilweise gerammten Bohle für **nicht mehr als zwei Stunden** ausgesetzt werden. Das Quellen des Dichtungsproduktes würde bei Wiederaufnahme des Rammvorgangs zur Zerstörung der Dichtung führen.

Das unter 1.1.2 beschriebene System wird von ProfilARBED unter dem Markennamen **Roxan®** angeboten.

Mit wasserquellendem Produkt abgedichtete Bohlen Einbringen

1) Einzelbohlen mit wasserquellendem Produkt



2) Doppelbohlen mit wasserquellendem Produkt

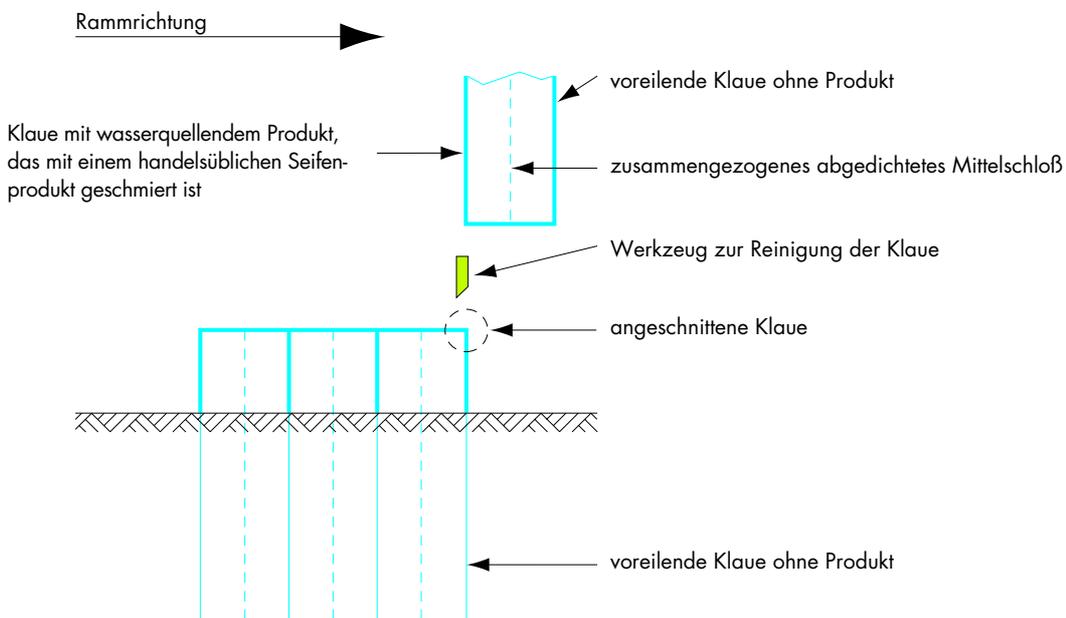
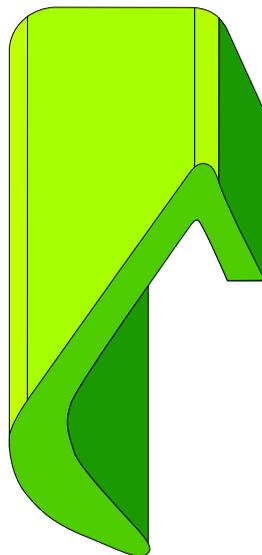
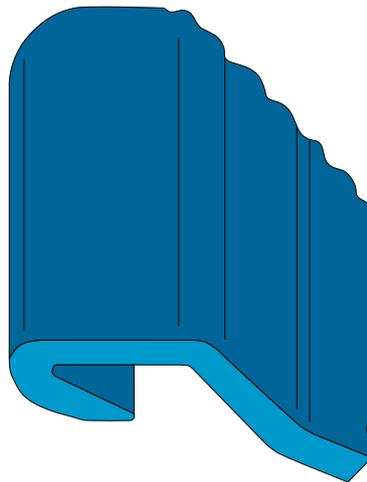


Abbildung 11

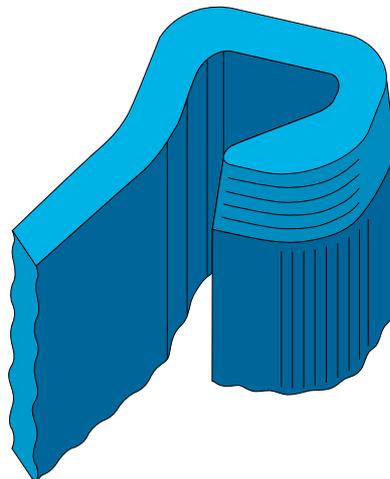
Mit wasserquellendem Produkt abgedichtete Bohlen

Reinigungswerkzeug für die Klauen

Rammposition



gerammte voreilende Klaue ohne Dichtungsmaterial



angeschrägtes Klauenende

Abbildung 12

1.1.3 Schweißen

1.1.3.1 Einführung

Die meisten Elektro-Schweißverfahren sind für die Abdichtung von eingezogenen Spundwandschlössern geeignet.

Nicht nur der Schweißqualität sondern auch der Durchführbarkeit und der Wirtschaftlichkeit der Schweißverfahren kommt erhöhte Bedeutung zu.

Die Wirtschaftlichkeit eines Schweißverfahrens hängt von mehreren Faktoren ab:

- die Schmelzrate in kg/St.,
- die Schweißzeit,
- die Effizienz des Schmelzproduktes (das Gewicht, das sich tatsächlich pro kg des Produktes absetzt),
- Vorbereitung der Fuge,
- Schweißposition.

Wenn nicht unter Werksbedingungen gearbeitet wird, können die oben definierten Kriterien durch zahlreiche Faktoren beeinflusst werden. Besondere Aufmerksamkeit muß dabei folgenden Punkten gelten:

- der Zugangsmöglichkeit zur Bohle,
- den Wetterbedingungen vor Ort,
- der mechanischen Stärke der Schweißmetalls (Dicke der Schweißnaht und Eindringung),
- der Feuchtigkeit im Schloß,
- die Schloßlänge,
- der auf die Schweißnähte einwirkenden Umwelteinflüsse.

Für jedes Projekt mit Schloßabdichtungen ist das den jeweiligen Bedingungen entsprechende Verfahren zu wählen. Der technische Beratungsdienst von ISPC steht Ihnen zur Verfügung, um Sie bei der Festlegung des geeigneten Verfahrens zu beraten.

1.1.3.2 Mögliche Arten des Schweißens von Spundwandschlössern (siehe Abbildungen 13 und 14)

Man unterscheidet zwei Arten von Schloßverbindungen und zwei Schweißpositionen:

- werden die Spundbohlen als Doppelbohlen geliefert, können die im Werk zusammengezogenen Mittelschlösser im Werk oder auf der Baustelle abgedichtet werden, bevor sie gerammt werden. Dieses Schweißen muß in **horizontaler Lage** durchgeführt werden;
- Schloßverbindungen, die beim Rammen eingefädelt werden, können auf der Baustelle geschweißt werden, nachdem die Spundwand eingebracht ist, eventuell erst nach Aushub. Dieses Schweißen muß in **vertikaler Position** durchgeführt werden.

Tabelle 1 führt die hauptsächlichen Bedingungen auf, die die Wahl des Schweißverfahrens in unterschiedlichen Fällen bestimmen.

Anmerkung:

Falls, um eine perfekte Abdichtung zu erzielen, beim Rammen eingefädelt Klauen auf der Baustelle zu schweißen sind, wird eine provisorische Dichtung mit einem Bitumenprodukt empfohlen. Diese Dichtung verhindert, daß das Schloß zu feucht wird, was beim Schweißen ernsthafte Probleme verursachen könnte. Die Positionierung der Bitumendichtung muß wie in Abbildung 18, Detail A, gezeigt, erfolgen, was einen Kontakt zwischen der Schweißung und dem Bitumenprodukt verhindert!!! Dies ist in der Spezifikation zu erwähnen.

1.1.3.3 Wahl der Baustellenschweißverfahren

Durch die auf der Baustelle gegebenen Möglichkeiten der Durchführung ist die Wahl der Verfahren auf die folgenden Systeme beschränkt:

a) Lichtbogenhandschweißen

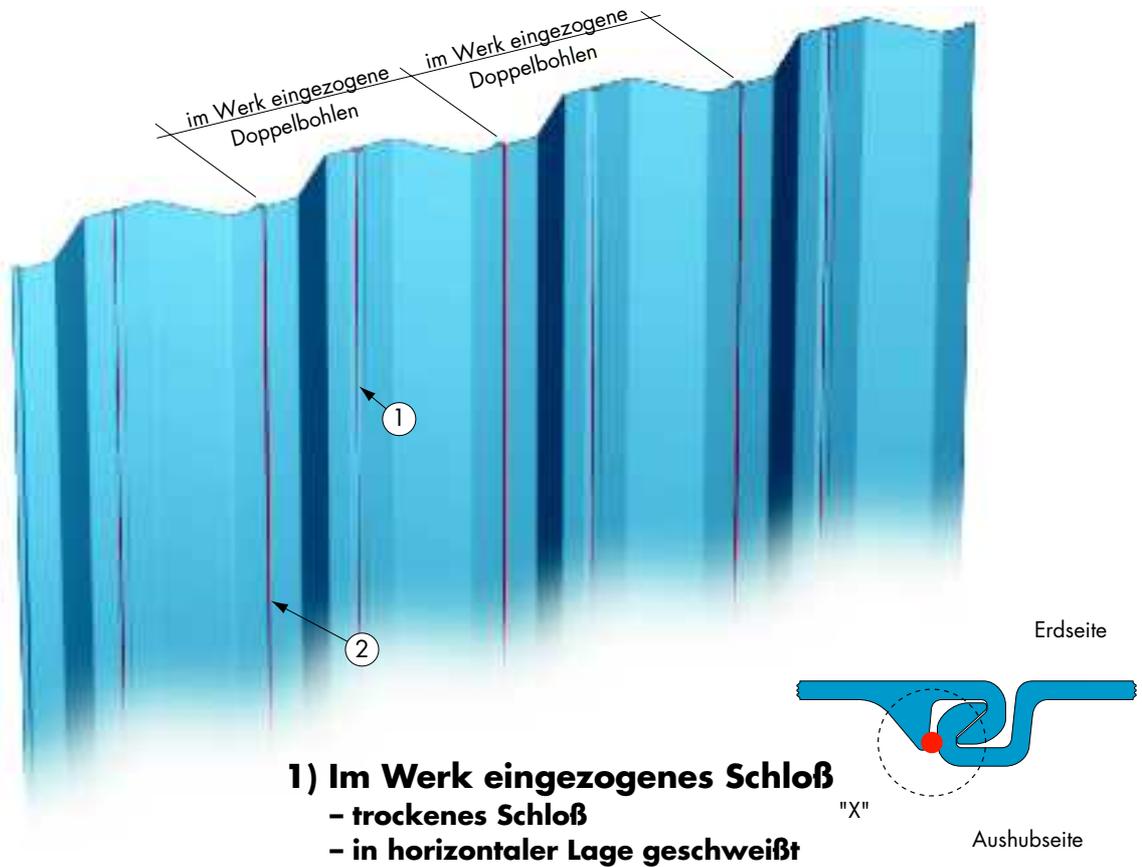
Vorteile:

- gängiges Verfahren,
- universal verwendet,
- leicht auszuführen,
- gute Schweißqualität,
- sehr wenig von Wetterbedingungen beeinflusst,
- Facharbeiter leicht verfügbar,
- minimale Investition in Maschinen,
- robust.

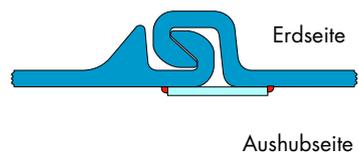
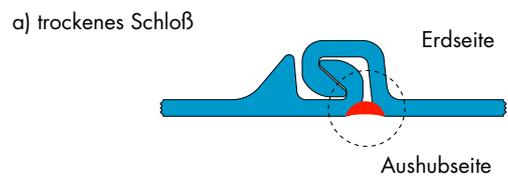
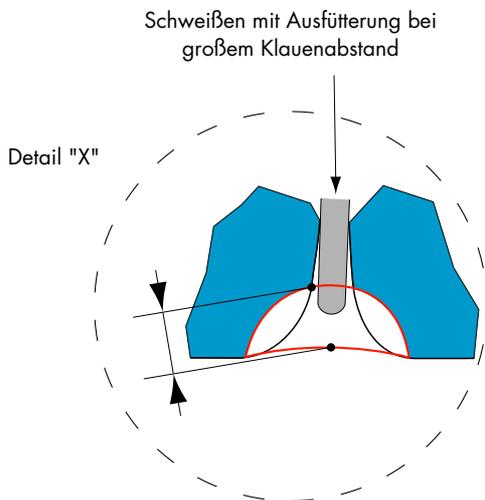
Nachteile:

- eher geringe Schweißgutmenge (**Abbildung 15**).

Dichtungsschweißen AZ Doppelbohlen



2) Auf der Baustelle eingefädelt Schloß - trockenes oder feuchtes Schloß - in vertikaler Position geschweißt

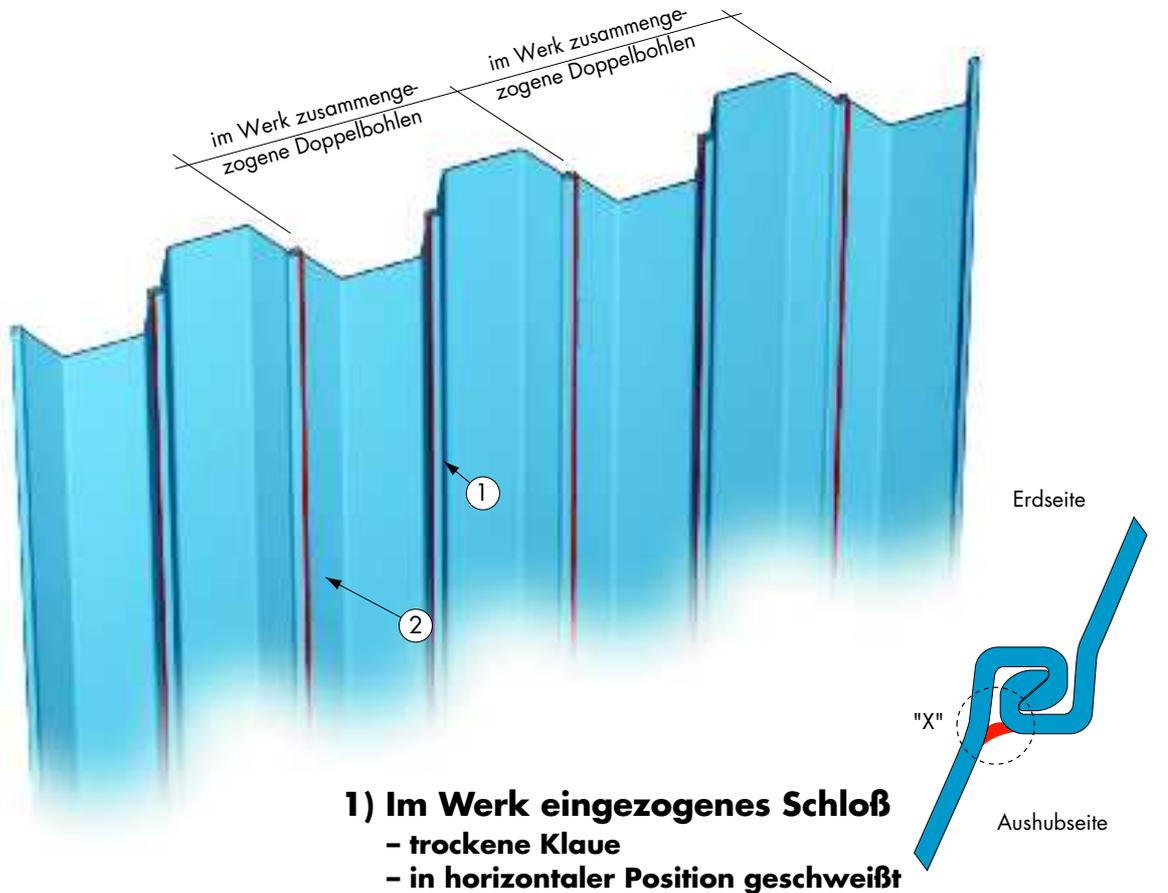


c) nasses Schloß
(fließendes Wasser)



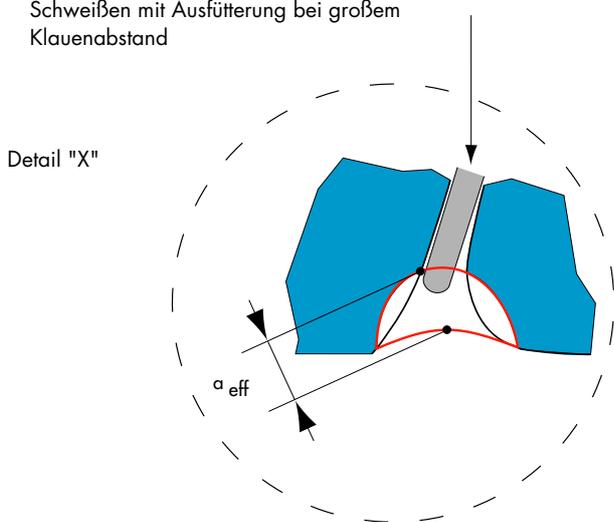
Abbildung 13

Dichtschweißen
AU/PU/LS/JSP Doppelbohlen

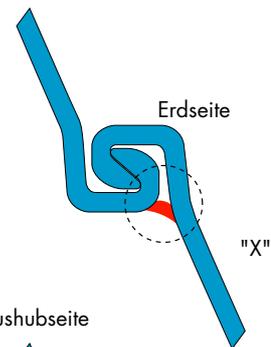


2) Auf der Baustelle eingefädertes Schloß
 - trockene oder feuchte Klaue
 - in vertikaler Position geschweißt

Schweißen mit Ausfütterung bei großem Klauenabstand



a) trockene Klaue



c) nasse Klaue (fließendes Wasser)

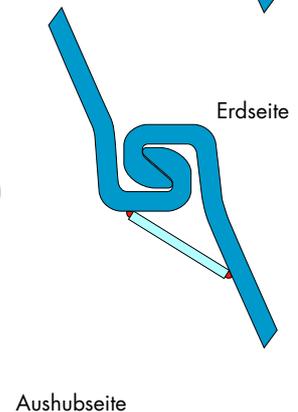


Abbildung 14

Mögliche Arten des Schweißens von Spundwandschlössern (Tabellarische Zusammenfassung)

Tabelle 1

	Schweißart		Schweißposition		Schweißprozess (siehe Abschnitt 1.3.3)	Vorteile	Nachteile		
	Trocken	feucht	im Schloß	mit Blechüberdeckung				Schweißrichtung	
								vertikal	horizontal
Schloß		siehe Anmerkung 1		aufwärts (a eff. > 6 mm) / abwärts (a eff. 3-4 mm)					
Im Werk zusammengezo- genes Schloß, verschweißt, im Werk oder auf der Baustelle	X				X	- alle Vorteile von horizontalem gegenüber vertikaalem Schweißen			
	X	X		Zu verwenden: - für jede Distanz im Schloß - bei maximaler Biegebelastung der Wand - in korrosiver Umgebung	alle	- Durchdringung - garantierte mechanische Eigenschaften - ein einziger Schweißdurchgang	- hohe Energieeinbringung - mittlere Effizienz - Kosten		
	X		X	Zu verwenden: - für Mindestdistanz - bei geringer Biegebelastung der Wand	alle	- minimale Energieeinbringung - hohe Ausführungsgeschwindigkeit	- Adhäsionsrisiko (geringe Durchdringung) - minimale mechanische Eigenschaften - manchmal mehrere Schweißdurchgänge		
	X		X	Zu verwenden: - bei maximaler Biegebelastung der Wand - in korrosiver Umgebung	alle	- Durchdringung - garantierte mechanische Eigenschaften - ein einziger Schweißdurchgang	- hohe Belastungsrate - mittlere Effizienz - Kosten		
Auf der Baustelle	X		X	Zu verwenden: - bei maximaler Biegebelastung der Wand - in korrosiver Umgebung	siehe Anmerkung 2	- minimale Energieeinbringung - Geschwindigkeit der Ausführung	- Adhäsionsrisiko (geringe Durchdringung) - minimale mechanische Eigenschaften - manchmal mehrere Schweißdurchgänge		
	X	X		Zu verwenden: - für jede Distanz im Schloß - bei maximaler Biegebelastung der Wand - in korrosiver Umgebung	alle	- Durchdringung - hohe mechanische Eigenschaften - höhere Teile durch aufsteigende Wärme erhitzt - ein einziger Schweißdurchgang (abhängig von Feuchtigkeitsniveau)	- hohe Belastungsrate - mittlere Effizienz - Kosten - optischer Eindruck (abhängig von Feuchtigkeitsniveau)		
	X		X	Zu verwenden: - bei minimaler Biegebelastung der Wand	alle	- minimale Energieeinbringung - Geschwindigkeit der Ausführung	- Adhäsionsrisiko (geringe Durchdringung) - mehrere Schweißdurchgänge erforderlich (Porosität) - Adhäsionsrisiko (geringe Durchdringung) - minimale mechanische Eigenschaft		
zusammengezo- genes und verschweißtes Schloß		X		Zu verwenden: - für Mindestdistanz - bei geringer Biegebelastung der Wand	alle	- Durchdringung - garantierte mechanische Eigenschaften - höhere Teile durch aufsteigende Wärme erhitzt - ein einziger Schweißdurchgang	- hohe Belastungsrate - mittlere Effizienz - Kosten		
		X	X	Zu verwenden: - bei maximaler Biegebelastung der Wand - in korrosiver Umgebung	siehe Anmerkung 2	- Durchdringung - garantierte mechanische Eigenschaften - höhere Teile durch aufsteigende Wärme erhitzt - ein einziger Schweißdurchgang	- hohe Belastungsrate - mittlere Effizienz - Kosten		
	X		X	Zu verwenden: - bei minimaler Biegebelastung der Wand	alle	- minimale Energieeinbringung - Geschwindigkeit der Ausführung	- Einschränkung bei Feuchtigkeit - mehrere Schweißdurchgänge erforderlich (Porosität) - Adhäsionsrisiko (geringe Durchdringung) - minimale mechanische Eigenschaft		
	X	X		Zu verwenden: - bei maximaler Biegebelastung der Wand - in korrosiver Umgebung	siehe Anmerkung 2	- Durchdringung - garantierte mechanische Eigenschaften - höhere Teile durch aufsteigende Wärme erhitzt - ein einziger Schweißdurchgang	- hohe Belastungsrate - mittlere Effizienz - Kosten		
	X		X	Zu verwenden: - bei minimaler Biegebelastung der Wand	siehe Anmerkung 2	- minimale Belastungsrate - Geschwindigkeit der Ausführung	- Einschränkung bei Feuchtigkeit - mehrere Schweißdurchgänge erforderlich (Porosität) - Adhäsionsrisiko - minimale mechanische Eigenschaft		

Anmerkung 1: Bei Feuchtigkeit ist es ratsam, die Schweißfläche zu trocknen.

Anmerkung 2: Bei Abichtung durch Schweißen mit einer Blechabdeckung:

- es ist ratsam das Blech so zu positionieren, dass es beide Seiten der Schlosstufe vollständig bedeckt; - die Größe des Hohlraumes unter der Abdeckung sollte entsprechend dem Volumen des Durchflusses durch die Fuge gewählt werden (keine Auswirkung auf das Schweißen auf beiden Seiten).

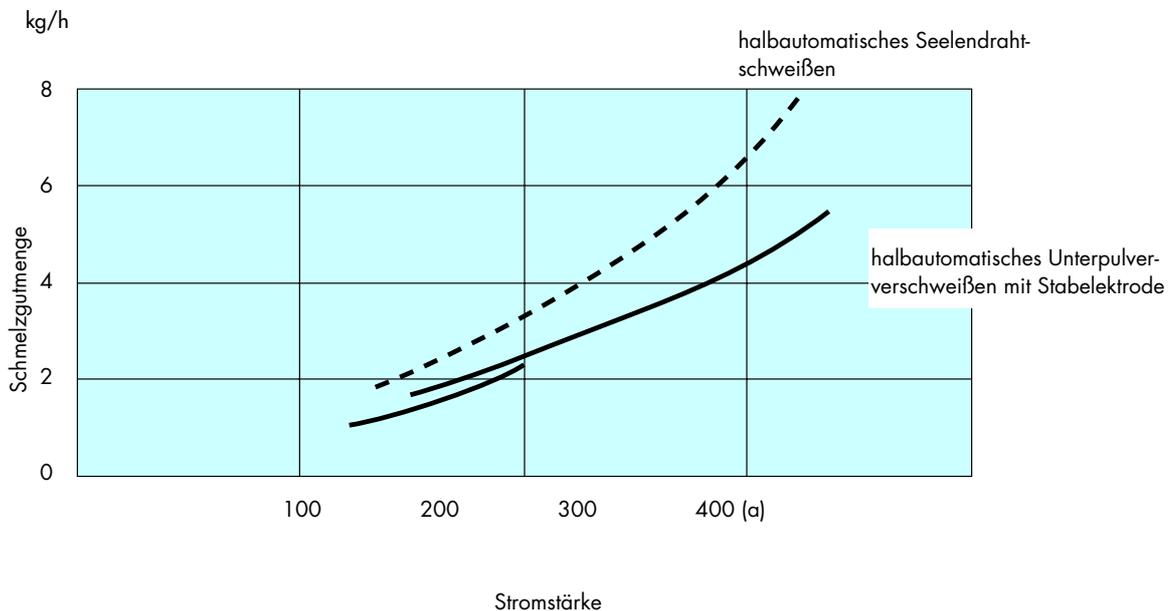


Abbildung 15

b) Metall-Aktivgasschweißen mit Drahtelektrode (MAG)

Vorteile:

- leicht auszuführen,
- hohe Schmelzleistung (Abbildung 15).

Nachteile:

- ausgebildete Facharbeiter,
- höhere Investition in Maschinen,
- Gasschutz fehlt, bei Wind Gefahr unregelmäßiger Schweißqualität.

c) Metall-Aktivgasschweißen mit Fülldrahtelektrode

Vorteile:

- universell verwendet,
- leicht auszuführen,
- hohe Schmelzleistung (Abbildung 15),
- Verfahren, das die Vorteile des Elektroden-schweißens mit einem halbautomatischen Verfahren kombiniert.

Nachteile:

- höhere Investition in Maschinen,
- ausgebildete Facharbeiter.

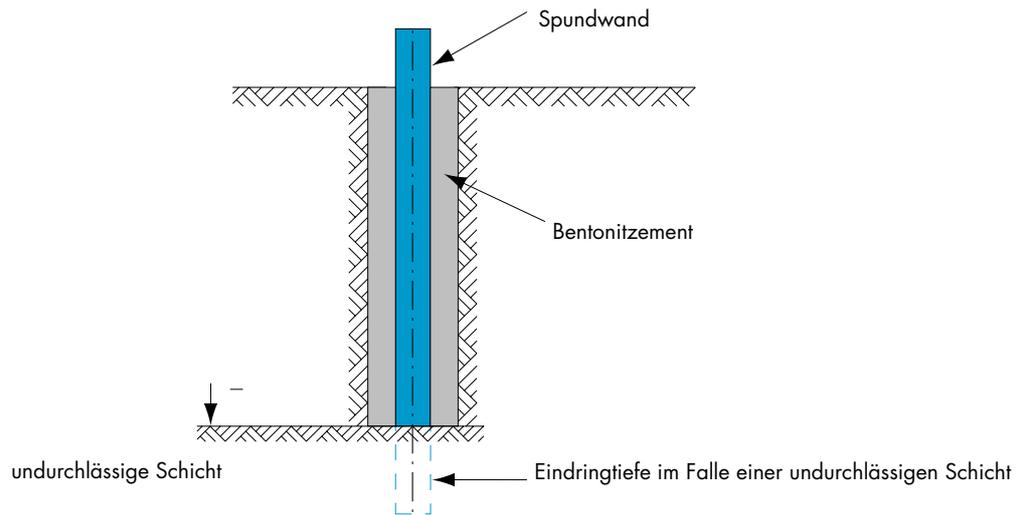
1.1.3.4 Automatisierung des Schweißens von Spundwandschlössern

Aufgrund der mannigfachen Einflüsse auf die Ausführung der Arbeit auf der Baustelle ist diese Methode mit größter Zurückhaltung zu behandeln, da die Automatisierung gleichbleibende Schweißparameter erfordert.

Wegen der unterschiedlichen Abstände zwischen den Klauen und den variierenden Bedingungen vor Ort ist eine Automatisierung schwierig und von geringem Nutzen. Die Rendite auf die Investition bleibt gering und der zusätzliche Unterhalt der Ausrüstung würde wahrscheinlich die Schweißkosten erhöhen.

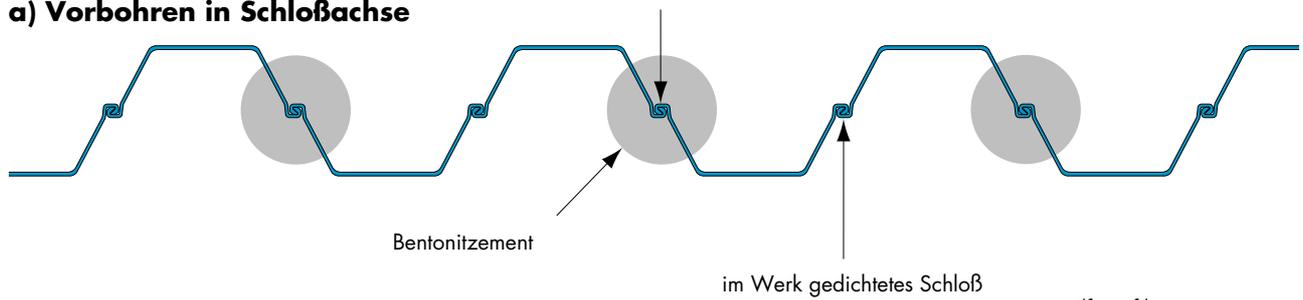
Andere Lösungen für die Vertikaldichtung von Spundwänden

1) Kombination Spundwand mit Bentonitzementwand



2) Bentonitmantel um das Schloß

a) Vorbohren in Schloßachse



b) Verwendung eines Hilfsprofils

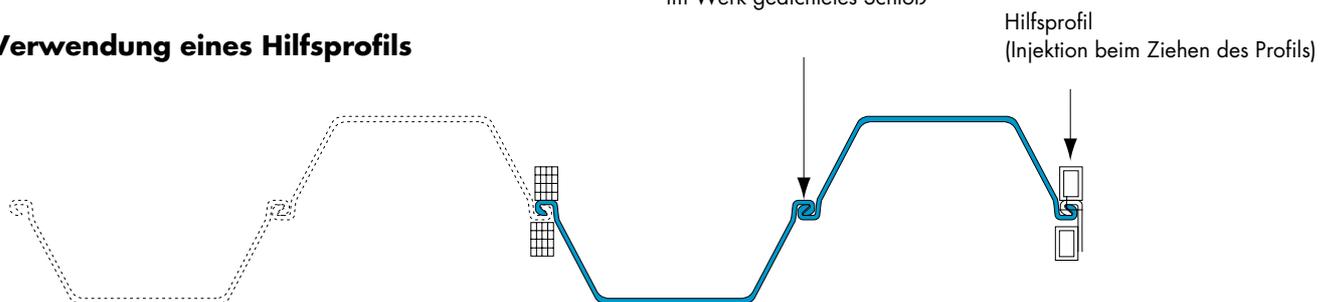


Abbildung 16

1.1.4 Andere Lösungen für die Vertikaldichtung von Spundwänden

Abgesehen von Produktfüllungen im Schloß, gibt es andere Verfahren zur Abdichtung von Stahlspundwänden.

1.1.4.1 Kombination Spundwand mit Bentonitzementwand (Abbildung 16-1)

Diese Kombination verbindet die Dichtungsqualitäten von Bentonit mit den mechanischen Eigenschaften der Stahlspundwand. Dieses System gestattet gleichfalls die Durchführung von Arbeiten in großer Tiefe und schwierigen Böden. Ein Nachteil dieser Technik ist das Anfallen von Aushubmaterial, das als Sondermüll entsorgt werden muß.

1.1.4.2 Vorbohren in Schloßachse (Abbildung 16-2a)

Es wird ein Loch in der Achse der zu rammenden voreilenden Klaue gebohrt. Bohrdurchmesser: zwischen 300 und 450 mm. Abstand zwischen den Löchern: Systemabstand der Doppelbohle. Der Boden-aushub wird durch Bentonit ersetzt. Diese Methode erleichtert gleichfalls das Rammen und kann mit einem abgedichteten Schloß wie in Abschnitt 1.1 beschrieben kombiniert werden. Die Erzeugung von verunreinigtem Boden ist begrenzt.

1.1.4.3 Rammen unter Verwendung eines Hilfsprofils (Abbildung 16-2b)

Ein Hilfsprofil wird an der voreilenden Klaue der zu rammenden Bohle eingefädelt. Das Hilfsprofil wird entweder mit der Bohle oder nachher gerammt, wenn die Eigenschaften des Bodens dies zulassen. An dem Hilfsprofil befinden sich Rohre welche das Erdreich von der Klaue wegdrängen. Durch diese Rohre wird eine Injektionsmasse gedrückt während das Hilfsprofil gezogen wird. Auf diese Weise wird das Erdreich nahe der voreilenden Klaue verdrängt und durch Injektionsmasse ersetzt und erleichtert so das Rammen der nächsten Bohle.

1.1.4.4 Rammen unter Verwendung eines speziellen Verdrängungsprofils (Abbildung 17)

Für diese Arbeitsmethode werden zwei speziell gefertigte Verdrängungsprofile mit einem Spundwand-schloß verbunden. Die Profile bestehen aus einem Trägerabschnitt, auf den über die gesamte Länge an den Seiten Bleche aufgeschweißt sind, und an den ein Schneidfuß montiert ist. Während des Rammens

wird das Erdreich beiseite geschoben. Ist die geforderte Tiefe erreicht, wird das Verdrängungselement zurückgezogen, während der so entstandene Hohlraum mit Bentonit gefüllt wird. Die Spundbohlen werden dann in die Suspension gestellt oder gerammt. Diese Methode vermeidet die Entsorgung von Aushubmaterial.

1.1.4.5 Dichtungsinjektionen hinter die Spundwand

Bei diesem System der Dichtungsinjektionen auf der Erdseite handelt es sich um ein sehr einfaches aber nicht sehr zuverlässiges Verfahren, da die Verteilung des Dichtungsproduktes nicht kontrolliert werden kann und stark von der Bodenbeschaffenheit abhängt.

Andere Lösungen zur Vertikaldichtung von Spundwänden
- Benutzung eines speziellen Verdrängungsprofils

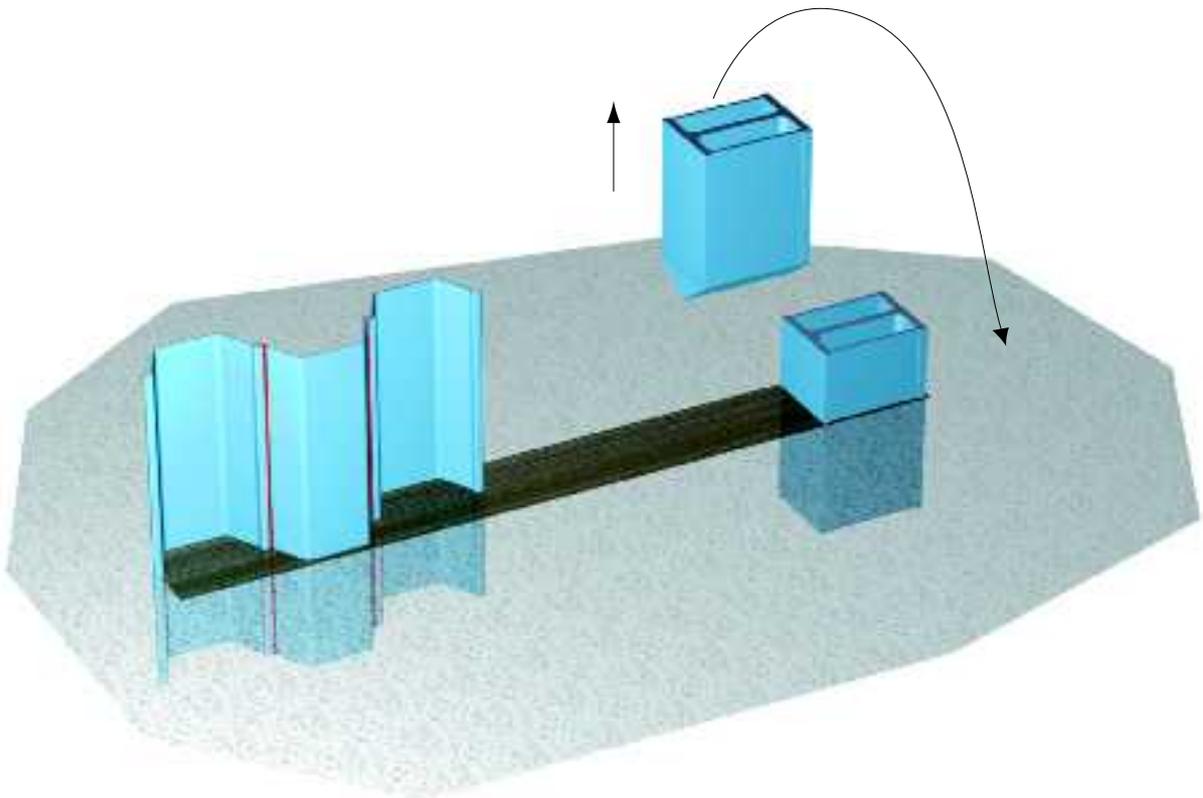
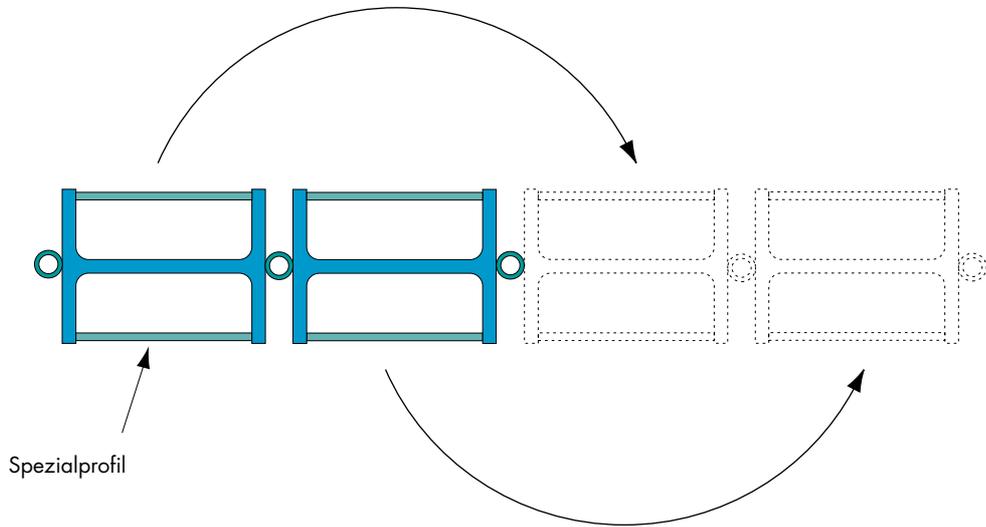


Abbildung 17

1.1.5 Reparatur von defekten Schloßabdichtungen

Wenn beim Rammen eine Schloßabdichtung beschädigt wird, gibt es Möglichkeiten der Reparatur.

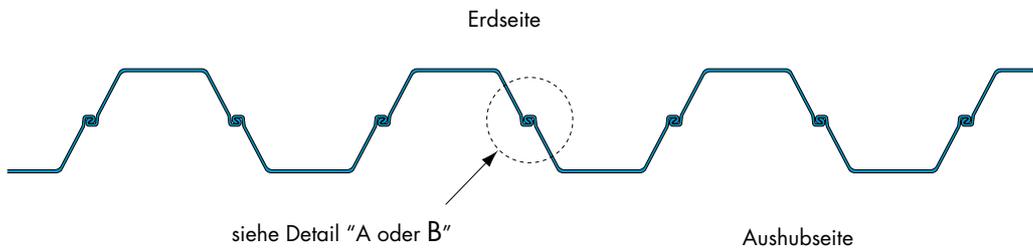
Die Wahl der Reparaturmethode hängt von folgenden Faktoren ab:

- Art des Dichtungsproduktes (z.B. bituminös, wasserquellend, Schweißung);

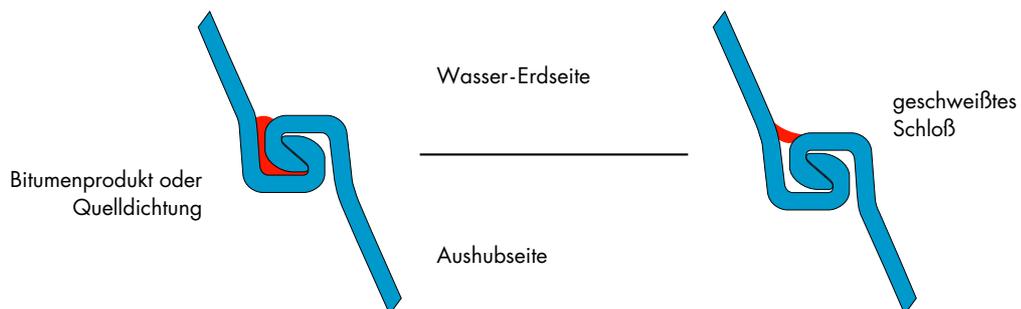
- Lage der Abdichtung (siehe **Abbildungen 18 und 19**);
- Abstand der Klauen (siehe **Abbildung 20**);
- Feuchtigkeit im Schloß;
- Zugangsmöglichkeit.

Die unterschiedlichen Verfahren werden nachstehend aufgeführt, und Tabelle 2 zeigt die Kriterien, für die Wahl des angemessenen Verfahrens.

Reparatur von defekten Schloßabdichtungen Lage der Abdichtung (U-Bohle)



Detail "A"



Detail "B"

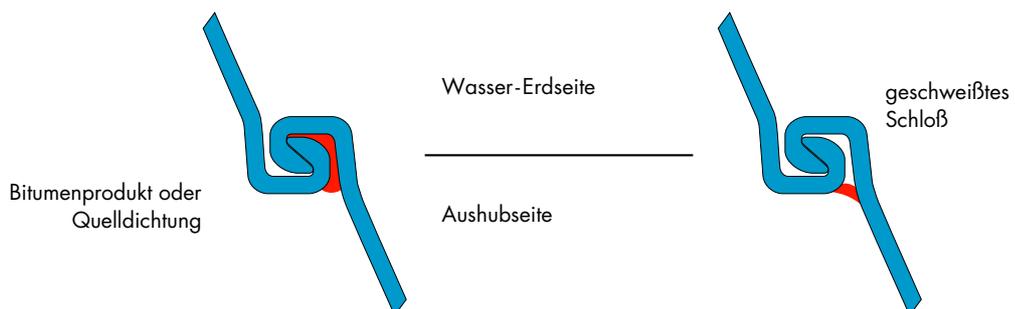
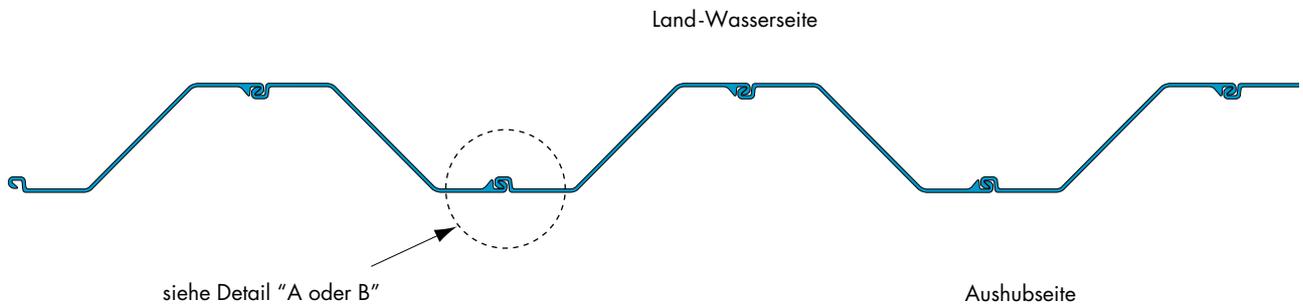


Abbildung 18

Reparatur von defekten Schloßabdichtungen Lage der Abdichtung (Z-Bohle)



Detail "A"

Bitumen- oder Quelledichtung



Wasser- / Erdseite

geschweißtes Schloß



Aushubseite

Detail "B"

Bitumen- oder Quelledichtung



Wasser- / Erdseite

geschweißtes Schloß



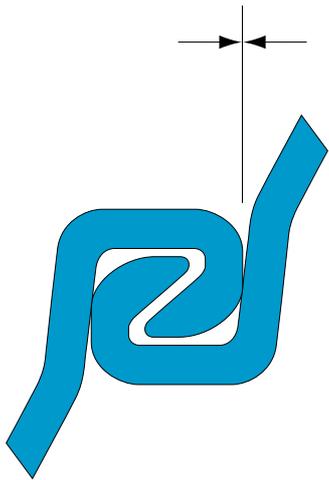
Aushubseite

Abbildung 19

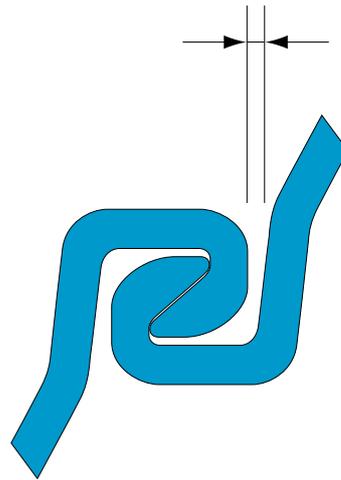
Reparatur von defekten Schloßabdichtungen

Abstand der Klauen (U-Bohle)

A) Ohne Abstand

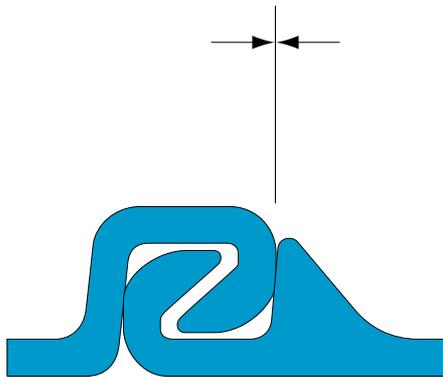


B) Mit Abstand



Abstand der Klauen (Z-Bohle)

A) Ohne Abstand



B) Mit Abstand

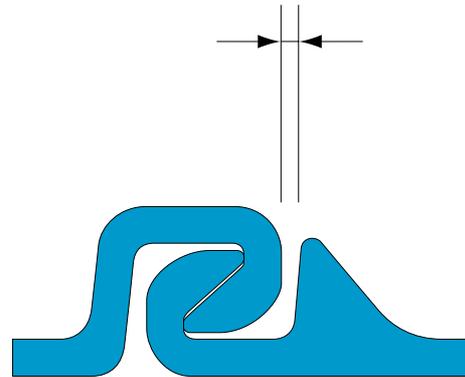
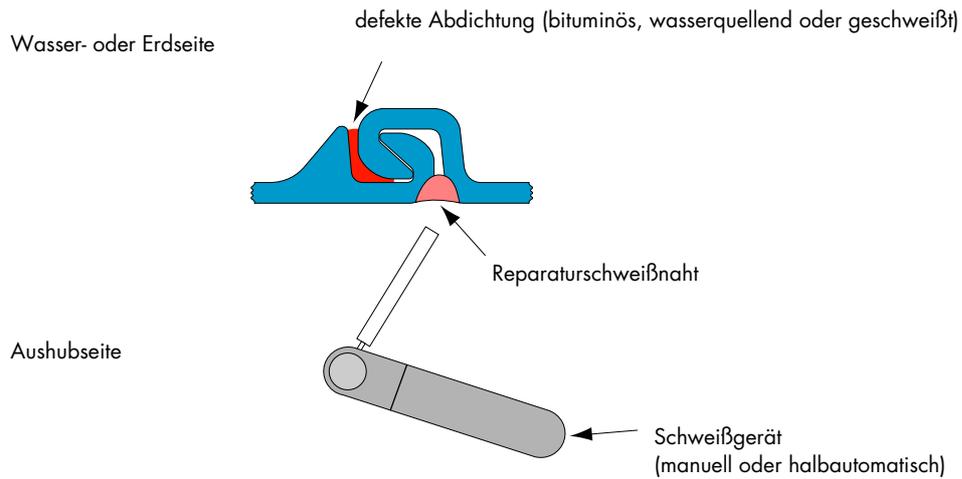


Abbildung 20

1.1.5.1 Reparaturen über Geländehöhe (Schloß auf der Aushubseite zugänglich)

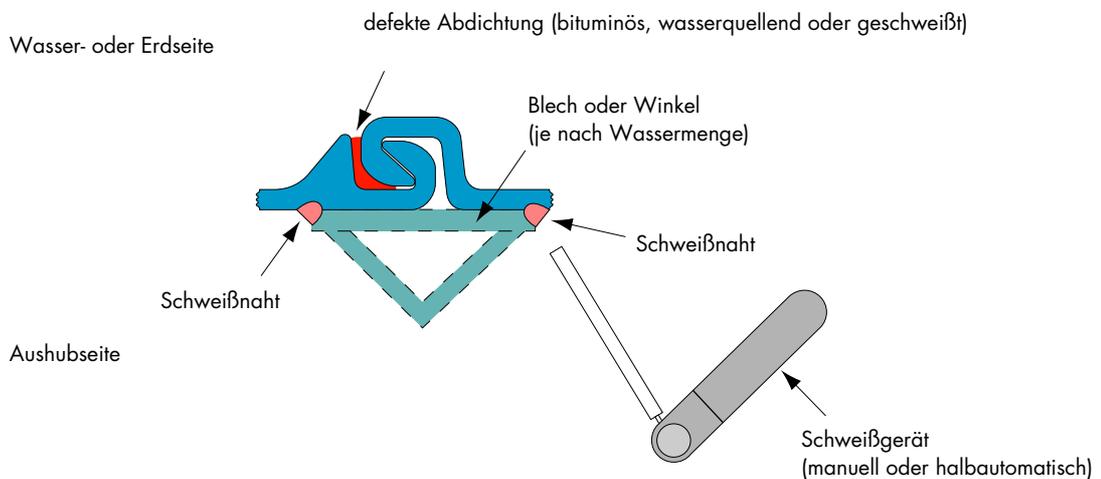
Verfahren 1:

Abdichtung durch Anbringung einer Dichtschweißnaht am Schloß über die erforderliche Bohlenhöhe.



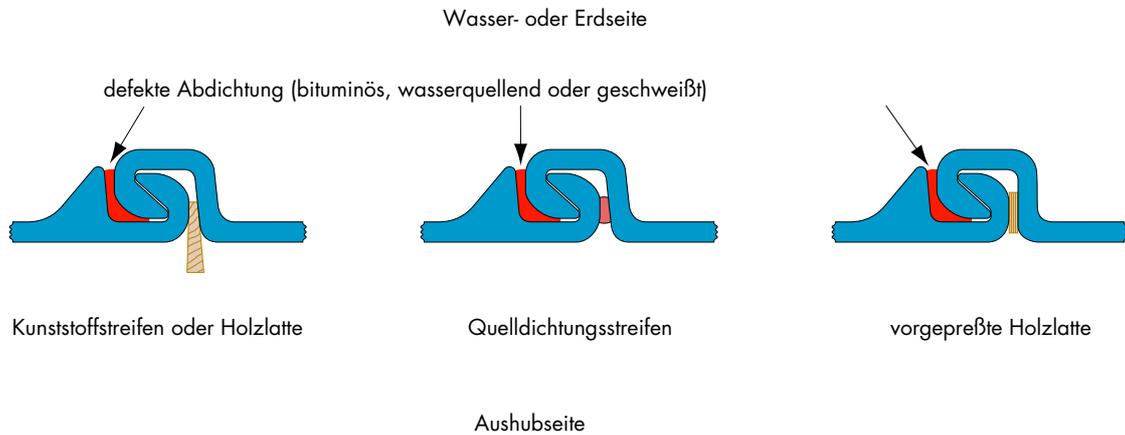
Verfahren 2:

Abdichtung durch Anschweißen eines Bleches oder eines Winkels über die erforderliche Bohlenhöhe.



Verfahren 3:

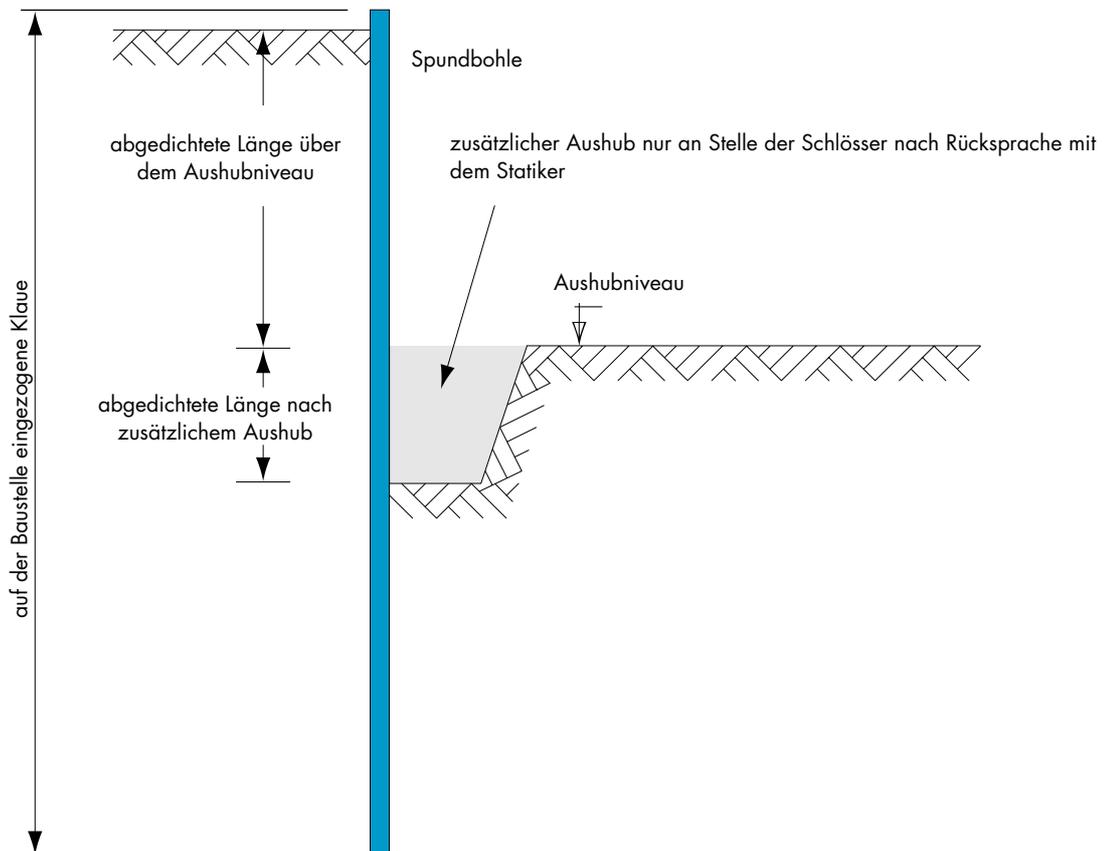
Abdichtung des Schloßspaltes mit Kunststoffstreifen, Queldichtungsstreifen oder gepreßten Holzlatten über die geforderte Bohlenhöhe.



1.1.5.2 Reparaturen unterhalb Geländehöhe

Verfahren 4:

Aushub über die zu dichtende Schloßlänge und Dichtschweißung oder Dichtstopfen bis zur erforderlichen Tiefe.



Wahl der Verfahren zur Reparatur von Schloßdichtungen

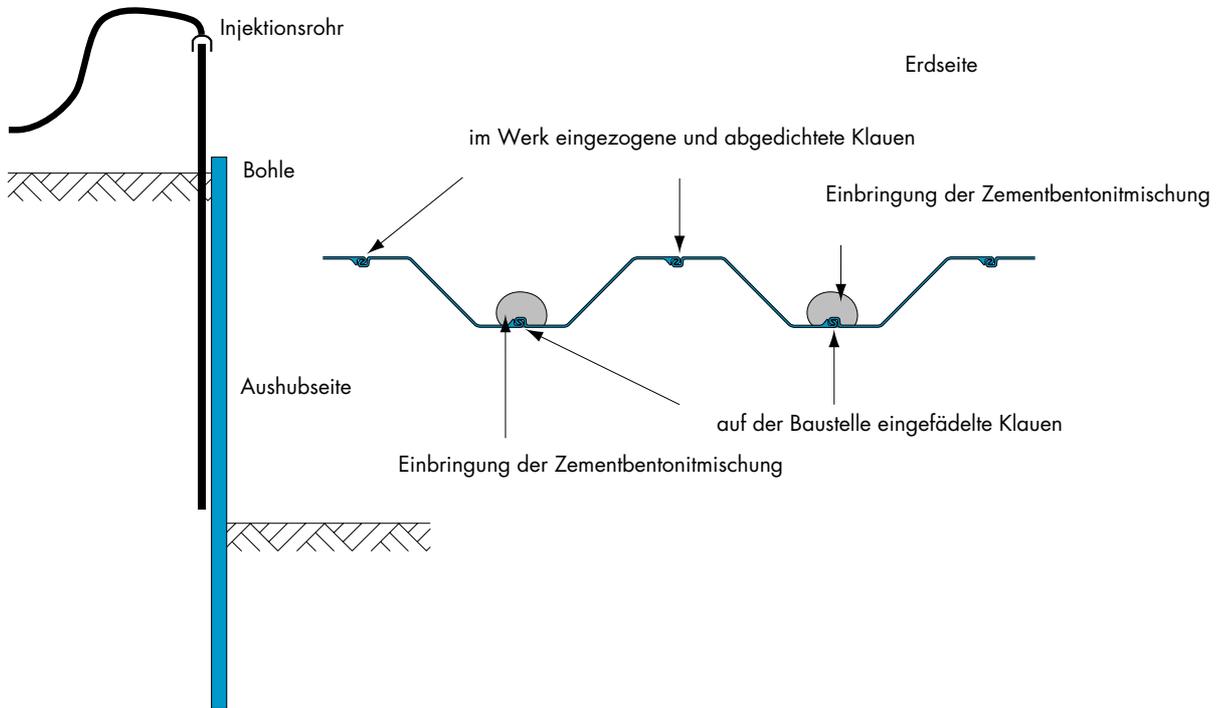
Tabelle 2

Lage der Dichtung	Art der Dichtung			Abstand der Klauen (siehe Figur 20)		Feuchtigkeit im Schloß		Zugangs- möglichkeit	Anzuwendendes Verfahren (siehe Text Absatz 1.1.5.1.)
	Bitumen	Quelldichtung	Schweiß- naht	Kein Abstand	Abstand	Feuchtigkeit ohne Leckage	Feuchtigkeit mit Leckage		
Wie Detail A (Figuren 18 und 19) (Dichtung wasserseitig)	X	X	X	X		X		X	Verfahren 1 oder 2
Ex:	X	X	X		X			X	Verfahren 1 oder 2 oder 3
	X	X	X		X		X	X	Verfahren 2 oder 3
Wie Detail B (Figuren 18 und 19) (Dichtung aushubseitig)	X	X		X		X		X	Verfahren 2
	X	X			X	X	X	X	Verfahren 2 oder 3 (abwechselnd)
			X	X	X	X	X	X	Verfahren 1 (abwechselnd) oder 2

Beispiel: AZ-Bohle - Quelldichtung - gegen Wasserdruck wie Abbildung 19 Detail A - mit Abstand zwischen Klauen - großer Wasserdurchfluß, siehe „mit Leckage“ - Zugangsmöglichkeit über Baugrube.

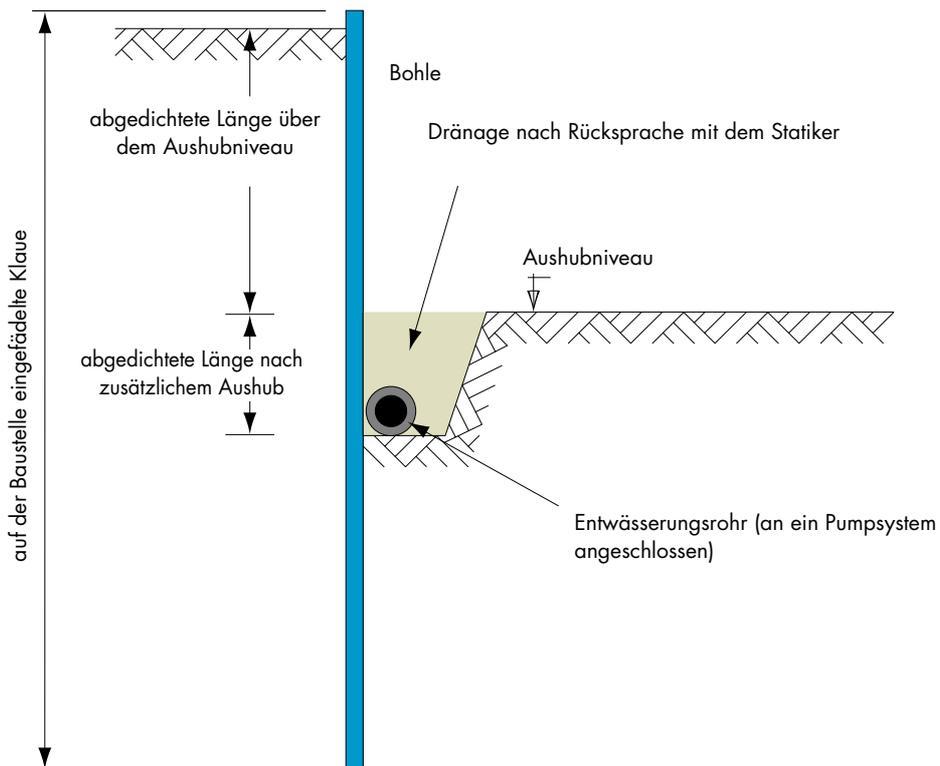
- Reparatur: wie in Verfahren gezeigt.

Verfahren 5: Injektion längs des zu dichtenden Schlosses (Blitzzement oder Bentonit).



Verfahren 6:

Im Falle größerer Leckagen einen Graben längs der Aushubsohle anlegen, ein Dränagesystem installieren und an ein Pumpsystem anschließen.



1.1.5.3 Reparaturen im Wasser

Verfahren 7:

Beispiele für das Anbringen oder Reparieren einer wasserseitigen Dichtung gegeben die Abbildung 21a und 21b

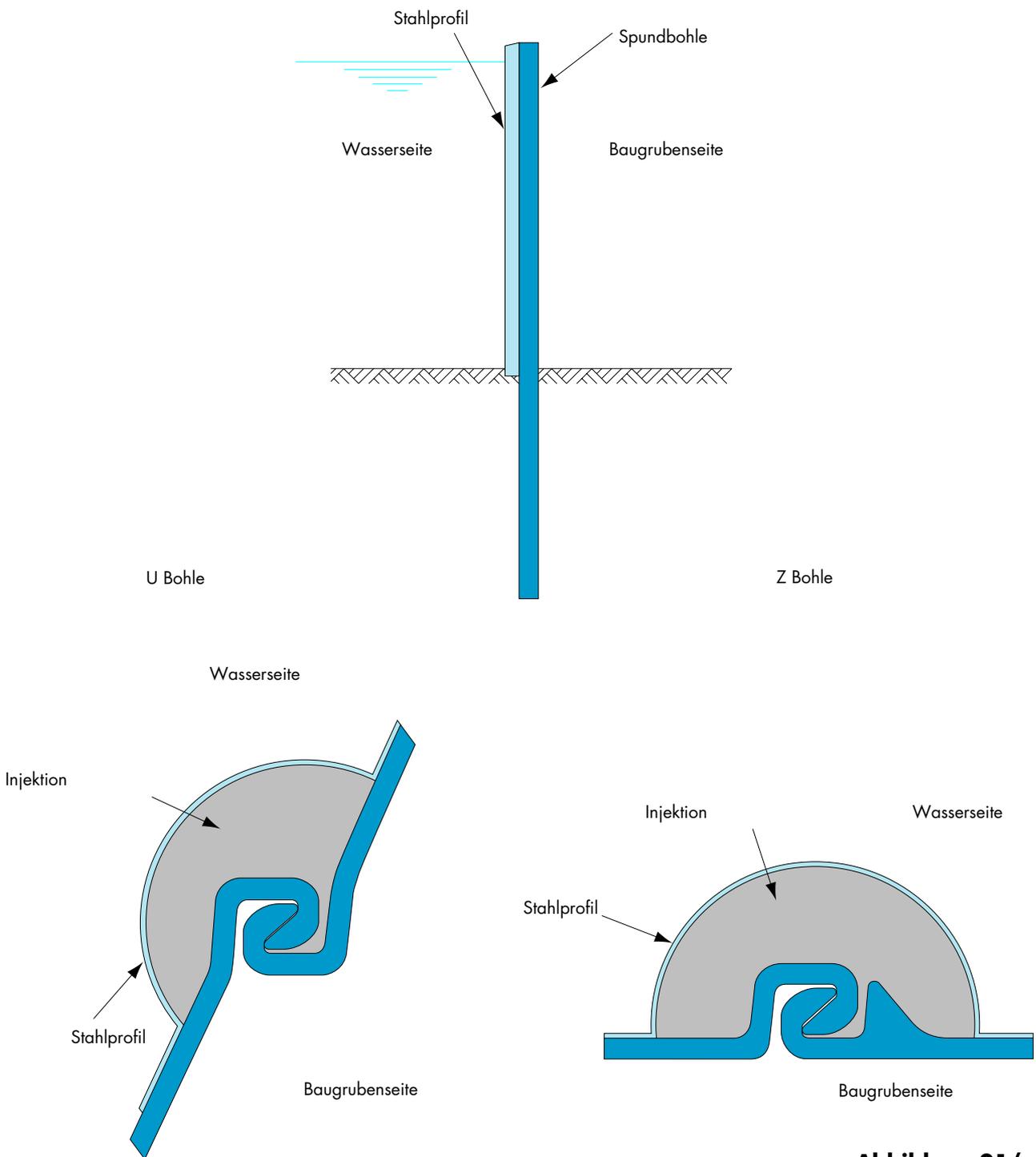
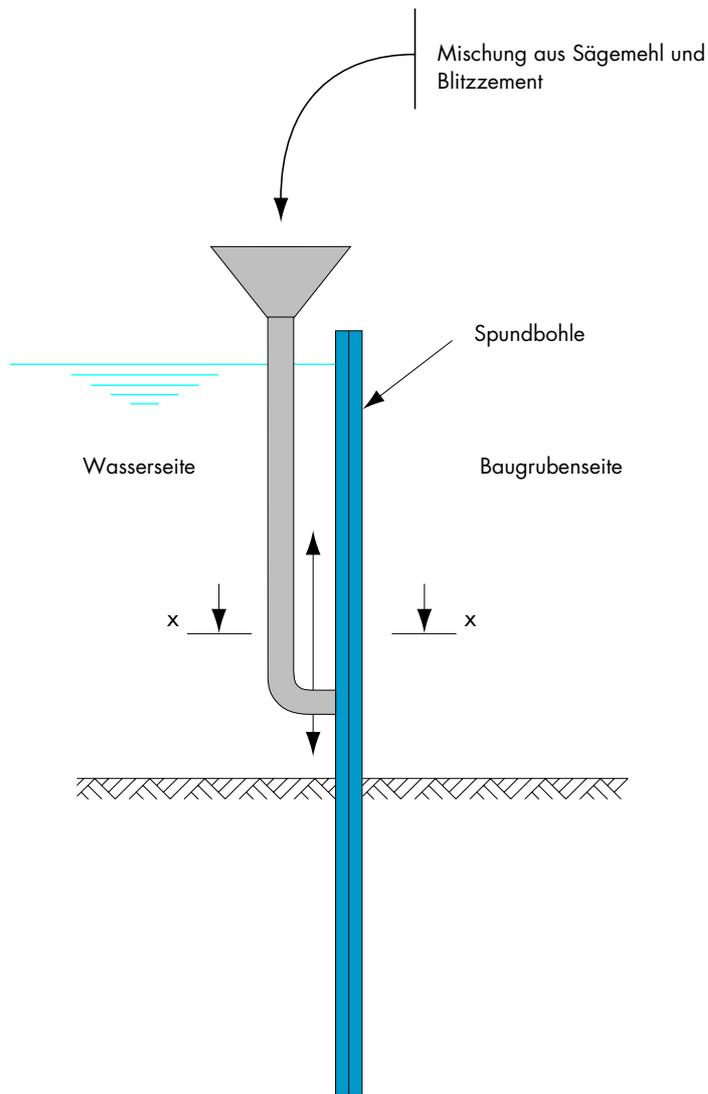


Abbildung 21/a

Mögliche Abdichtungen von der Wasserseite



Schnitt x-x

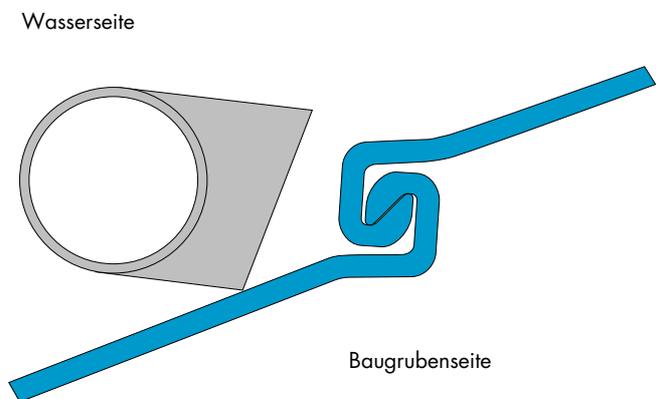


Abbildung 21/b

2. Horizontale Abdichtung

Die horizontale Abdichtung besteht aus der Herstellung einer wasserdichten Verbindung zwischen zwei im wesentlichen verschiedenen Konstruktionselementen, der Spundwand, die steif und gewellt ist und dem horizontalen Bauelement, steif oder flexibel und im allgemeinen flach.

Generell gibt es zwei Arten der Abdichtung:

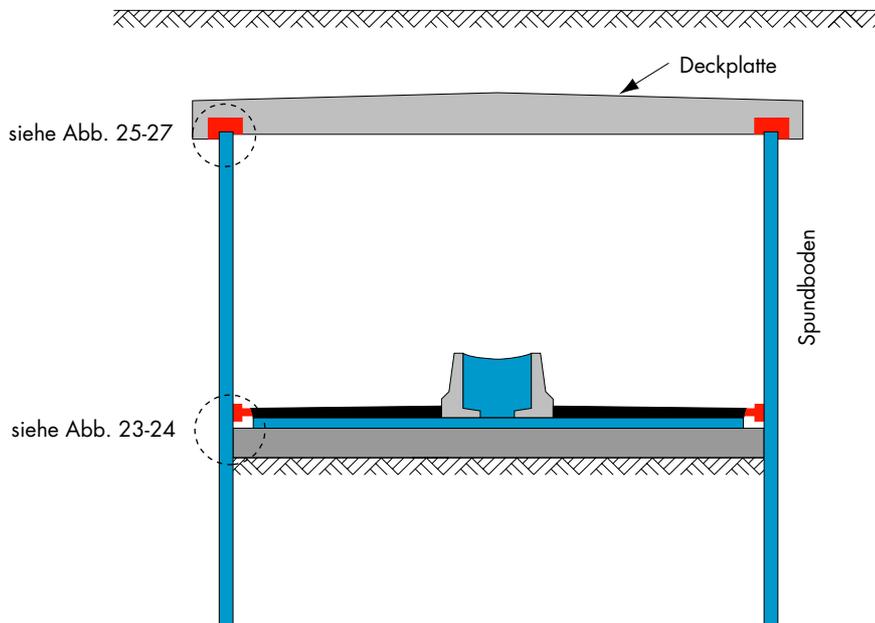
- Sohlabdichtung, d.h. Herstellung einer wasserdichten Verbindung in einem Bereich der meist unter Wasser liegt;
- Abdichtung einer Deckenplatte.

Beispiele für die Abdichtung zwischen einer Spundwand und einer Sohlplatte und einer Deckplatte geben die nachfolgenden Skizzen:

Abbildungen 23-24: Beispiele für die Verbindung mit einer Sohlplatte.

Abbildungen 25-27: Beispiele für die Verbindung mit einer Deckplatte.

1) Tunnel



2) Deponie

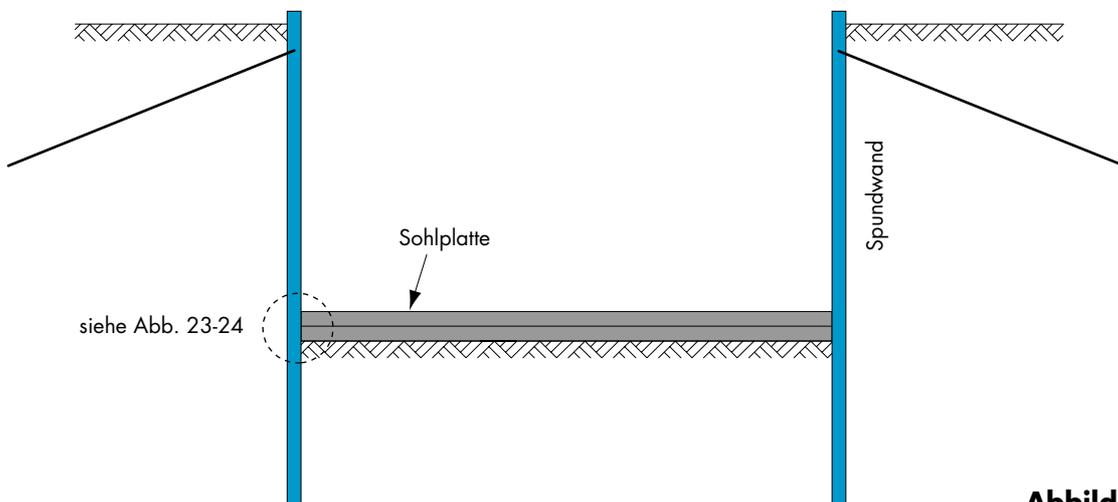


Abbildung 22

Horizontaldichtung unter Verwendung eines Blech- und Folien-Systems für geringe bis durchschnittliche Beanspruchung

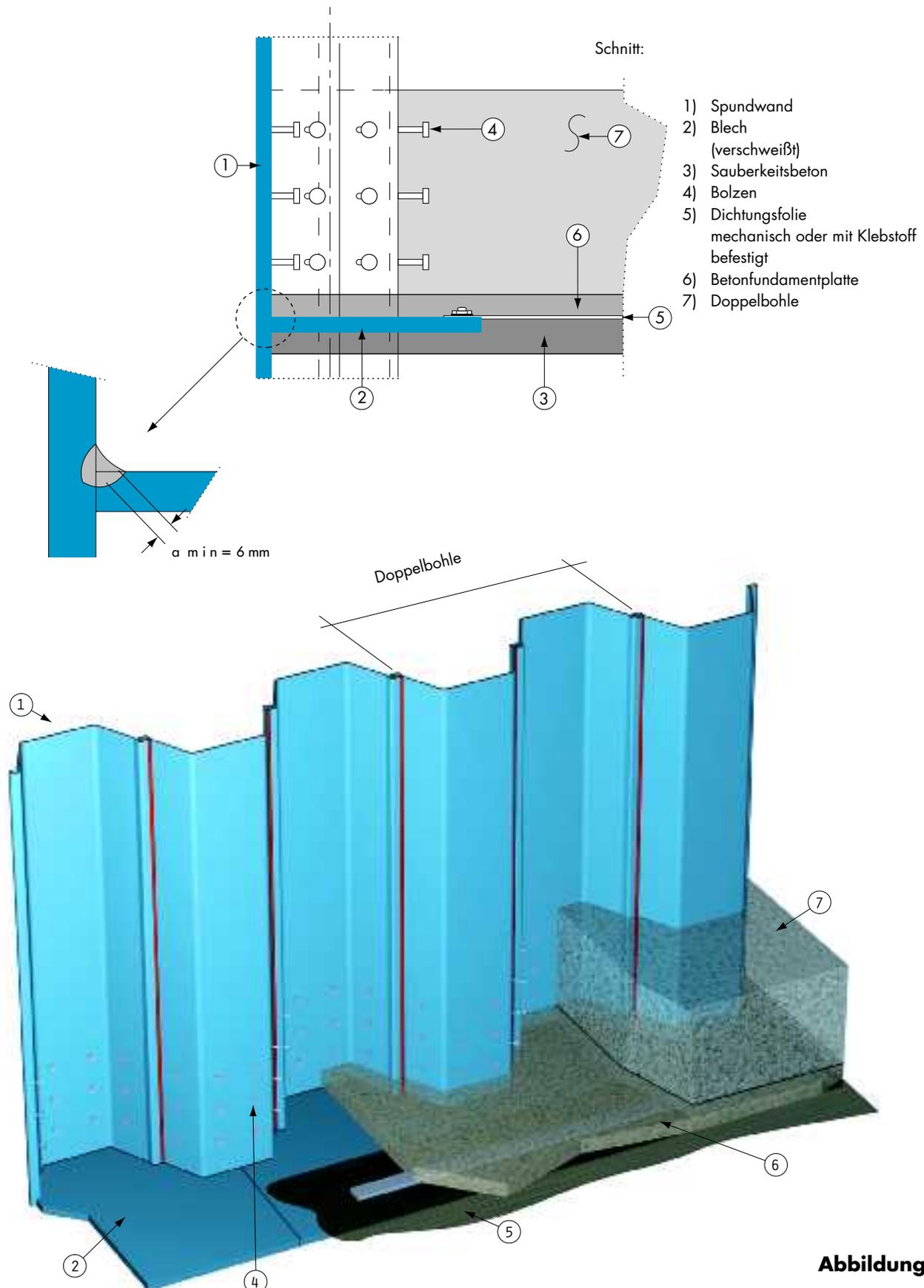


Abbildung 23

Horizontaldichtung unter Verwendung eines Blech- und Folien-Systems für hohe Beanspruchung

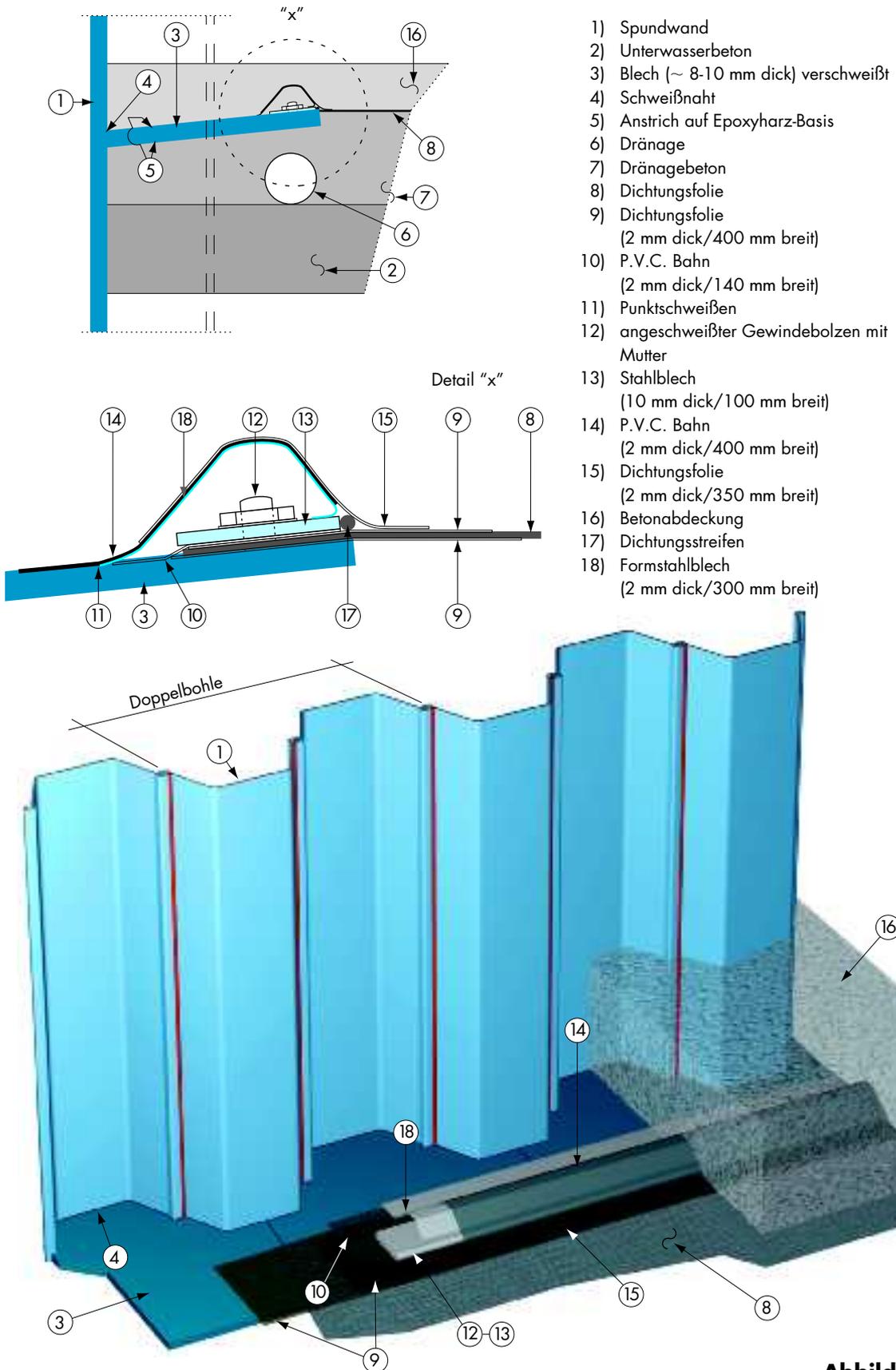
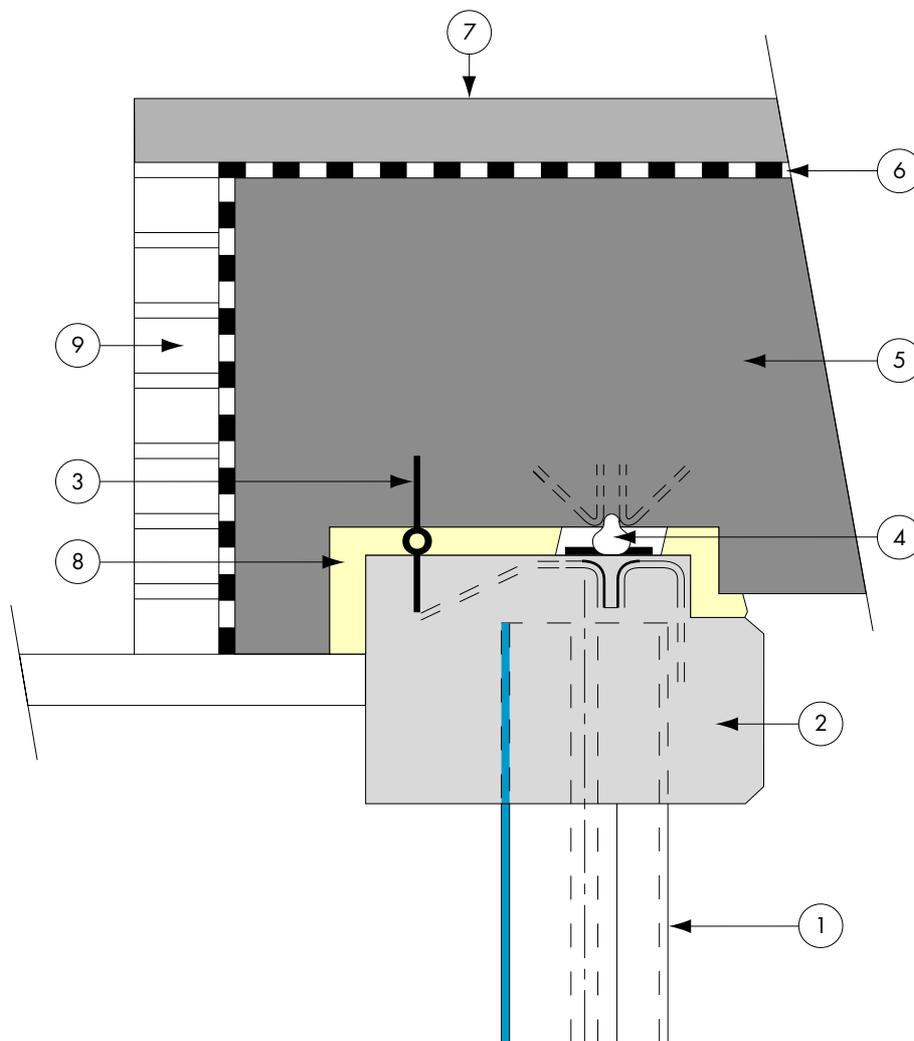


Abbildung 24

Horizontaldichtung Beispiel flexibler Verbindung zwischen Deckplatte und Stahlspundwand bei anstehendem Wasser



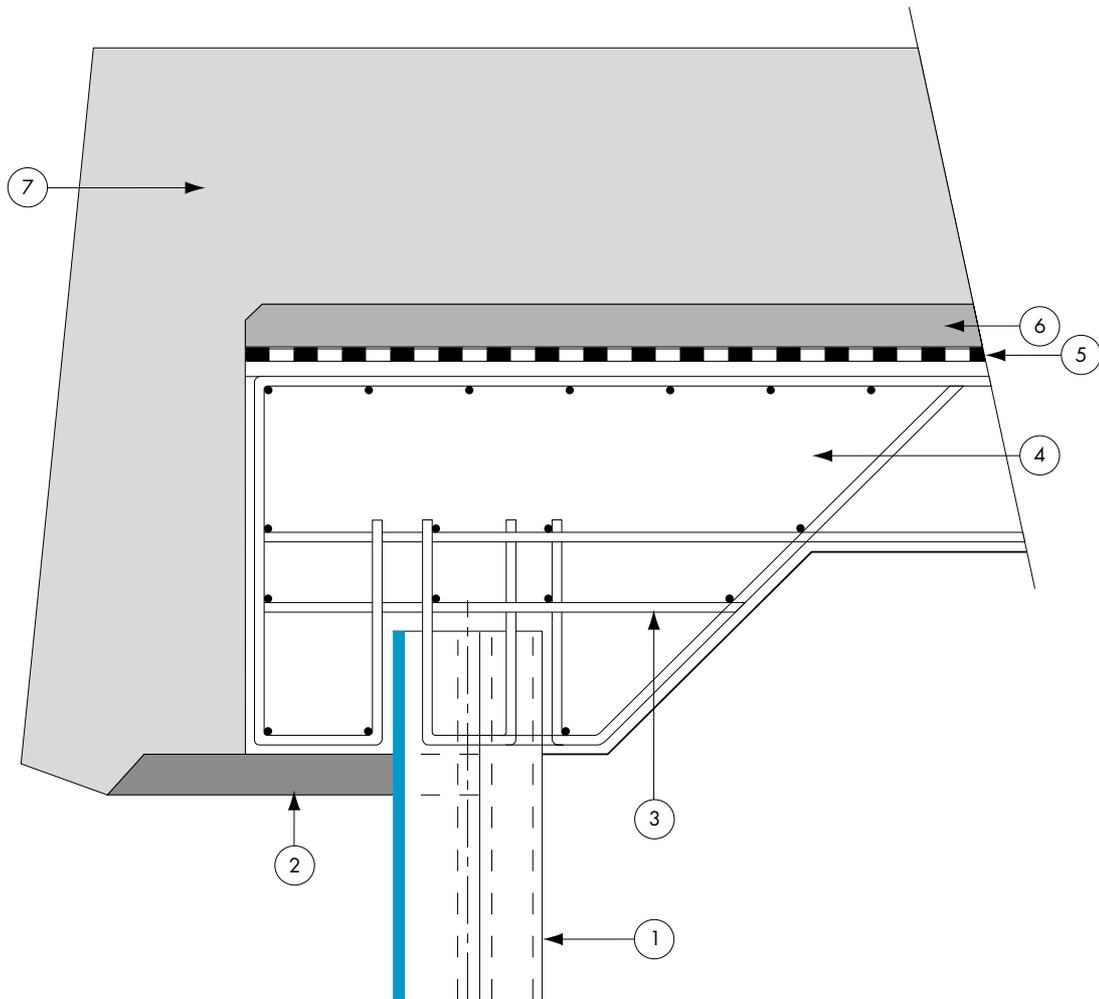
- 1) Spundwand
- 2) Stahlbeton
- 3) Fugenband Typ Sika oder ähnlich
- 4) Auflagen
- 5) Deckplatte aus Stahlbeton
- 6) Dichtung
- 7) Betonabdeckung oder Asphalttschicht
- 8) Polystyren (verlorene Schalung)
- 9) Verkleidung

Ausführungsphasen:

- a) Aushub, Bohlenköpfe auf Niveau bringen, Reinigung, usw.
- b) Vorbereitung der Schalung für den Stahlbeton
Einbringen des unteren Auflagerteils, Bewehrung, Einbringen des Sika Fugenbandes, Betonieren
- c) Verschalung für die Abdeckplatte
- d) Einbringen:
 - Dichtung
 - Betonabdeckung oder Asphalttschicht
 - Verkleidung

Abbildung 25

Horizontale Abdichtung Beispiel für feste Verbindung zwischen Tunnel und Stahlspundwand bei anstehendem Wasser



- 1) Spundwand
- 2) Sauberkeitsbeton
- 3) Bewehrung
- 4) Deckplatte aus Stahlbeton
- 5) Dichtung
- 6) Betonabdeckung oder Asphaltenschicht
- 7) Hinterfüllung, Betonplatte

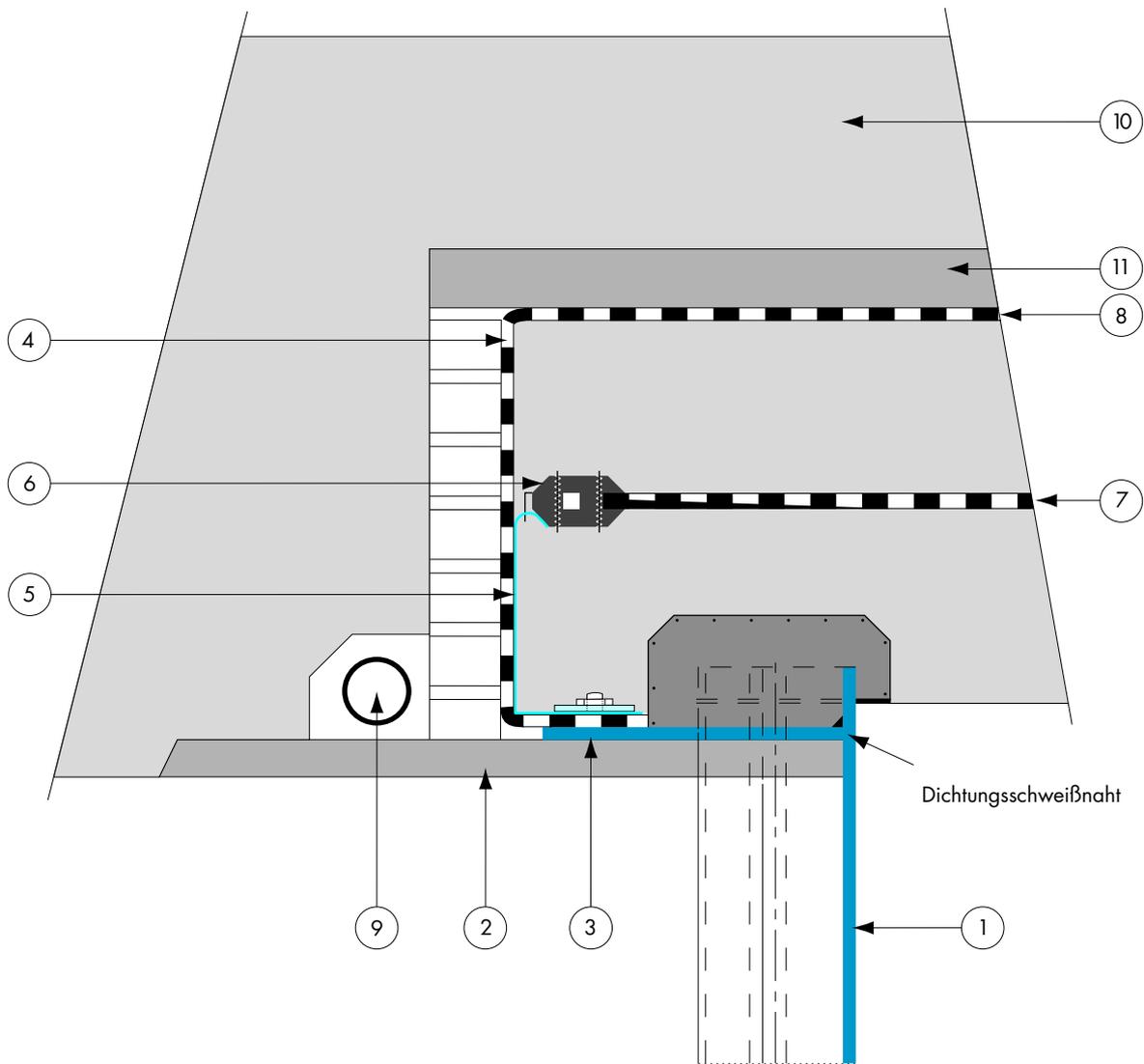
Ausführungsphasen:

- a) Aushub, Bohlenköpfe auf Niveau bringen, Sauberkeitsbeton, Reinigung usw.
- b) Schalung für die Deckplatte
- c) Einbringen:
 - Dichtung
 - Betonschutz oder Asphaltenschicht
- d) Hinterfüllung, Betonplatte

Abbildung 26

Horizontale Abdichtung

Beispiel für flexible Verbindung zwischen Tunnel und Stahlspundwand bei anstehendem Wasser unter Druck



- 1) Spundwand
- 2) Sauberkeitsbeton
- 3) Stahlblech (~ 8 mm dick)
- 4) Dichtungsfolie
(Dachpappe ~ 5 mm dick)
heiß verklebt oder mechanisch befestigt
- 5) Kupferblech
- 6) Klemmplatte
- 7) Dichtung
- 8) Filterbahn
- 9) Dränage
- 10) Deckplatte aus Stahlbeton
- 11) Betonabdeckung oder Asphalttschicht
beziehungsweise Ziegelmauerwerk im
Vertikalbereich

Ausführungsphasen:

- a) Aushub, Bohlköpfe auf Niveau bringen,
Sauberkeitsbeton, Reinigung usw.
- b) Vorbereitung der Verschalung für den
Stahlbeton
- c) Schalung für die Deckplatte
- d) Installation der Dichtung, Betonabdeckung oder
Asphalttschicht einschließlich Dränage

Abbildung 27

3. Literaturnachweis

Zur Vertiefung der Thematik wird auf folgende Schriften verwiesen:

- 1) Steel Sheet Pile Seepage Resistance,
J.B. Sellmeijer,
Fourth International Landfill Symposium,
Cagliari, Italy, 1993
- 2) Joint Resistance of Steel Sheet Pile
J.B. Sellmeijer,
August 1993 (unpublished)
- 3) The Hydraulic Resistance of Steel Sheet Pile Joints
J.B. Sellmeijer, J.P.A.E. Cools,
W.J. Post, J. Decker
1993 (published by ASCE)
- 4) EAU 1990. Recommendations of the Committee for
Waterfront Structures, Harbours and Waterways,
Berlin, 1992

Die theoretischen Aspekte der Abdichtung von Spundwänden sind in Teil 1 dieser Broschüre behandelt.



Spundwand

66, rue de Luxembourg
L-4221 Esch-sur-Alzette (Luxemburg)

Tel.: (+352) 5313 3105

Fax: (+352) 5313 3290

E-mail: spundwand@arcelor.com

Internet: www.arbedspundwand.de

