

# **Vermeidung von Schäden an Schlitzwandfugen durch den Einsatz geeigneter Qualitäts- sicherungssysteme**

Dipl.-Ing. Knut Ewald, GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, NL Köln

Dipl.-Ing. Nikolaus Schneider, GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH, Berlin

## **Zusammenfassung**

Schlitzwandbaugruben sind mittlerweile das Standardverfahren für den Bau tiefer, innerstädtischer Baugruben. Um mit der Baugrube große Tiefen zu erreichen, werden Schlitzwände über 50 m Tiefe geplant und hergestellt.

Bei der Betrachtung von Schadensereignissen von Baugruben aus den letzten Jahren kann die Schlitzwandfuge zwischen den Einzellamellen als die größte Schwachstelle einer Schlitzwandbaugrube ausgemacht werden. Größere Tiefen erfordern hier bereits bei der Arbeitsvorbereitung eine intensive Erörterung der Umgebungsbedingungen bei der Auswahl des geeigneten Fugentyps.

Im Zuge der Ausführung muss sich der gewählte Fugentyp bewähren, wobei die Wahl von geeigneten Qualitätssicherungssystemen die Wahl positiv unterstützen kann.

## **1. Anwendungsschwerpunkte für Schlitzwände**

Die Schlitzwandbauweise ist seit den 60er Jahren eine Standardbauweise für tiefe, wasserdichte Baugruben. Durch ihre im Gegensatz zu Bohrpfahlwänden geringere Anzahl von Fugen und die höhere mögliche Konstruktionstiefe ist die Schlitzwandbauweise vor allem im Bereich von hohen Grundwasserständen im Vorteil.

Schlitzwände können in engen innerstädtischen Bereichen erschütterungsarm hergestellt

werden und tragen durch ihre Verformungssteifigkeit dazu bei, dass tiefe Baugruben in direkter Nähe zur Nachbarbebauung hergestellt werden können. Der erhöhte Platzbedarf für die Baustelleneinrichtung und die im Gegensatz zu Bohrpfahlarbeiten höheren Baustellengemeinkosten begrenzen die Einsetzbarkeit von Schlitzwänden.

## **2. Schäden an Schlitzwandbaugruben**

Schlitzwandbaugruben sind aufgrund ihrer meist großen Tiefe und der Umgebungsbedingungen besonders stark beanspruchte Bauwerke. Schäden an Schlitzwandbaugruben, die zu einem Kollaps der Konstruktion führen sind daher auch meist sehr spektakulär.

Die Havarieereignisse, die in den letzten Jahren an die Öffentlichkeit gelangten, hatten verschiedene Ursachen.

Im April 2004 brach auf einer Länge von ca. 110m die Schlitzwandbaugrube des Nicoll Highways in Singapur ein, in deren Schutz eine unterirdische Bahnstrecke errichtet werden sollte. Bei dem Versagen der Schlitzwand kamen 4 Menschen ums Leben und 3 weitere wurden verletzt. Hier konnte im Zuge der Untersuchung des Zusammenbruchs festgestellt werden, dass die Planer von falschen Bodenmodellen ausgegangen waren und die Stahlaussteifungen unterdimensioniert waren.

Im November 2007 brach in Dubai in direkter Nähe zum Yachthafen die Baugrubenwand des Infinity-Towers ein. Mitarbeiter der Baustelle hatten eine Verformung der Schlitzwand bemerkt und nach einem lauten Krachen die Baugrube evakuiert. 100 Mitarbeiter der Baustelle konnten sich über die Nottreppen retten, die Baugrube flutete innerhalb von 4 Minuten. Ursache für den Bruch waren nicht eingebaute Anker.

Ein noch nicht endgültig aufbereitetes Schadensereignis ist der Zusammenbruch des Historischen Stadtarchivs am Waidmarkt in Köln. Hier wurde eine ca. 30 m tiefe Tertiärbaugrube im Schlitzwandverfahren hergestellt.

Am 03.03.2009 bemerkten die Arbeiter in der Baugrube einen zunehmenden Wasserzutritt mit Bodeneintrag im Bereich der Lamelle 11. Die Baugrube wurde umgehend geräumt und Personen auf der Straße und in den umliegenden Gebäuden wurden gewarnt. Kurz darauf stürzten das Stadtarchiv und zwei benachbarte Gebäude ein. Durch das

schnelle Handeln der Bauarbeiter konnten sich 15 Personen aus dem Archiv retten, zwei Personen, die in einem Nachbargebäude schliefen, wurden von dem Einsturz überrascht und konnten nur noch tot geborgen werden.

Nach dem Einsturz des Stadtarchivs wurden durch den Sachverständigen im gerichtlichen Beweissicherungsverfahren umfängliche Untersuchungen angestellt. Die Untersuchungsergebnisse erhärten gem. SIELER (2012) den Verdacht, dass die Havarie durch Fehlstellen im Fugenbereich zwischen den Lamellen 10 und 11 zurückzuführen sein kann, worauf auch Auffälligkeiten während der Herstellung der Schlitzwand hindeuten. Als weitere mögliche Schadensursache wird auch ein hydraulischer Grundbruch oder ein Erosionsgrundbruch durch einen dünnen Schlot in Erwägung gezogen. Siehe SIELER (2012).



*Abb 1: Luftbild nach dem Einsturz*

### 3. Schlitzwandfugen

#### 3.1 Schlitzwandfugen gemäß DIN 4126 bzw. DIN EN 1538:2010

Mit der Einführung der europäischen Normen und der darin aufgenommenen Partialisicherheitsbeiwerte vollzieht sich derzeit ein Übergangsprozess von den deutschen Normen auf die europäischen Vorschriften.

Die deutschen Normen fordern eine deutlich erkennbare Nachweispflicht von den ausführenden Firmen ab, wogegen die europäischen Normen sich von diesen Nachweispflichten großenteils befreit haben und mehr Freiraum in der Ausführung ermöglichen.

Die nationale DIN 4126 beinhaltet detaillierte Bemessungsvorgaben für Schlitzwände, wogegen die EN 1538 eine Ausführungsnorm ist, die nur allgemeine Bemessungsgrundlagen für Dichtwände und Schlitzwände vorgibt.

Unter Kapitel 4 der DIN 4126, bautechnische Unterlagen, wird im Unterpunkt d auf die Ausführungszeichnungen der Schlitzwand verwiesen. Aus ihnen muss die Lage der Fugen, die Art der Fugenherstellung, Anforderungen an die Schweißbarkeit, die über die DIN 1045 und DIN 4099 hinausgehen, und - im Falle von Schlitzwänden neben baulichen Anlagen – die Reihenfolge des Aushubs und des Betonierens der einzelnen Elemente ersichtlich sein.

Die deutsche Fassung der DIN EN 1538 mit dem Titel „Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau – Schlitzwände“ definiert unter Kapitel 8.6 folgende Vorgaben an die Fugenausbildung:

Auszug aus der DIN EN 1538:

8.6.1 Fugenabschalkonstruktionen müssen eine ausreichende Festigkeit ausweisen und über die gesamte Länge gerade sein.

8.6.1 Nach der Seite zu ziehende Fugenabschalkonstruktionen sind unmittelbar nach dem Aushubende des Nachbarelementes zu ziehen.

8.6.3 Fugenabschalkonstruktionen, die in vertikaler Richtung gezogen werden, sind während des Erstarrens des Betons allmählich zu ziehen.

8.6.4 Bei Fugenkonstruktionen, die in vertikaler Richtung gezogen werden, ist das Erstarren des Betons während des Ziehvorganges zu kontrollieren.

8.6.5 Der detaillierte Arbeitsablauf für die Fugenausbildung ist bei jeder Herstellung der ersten Schlitzwandelemente jeder Elementart festzulegen.

## **3.2 Konstruktive Durchbildung von Schlitzwandfugen**

### **3.2.1 Wiedergewinnbare Fugen**

Wiedergewinnbare Fugenelemente sind die klassischen Fugensysteme im Schlitzwandbau. Sie besitzen den Vorteil, dass beim Lösen der Abschalelemente Umlaufbeton und eventuell anhaftender Boden mit dem Element beseitigt werden und so die Oberfläche der Fuge sauber sein sollte.

#### **3.2.1.1 CWS-Fuge, System Bachy/ Franki/ Leffer**

Das hier beschriebene Abschalsystem wird im Zuge des Aushubs der Sekundärlamelle seitlich von der Fuge abgezogen. Das Ziehen des Elements im Zuge der Erstarrung des Betons der Primärlamelle ist nicht von Nöten. Jedoch wirkt sich eine lange Standzeit der Primärlamelle vor dem Ziehen des Abschalelementes negativ auf das Lösen desselben aus.

Es besitzt weiterhin den Vorteil, dass es durch seine Kontur, die nach dem Beseitigen des Abschalelementes in der Primärlamelle hinterlassen ist, einen langen Wasserweg erzeugt. Die Einlage von einem oder mehreren Fugenbändern erhöht zudem die Wasserdichtigkeit der Fuge.

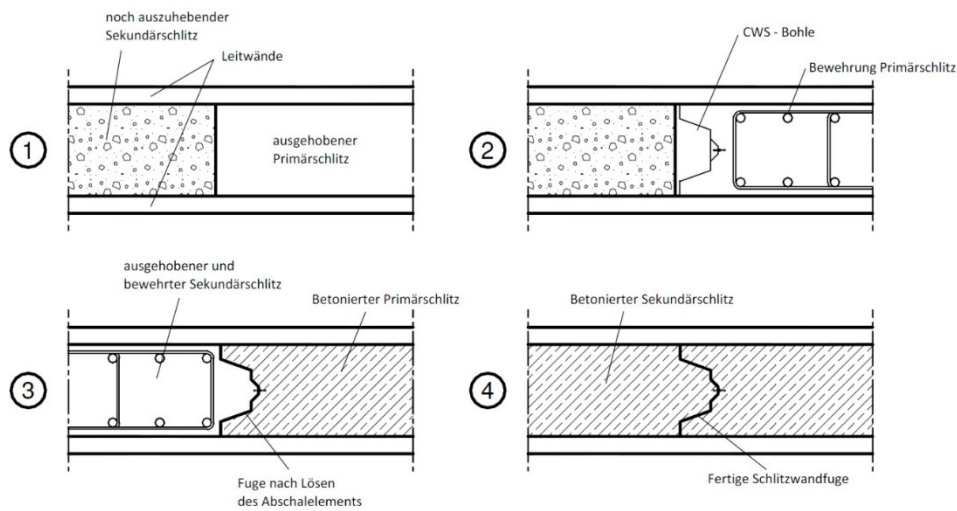


Abb.2: Arbeitsschritte zum Herstellen einer Fuge mit einem Flachfugenelement von Bachy siehe JÄKEL (2013)

### 3.2.1.2 Abschalrohr

Bei einer mit Abschalrohren abgestellte Fuge können verschiedene Winkel der Elemente zueinander gut realisiert werden, die halbkreisförmige Fuge bietet einen langen Sickerweg und der Greifer erhält bei der Herstellung der Sekundärlamelle eine gute Führung. Das Abschalrohr wird im Erstarrungsprozess des Betons gezogen, was eine hohe Erfahrung beim Arbeiten mit diesem System erfordert.

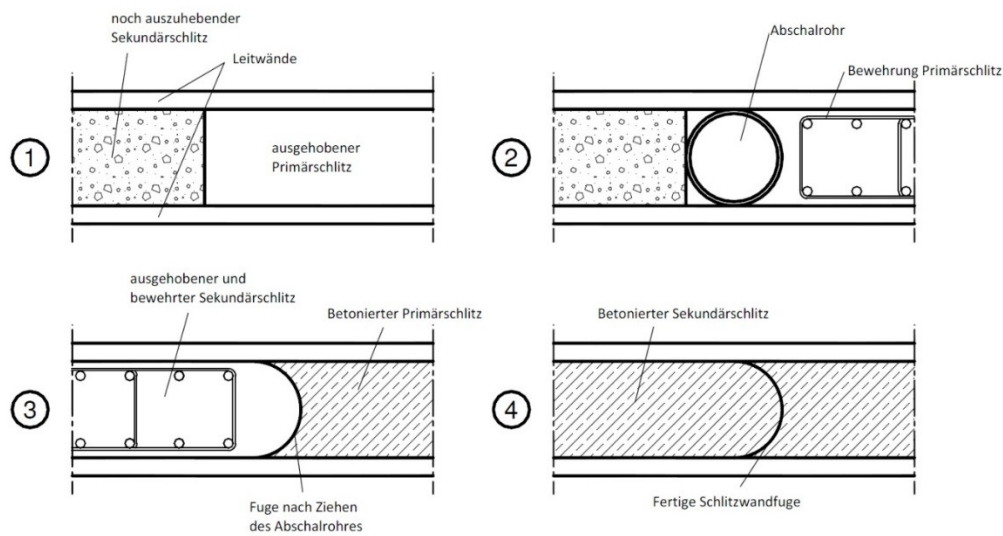


Abb. 3: Arbeitsschritte zum Herstellen einer Fuge mit einem Abschalrohr siehe JÄKEL (2013)

### 3.2.1.3 System Stein

Das System der Fa. Stein verbindet die Vorteile der Abschallrohre mit denen der Bachy-Fugen. Es ist möglich, eine relativ Steife Konstruktion einzubringen, die kontrolliert ziehbar ist und einen geringen Abstand der Bewehrungskörbe der Einzellamellen zulässt.

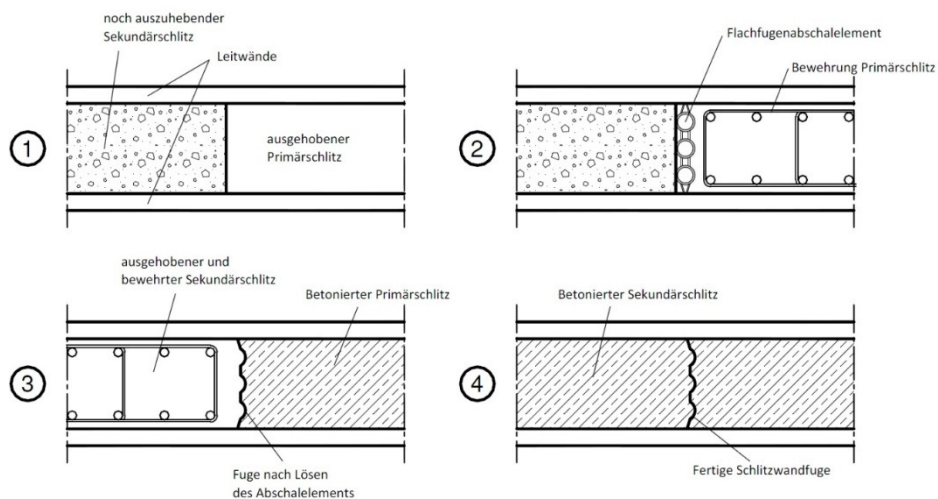


Abb. 4: Arbeitsschritte zum Herstellen einer Fuge mit dem Flachfugenelement von Stein siehe JÄKEL (2013)

## 3.2.2 Verbleibende Fugen

Verbleibende Fugen haben den Vorteil, dass im Zuge der Herstellung der Sekundärlammelle der Arbeitsschritt des Lösens der Abstellelemente entfallen kann. Nachteilig wirkt sich aus, dass anhaftender Boden oder Umlaufbeton nicht im Zuge des Ziehens der Fuge beseitigt werden kann sondern durch Meißeln entlang des Fugenelementes gelöst werden muss.

### 3.2.2.1 Verbleibende Stahlflachfuge

Eine zurzeit sehr häufig angewendete Fugenvariante ist die verbleibende Stahlflachfuge. Diese wird entweder aus gekantetem Blech oder aus zusammengefügt Walzträgern hergestellt. Jene aus gekantetem Blech sollte aufgrund ihrer geringen Biegesteifigkeit nicht in größeren Schlitziefen als 25m eingebaut werden, da sie zum Verdrehen neigt. Die

Form der Flachfuge gibt der Fuge einen größeren Sickerweg und bietet dem Schlitzwandgreifer und dem Fugenmeißel eine Führung bei der Herstellung der Sekundärlamelle.

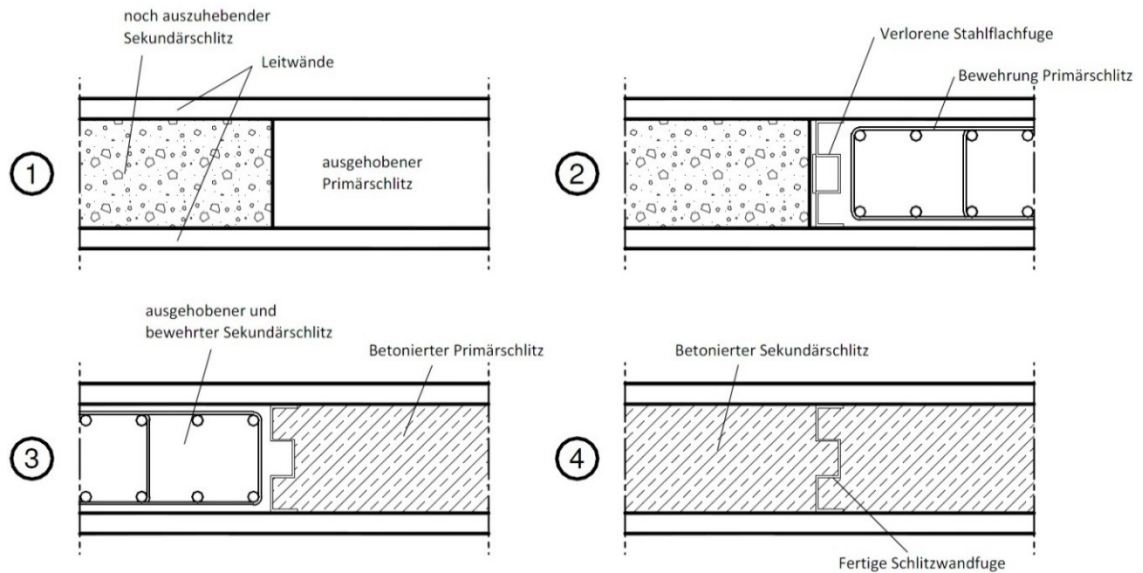


Abb. 5: Arbeitsschritte zum Herstellen einer Fuge mit einer Stahlflachfuge siehe JÄKEL (2013)

### 3.2.2.2 Fertigteilfugen

Für größere Schlitztiefen bis 80m kann eine verbleibende Fertigteilfuge verwendet werden. Sie zeichnet sich durch eine hohe Steifigkeit aus, weist jedoch pro Lamellenstoß zwei Fugen auf, die dicht sein müssen.

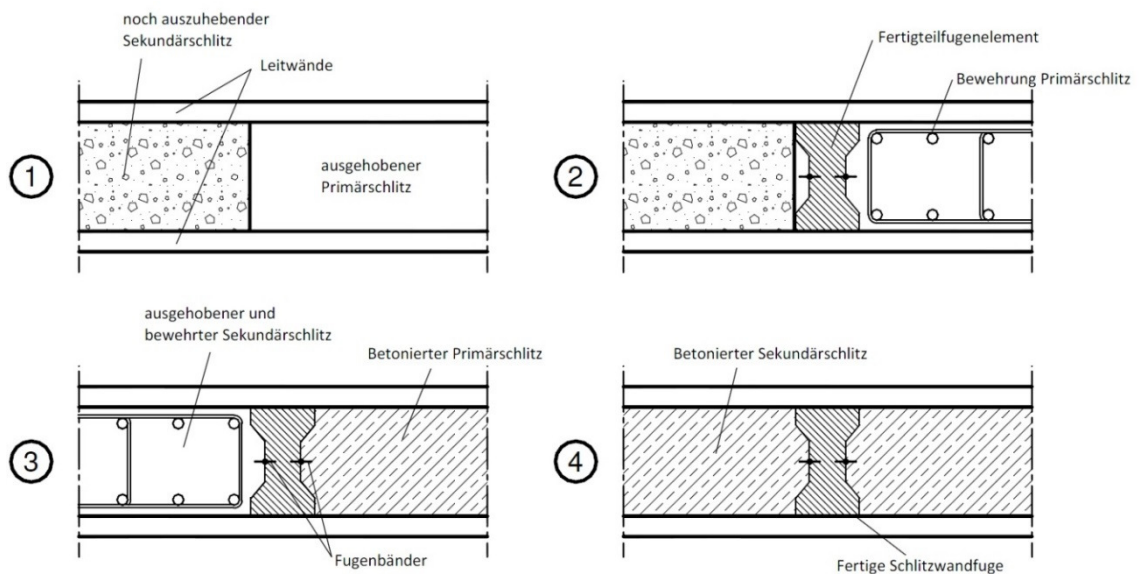


Abb. 6: Arbeitsschritte zum Herstellen einer Fuge mit einer Fertigteilfege siehe JÄKEL (2013)

## 4. Schäden und Schadensursachen an Schlitzwandfugen

Neben planerischen Fehlern oder Ausführungsfehlern auf der Baustelle sind Schäden an den Fugen einer Schlitzwand die häufigsten Schadensursachen im Zuge der Herstellung einer Schlitzwandbaugrube. Die häufigsten Schäden hierbei sind Feuchtstellen bzw. durch die Fuge dringendes Wasser, welches im besten Falle durch Verblechungen und in schlechtesten Falle durch eine Abdichtung mittels Vereisung oder DSV-Säulen zurückzuhalten ist. Fehlstellen, die unterhalb der Aushubsohle liegen, können nicht erkannt werden und bieten ein hohes Risiko, zu großen Schäden zu führen.

Der vertikale Einbau der Schlitzwandkonstruktionen und die umlaufbetonfreie Oberfläche der freigelegten Fuge der Primärlamelle sind wesentlicher Bestandteil für das Ineinandergreifen von unterschiedlichen Schlitzwandlamellen. Wenn diese Kriterien nicht erfüllt werden, erleiden die Schlitzwandfugen in der Regel einen Qualitätsverlust.

Schäden an Schlitzwandfugen können einerseits geometrische Ursachen haben, so wie

etwa eine gegenseitige Verdrehung der Einzellamellen, oder aber durch Anhaftungen oder Umlaufbeton begründet sein.

## 4.1 Geometrische Ursachen

Gegeneinander verdrehte Schlitzwandlamellen können eine Ursache für Schäden an Schlitzwandfugen sein. Dadurch, dass beim Schlitzzen der Primärlamelle z.B. der Greifer nach außen ausläuft und bei der Sekundärlamelle dann nach innen, kann die Überlappung an der Fuge so gering werden, dass die Dichtigkeit der Fuge an dieser Stelle nicht mehr gewährleistet werden kann und eine Sanierung notwendig wird.

Genauso verhält es sich, wenn der Greifer sich beim Aushub von der Fuge zur Sekundärlamelle wegbewegt. Nach dem Einstellen des Abschalelements und der Betonage steht die Fuge im negativen Sturz, so dass der Greifer beim Aushub der Sekundärlamelle nicht mehr an die Fuge gelangt.

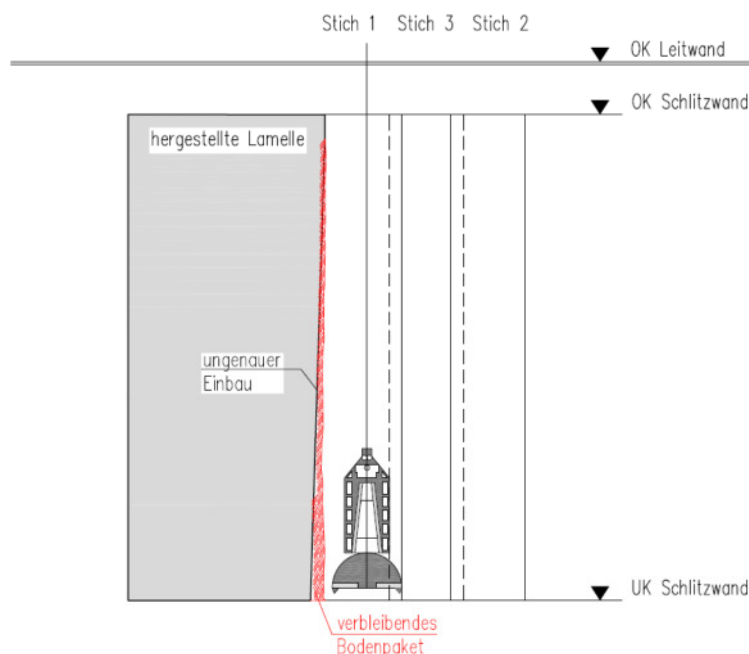


Abb 7: Abweichung des Schlitzwandgreifers infolge des nicht planmäßigen Einbaus der Schlitzwandelemente siehe SCHNEIDER (2014)

## **4.2 Anhaftungen und Umlaufbeton**

Das größte Problem bezüglich der einwandfreien Fugenherstellung stellt der Umlaufbeton dar. Dieser umfließt während der Betonage des Primärelements die Abstellkonstruktion. Aufgrund von Unebenheiten der Schlitzwandung oder bedingt durch den vor allem im unteren Schlitzbereich herrschenden Betondruck, kann Umlaufbeton in der Regel nicht gänzlich vermieden werden. Umlaufbeton liegt hinter der Fugenkonstruktion an und muss vor der Betonage des Sekundärelements unbedingt beseitigt werden. Er ist durch Entmischungsvorgänge während des Umfließens der Abstellkonstruktion als qualitativ minderwertig anzusehen. Wird die Fugenoberfläche nicht ausreichend gereinigt bzw. von Umlaufbeton befreit, entsteht eine erhebliche Bedrohung hinsichtlich der Wasserdurchlässigkeit.

Zudem kann während des Aushubvorgangs des Sekundärelements das Aushubwerkzeug abgleiten und dadurch eine Lotabweichung des Schlitzverlaufs hervorrufen. Wenn die Abweichung unberücksichtigt oder unbemerkt bleibt, entsteht ein nicht betonierter Bereich zwischen zwei benachbarten Schlitzwandlamellen.



*Abb. 8: Umlaufbeton in einer Schlitzwandfuge*

Ein ungebremster Grundwassereintritt mit Bodeneintrag kann die Folge sein. Befindet sich die Wandlücke unterhalb der späteren Baugrubensohle und wird daher auch während der Aushubarbeiten nicht erkannt, ist eine unbemerkte Unterspülung benachbarter Bauwerke möglich.

Daher muss der Umlaufbeton, der während der Betonage der Primärlamelle entstanden ist, durch einen Putzmeißel in einem separaten Arbeitsschritt entfernt werden. Prinzipiell gilt: je aufwändiger die Fugenkonstruktion, desto schwieriger die tadellose Reinigung. Da sich die zu reinigende Fugenoberfläche in der Stützflüssigkeit befindet, stellt dieser Arbeitsschritt besondere Ansprüche an die Erfahrung und an das Einschätzungsvermögen des Geräteführers sowie des zuständigen Poliers. Eine visuelle Kontrolle der bearbeiteten Fugenoberfläche ist nicht möglich. Siehe RUPPEL (2014)

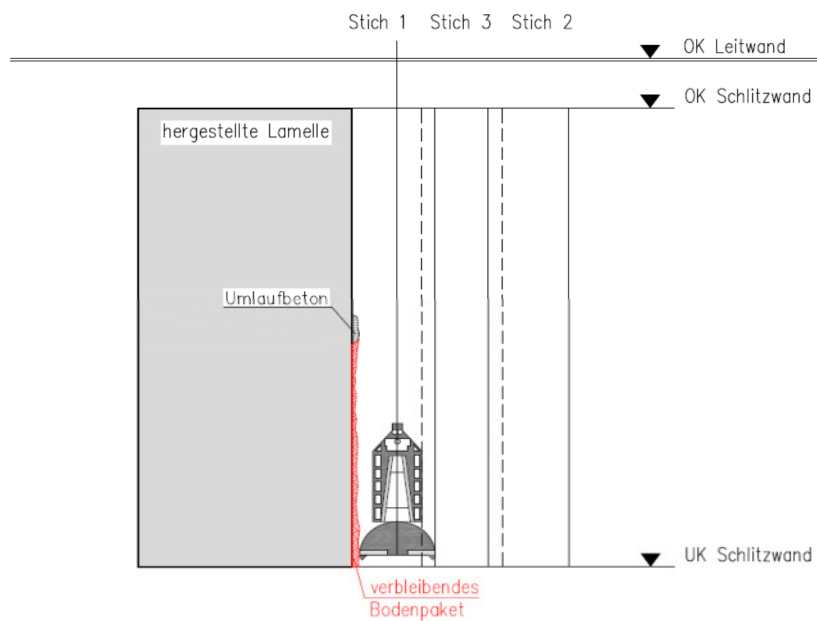


Abb. 9: Abweichung des Schlitzwandgreifers infolge des Umlaufbetons siehe SCHNEIDER (2014)

## 5. Qualitätssicherungssysteme

### 5.1 Qualitätssicherungspläne bei der Herstellung der Schlitzwände

„Unter dem Begriff „Qualitätssicherung“ versteht man eine systematische und vorprogrammierte Vorgehensweise bei der Herstellung eines Produktes oder der Lieferung einer Leistung, welche eine ausreichende Sicherheit liefert, dass die geforderte Qualität erreicht wird oder erreicht werden kann.“ Siehe TRIANTAFYLLIDIS (2004)

Auf den Baustellen in Deutschland werden bestimmte in der Norm geforderte Maßnahmen zur Qualitätsüberwachung der Schlitzwandherstellung durchgeführt.

So werden vor, während und nach der Herstellung des Schlitzes die Eigenschaften der Bentonit-Suspension überprüft. Weiterhin wird die Geometrie des hergestellten Schlitzes durch an den Greifer montierte Kontrollsysteme aufgenommen und die Betonage mit Betonierprotokollen dokumentiert, um Mehr- oder Minderbeton in verschiedenen Höhenlagen auszuschließen. Im Zuge des Aushubs wird die Bewegung der Schlitzwände durch eingebaute Inklinometerrohre und eventuell durch angebrachte Prismen zum tachymetrischen Aufmaß der Ankerlagen beobachtet.

Die messtechnische Betrachtung der Lage, Integrität und Sauberkeit von Anschlussfugen wurde bisher nur selten ausgeführt, weil sie der ausführenden Firma sowohl wirtschaftliche als auch terminliche Nachteile brachte, obwohl die technische Notwendigkeit durch die oben genannten Schadensereignisse durchaus gegeben wäre.

## 5.2 Qualitätsüberwachung von Schlitzwandfugen

Derzeit gibt es drei Verfahren, um die Konformität von Schlitzwandfugen zu überprüfen.

### 5.2.1 Crosshole Sonic Logging

Beim Crosshole Sonic Logging werden zur Ultraschalluntersuchung der fertigen Schlitzwand bei der Betonage der Schlitzwandlamellen jeweils zwei Leerrohre dies- und jenseits der Schlitzwandfuge installiert.

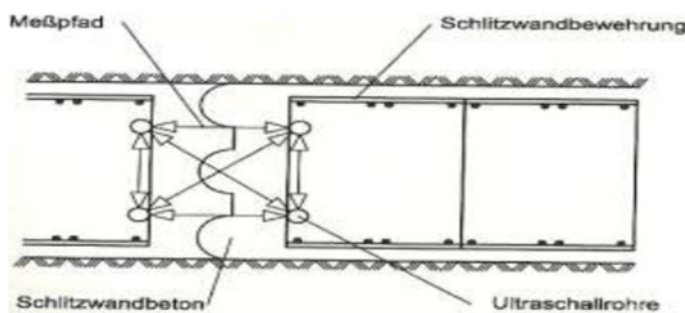
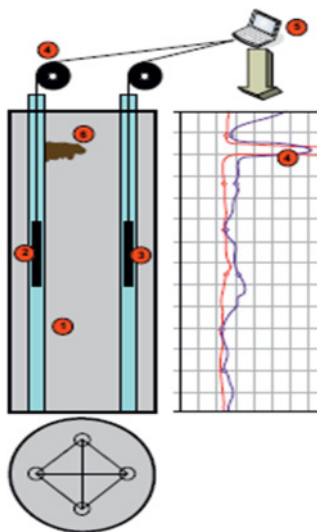


Abb. 10: Anordnung von Messrohren an der Schlitzwandfuge (siehe TRIANTAFYLIDIS (2004))

Nach dem Erhärten des Schlitzwandbetons werden ein Ultraschallsender- und Empfänger parall in den Rohren abgelassen. Während dieser Messfahrt werden die Schalllaufzeiten- und -intensitäten zwischen Sender und Empfänger aufgezeichnet. Dadurch dass die Rohre in der Sekundär- und der Primärlamelle installiert sind, kann so die Integrität der Schlitzwand im Fugenbereich bewertet werden. Zeigen die Schalllaufzeiten signifikante Ausschläge, kann davon ausgegangen werden, dass eine Fehlstelle im durchschallten Bereich vorliegt.



*Abb. 11: Schematische Darstellung einer Crosshole Messung; siehe BAUER (2009)*

### **5.2.2 Koden-Messung**

Die Firma Koden ist ein Hersteller von Navigationsausrüstungen, um die Tiefen der Schifffahrtsrouten entlang der internationalen Häfen zu prüfen. Die Grundeinheit besteht aus einer Ultraschallmessvorrichtung, die für die Anwendung der Schlitzwandtechnik auf der Baustelle angepasst wurde. Das Prinzip besteht aus der Durchschallung der Bentonitsuspension, die nach dem Aushub der Sekundärlamelle vorgenommen wird. Zur besseren Bewertung der Resultate empfiehlt es sich, die Bentonitsuspension vor der Durchschallung zu entsanden.



Abb. 12: Koden-Gerät im Einsatz

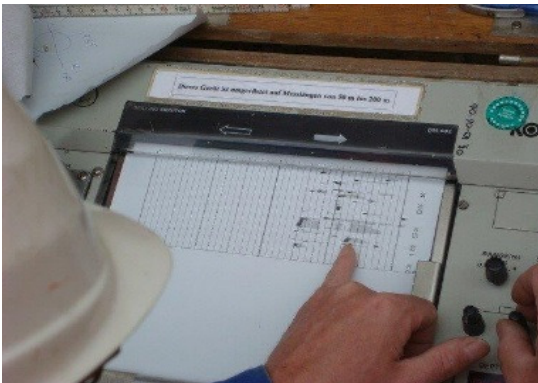


Abb. 13: Gemessene Ultraschalllaufzeiten

Zwei Präzisionswinden senken den Ultraschallkopf in den offenen Schlitz ab und nehmen während des Messvorganges die Tiefe auf. Die Ultraschallwellen werden von der exponierten Primärlamelle reflektiert. Ist der Abstand zwischen der Sendeeinheit und der exponierten Fuge einmal festgelegt, sollte der Abstand über die Tiefe gleich bleiben. Bereiche, die jedoch einen signifikanten Unterschied in der Laufzeit aufzeigen, legen den Schluss nahe, dass sich Umlaufbeton an der Primärlamelle ausgebildet hat und den Abstand zwischen Sender und Schlitzwandfuge reduziert. Die Ultraschallvermessung lässt sich leicht in den Produktionsprozess integrieren, da während der Entsandung der Bentonitsuspension genügend Zeit verbleibt, die Messvorrichtung aufzubauen und die Messung durchzuführen.

Die Interpretation der Messwerte besteht in der Auswertung der Laufzeit der Ultraschallwelle zwischen Messkopf und Fuge. Die gemessene Laufzeit hängt von den Eigenschaften der Bentonitsuspension ab und kann sich über die Tiefe der Lamelle ändern. Somit kann es notwendig werden, Vorkehrungen und Anpassungen an die Laufzeitinterpretation vorzunehmen, um zu den richtigen Schlussfolgerungen zu gelangen.

Der größte Vorteil der Kodenmessung besteht darin, dass die Messwerte noch im Arbeits- und vor dem Betonierprozess vorliegen, so dass notwendige Korrekturen vor dem Betoniervorgang der Sekundärlamelle vorgenommen werden können. SCHNEIDER (2014)

### **5.2.3 GuD Fugeninspektor**

Die Analyse und Auswertung von mangelbehafteten Schlitzwandfugen hat zu einem neuen Ansatz für die Qualitätssicherung in der Schlitzwandtechnik geführt.

Der optimale Zeitpunkt für die Qualitätssicherung ist die Zeit während der Entsandung des Sekundärschlitzes. Zu diesem Zeitpunkt ist die Fuge zum Primärschlitz auf voller Tiefe freigelegt und es ergibt sich ein Bearbeitungsfenster, das nicht auf dem bauzeitkritischen Weg liegt.

Der „Fugeninspektor“ wird an den Schlitzwandgreifer montiert und ermöglicht, das tatsächliche Oberflächenprofil der exponierten Fuge repräsentativ aufzunehmen. Nach der Montage wird die Schlitzwandfuge durch ein weiteres Greiferspiel von unten nach oben aufgenommen. Hierfür werden vorgespannte, mechanische Distanzaufnehmer, die vollkommen unabhängig vom Hydrauliksystem des Grundgerätes arbeiten, eingesetzt. Wie Finger, die nach unten abgeklappt worden sind, fühlen sie nach dem kontrollierten Ausklappen die Oberfläche der freigelegten Fuge ab. Durch die eingebaute Messvorrichtung wird der Winkel dieser Finger über der freigelegten Fuge aufgenommen. Während der Greifer nun langsam nach oben gezogen wird, nehmen diese mechanischen Sensoren den Winkel auf und messen somit das Profil der freigelegten Fuge. Die Messergebnisse sind unabhängig vom Sandgehalt und den rheologischen Eigenschaften der Bentonitsuspension.



*Abb. 14: Der Fugeninspektor Montiert am Schlitzwandgreifer*

Alle Messwerte werden in einer elektronischen Box gespeichert und sobald der Schlitzwandgreifer mit dem „Fugeninspektor“ aus dem bentonitgefüllten Schlitz gezogen worden ist, werden die Messdaten per Funk auf den Feldrechner des QS Ingenieursingenieurs übertragen.



*Abb. 14: Messarme bei der Vermessung einer Stahlflachfuge*

Diese zeitnahe Verfügbarkeit der gemessenen Daten erlaubt es dem Projekt-Ingenieur gegebenenfalls erforderliche Korrekturmaßnahmen einzuleiten, falls z.B. aus der aufgenommenen Grafik erkennbar sein sollte, dass Umlaufbeton noch beseitigt werden muss. Es bedarf nur des Zurückdrückens der Arme in die vertikale Position und der „Fugeninspektor“ steht für eine erneute Messfahrt zur Verfügung.

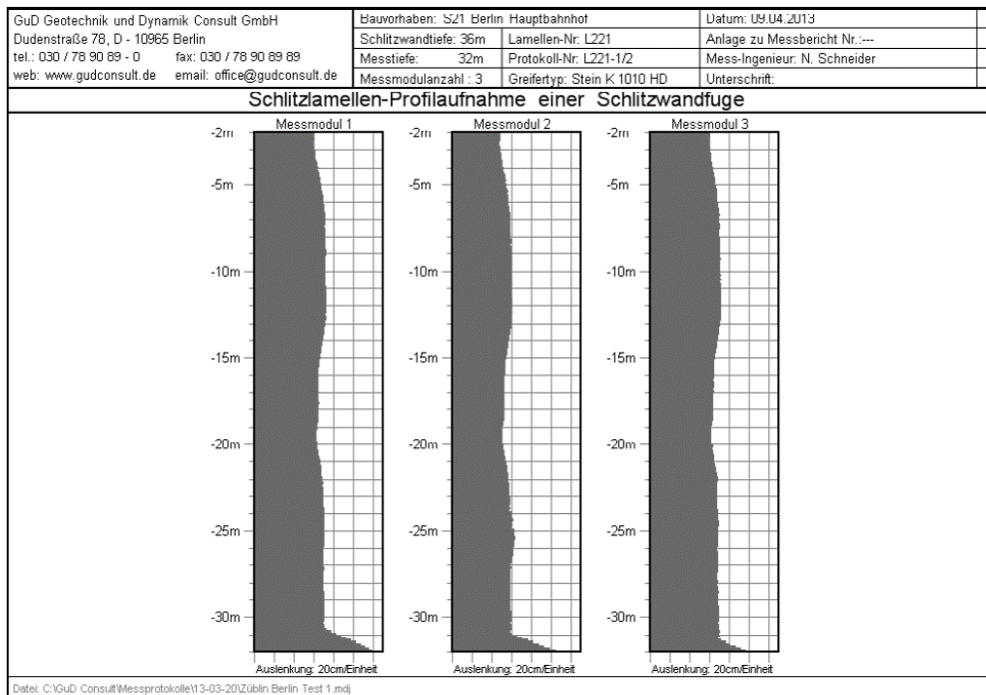


Abb. 15: Messdiagramm einer intakten Flachfuge

Mit Hilfe vorgefertigter Adapter und der Variablen Bestückung des Fugeninspektors ist es möglich, den Fugeninspektor an Greiferbreiten zwischen 60 cm bis 2,00 m zu befestigen und entsprechend der aufzumessenden Fugengeometrie mit Messarmen zu belegen.

### 5.3 Vergleich der Systeme

Vergleicht man die verschiedenen Messverfahren für die Qualitätskontrolle von Schlitzwandfugen, stellt man fest, dass jedes Verfahren unterschiedliche Messziele hat.

Der bestechende Vorteil des Koden-Gerätes und des Fugeninspektors ist, dass die Messergebnisse bereits während der Bauausführung zur Verfügung stehen und Maßnahmen

ergriffen werden können, möglichen Umlaufbeton zu beseitigen, während die entsprechenden Gerätschaften noch auf der Baustelle sind. So können Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden, bevor der Umlaufbeton zu Leckagen in den Schlitzwandfugen führt.

Mit diesen unabhängigen und wiederholbaren Messverfahren an der freigelegten Fuge ist es dem Qualitätsingenieur möglich, vor der Betonage die qualitätskonforme Bereitstellung der Fuge zu belegen und damit den Qualitätssicherungsplan zu erfüllen.

Dies ist grundsätzlich unterschiedlich zu der Messmethode des Crosshole Sonic Logging, wo die Schlitzwandfuge nach dem Betonierprozess der Sekundärlamelle aufgenommen wird. Korrekturmaßnahmen bei der Herstellung, wie sie bei den oben genannten Verfahren möglich sind, sind so ausgeschlossen. Jedoch können mit dem Cross-Hole-Sonic-Logging mögliche Bentoniteinschlüsse und Betonierumläufe erfasst werden.

Die nachfolgende Tabelle veranschaulicht, die Eigenschaften der unterschiedlichen Verfahren.

	<b>Koden-Gerät</b>	<b>Crosshole Sonic Logging</b>	<b>„Fugenspektor“</b>
Vertikalität	Ja	Nein	Ja
Verdrehung	Nein	Nein	Ja
Integrität der Fugenkonstruktion	Nein	Ja	Ja
Umlaufbeton	Ja	Nein	Ja
Bentoniteinschlüsse	Nein	Ja	Nein
Betoniereinschlüsse	Nein	Ja	Nein
Position der Fugenbänder	Nein	Ja	Ja
Korrektur während der Ausführung	Ja	Nein	Ja

Abb. 16: Vergleichsmatrix der verschiedenen Möglichkeiten zur Qualitätskontrolle von Schlitzwandfugen

## **6. Ausblick**

Durch die Planung immer tieferer, wasserdichter Baugruben muss bei der Wahl der Abschalelemente besondere Sorgfalt angewendet werden.

Wiedergewinnbare Fugen, wie etwa die Stein-Fuge oder das Abschalrohr haben den Vorteil, dass sie relativ Verwindungssteif sind und durch das schnelle Ziehen nach dem Betonieren sicher gegen ihren Verlust sind. Jedoch sind auch diese Konstruktionen ab einer Tiefe von ca.40 m nur noch schwer abschätzbar. Fugen vom Typ Bachy o.Ä. weisen die gleiche Steifigkeit auf, sind jedoch auch ab einer gewissen Tiefe schwierig zu lösen, da der Greifer als seitlich ziehendes Gewicht mit zunehmender Tiefe nur noch wenig Kraft aufbringen kann. Dies macht die Fuge bei einer längeren Standzeit der Primärlamelle schwer berechenbar.

Naheliegender Weise bieten sich verlorene Fugenelemente an, wenn die Schlitztiefe über 40 m geht. Dieser Anwendung stehen allerdings zwei gegenläufige Kriterien gegenüber, einerseits möglichst kostengünstige Fugenkonstruktionen, da sie verloren sind und nicht mehr eingesetzt werden. Andererseits müssen die Elemente gerade im Hinblick auf den sicheren Einbau in große Tiefe ausreichen steif sein, um lagegenau und vertikal positioniert werden zu können.

Mechanische Schlitzwandgreifer mit einem Eigengewicht von 20 bis 25 Tonnen, die an diesen Fugenelementen den Boden ausheben und Fugenmeißel, die möglichen Umlaufbeton in verschiedenen Tiefen abschlagen, beanspruchen die Fugenelemente stark. Allein aus diesen Belastungen ergeben sich qualifizierte Anforderungen an die Abmessungen der Fugenkonstruktionen für Schlitzwände.

Werden verlorene Fugenelemente verwendet, sollte drei Nachweise zwingend für die qualitätskonforme Ausführung zu erbringen sein.

- Nachweis des lagegenauen, vertikalen Einbaus über die Tiefe
- Nachweis des formschlüssigen Aushubs bis unmittelbar zum Fugenelement
- Nachweis der Beseitigung von möglichem Umlaufbeton

Diesbezügliche Vorgaben sollten durch die Bauherren in LV-Positionen bzw. Ausschreibungsunterlagen aufgenommen werden, um die Qualität der Schlitzwandfugen sowohl in der Planung als auch in der Ausführung zu sichern.

## **Literatur**

- DIN EN 1538 (JULI 2000): Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) – Schlitzwände., Deutsches Institut für Normung e.V.
- TRIANAFYLLIDIS, T. (2004): Planung und Bauausführung im Spezialtiefbau – Teil 1: Schlitzwand- und Dichtwandtechnik, Ernst & Sohn Verlag
- SIELER, U., PABST, R., MOORMANN, C., NEWELING, G. (2012): Der Einsturz des Stadtarchivs Köln: Bauliche Maßnahmen zur Bergung der Archivalien und zur Erkundung der Schadensursache. Beitrag zur Baugrundtagung 2012, Mainz
- Schneider, N. (2014): A New Method of Quality Control for Construction Joints in Diaphragm Walls. International Conference on Piling & Deep Foundations, Stockholm, Schweden, Mai 2014
- Jäkel, H. (2013): Ausgesuchte Schlitzwandfugensysteme und Möglichkeiten der Qualitätsüberwachung. Bachelorarbeit Universität Lüneburg
- RUPPEL, C. (2014): Qualitätsüberwachung an Schlitzwandfugen im Zuge der Herstellung. Studienarbeit Technische Universität Braunschweig
- BAUER SPEZIALTIEFBAU (2009): Qualitätsprüfung mit Cross Hole Ultrasonic Monitor, Informationsblatt der Bauer Spezialtiefbau GmbH