



Vermeidung von Schäden an Schlitzwandfugen durch den Einsatz geeigneter Qualitätssicherungssysteme

Vermeidung von Schäden an Schlitzwandfugen durch den Einsatz geeigneter Qualitätssicherungssysteme

Die Schlitzwandtechnik hat sich in den letzten Jahrzehnten häufig als die beste Möglichkeit erwiesen, in Ballungsräumen tiefe, wasserdichte Baugruben auszuführen. Jedoch führt die Betrachtung von Schadensereignissen der letzten Jahre zu der Erkenntnis, dass die Schlitzwandfugen eine relevante Schwachstelle innerhalb einer Baugrubenumschließung darstellen.

Anhand von dokumentierten Schadensereignissen werden mögliche Schadenshergänge und -ursachen aufgezeigt. Eine Übersicht über die gängige Fugentechnik führt zur differenzierten Betrachtung der Möglichkeiten der einzelnen Fugensysteme mit ihren Vor- und Nachteilen.

Die einschlägigen technischen Regelwerke halten sich bei der Wahl der richtigen Fugensysteme sowie bei der Qualitätssicherung beim Einbau sehr offen. In dem Beitrag werden Qualitätssicherungssysteme für Fugen vorgestellt und anschließend vergleichend bewertet.

Zur Risikominimierung an Schlitzwandbaugruben ist die integrale, gerade und saubere Fuge zwingend vor der Betonage eines Sekundärelementes nachzuweisen. Dabei sollte jedoch nicht nur auf die Erfassung eventueller Schadstellen schon beim Bau Wert gelegt werden, sondern bereits in der Planung und Bauvorbereitung auf einen Fugentyp hingewirkt werden, der Schadensursachen wie etwa Umlaufbeton von vorne herein ausschließt.

Keywords Spezialtiefbau; Baugruben; Schlitzwandfuge; Qualitätssicherung; Fugeninspektor

Avoid of damage to diaphragm wall joints through the use of appropriate quality assurance systems

In recent decades diaphragm wall technology has proven to be the best way to carry out deep watertight pits in urban areas. The observation of execution failures of recent years has led to the realization that the joint represents the weakest point of a diaphragm wall.

On the basis of execution failures possible damage and causes of damage are shown. An overview of common joint techniques results in a differentiated consideration of the possibilities of each joint system with its advantages and disadvantages.

Codes and standards give no clear guidelines for choosing the right joint system and quality assurance during installation although quality assurance systems exist for the joints which will be presented individually and will then be compared.

In the future, the firm, straight, and clean joint must be implemented before concreting the secondary element to minimize the risk of diaphragm wall pits. In future, not only the detection of possible defects during construction should be taken into consideration but a joint type should be developed, which eliminates causes of damage such as circulation concrete from the very beginning.

Keywords foundation; diaphragm walls; joints; jointinspector

1 Anwendungsschwerpunkte für die Schlitzwandbauweise

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

Bei der Betrachtung von Schadensereignissen an Baugruben aus den letzten Jahren kann die Schlitzwandfuge zwischen den Einzellamellen als die größte Schwachstelle einer Schlitzwand ausgemacht werden. Insbesondere 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 der Einsatz von geeigneten Qualitätssicherungssystemen die Wahl positiv unterstützt.

2 Schäden an Schlitzwandbaugruben

Schlitzwandbaugruben sind aufgrund ihrer häufig großen Tiefe und der Umgebungsbedingungen besonders stark beanspruchte Bauwerke.

Die aufgrund des Schadensausmaßes zum Teil sehr spektakulären Havarieereignisse, die in den letzten Jahren an die Öffentlichkeit gelangten, hatten verschiedene Ursachen. So wurde etwa beim Nicoll Highway Collapse im Jahre 2004 festgestellt, dass fehlerhafte Annahmen bei der Bodenmodellierung zu einer unterdimensionierten Aussteifung führten. Für den Wassereinbruch in die Baugrube des Infinity-Towers Dubai waren für den Schaden mehrere nicht eingebaute Anker ursächlich.

Ein noch nicht endgültig aufbereitetes, tragisches Schadensereignis aus unseren Breiten ist der Zusammenbruch des historischen Stadtarchivs am Waidmarkt in Köln.



Bild 1 Luftaufnahme der Einsturzstelle an der Baugrube Waidmarkt Köln
Aerial view of the collapsed Waidmarkt Pit, Cologne

Hier wurde eine ca. 30 m tiefe Baugrube im Schlitzwandverfahren hergestellt. Am 03.03.2009 bemerkten die Arbeiter in der Baugrube einen zunehmenden Wasserzutritt mit Bodeneintrag. 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 in der Folge des Kollapses ein. Durch das schnelle Handeln der Bauarbeiter konnten sich 15 Personen aus dem Archiv retten. Zwei Personen, die sich in einem Nachbargebäude aufhielten, wurden von dem Einsturz überrascht und konnten nur noch tot geborgen werden [1].

Nach dem Einsturz des Stadtarchivs wurden umfangreiche Untersuchungen angestellt, die noch andauern. Die bisher gewonnenen Ergebnisse sprechen gem. SIELER [1] dafür, dass die Havarie durch Fehlstellen im Fugenbereich zwischen zwei Lamellen zurückzuführen sein könne, worauf auch Auffälligkeiten während der Herstellung der Schlitzwand hindeuteten.

3 Schäden und Schadensursachen an Schlitzwandfugen

Neben planerischen Fehlern oder Ausführungsfehlern auf der Baustelle sind Schäden an den Fugen einer Schlitzwand die häufigsten Ursachen für Undichtigkeiten in der Umschließung einer Schlitzwandbaugrube. Die Schadensbilder hierbei sind Feuchtstellen bzw. durch die Fuge dringendes Wasser, welches in einfachen Fällen durch Verblechungen und Injektionen, gelegentlich auch nur noch durch eine Abdichtung mittels Vereisung oder DSV-Säulen zurückzuhalten ist. Fehlstellen, die unterhalb der Aushubsole liegen, können nicht erkannt werden und stellen ein hohes Risiko dar.

Der planmäßige vertikale Einbau der Schlitzwandkonstruktionen und die umlaufbetonfreie Oberfläche der frei-

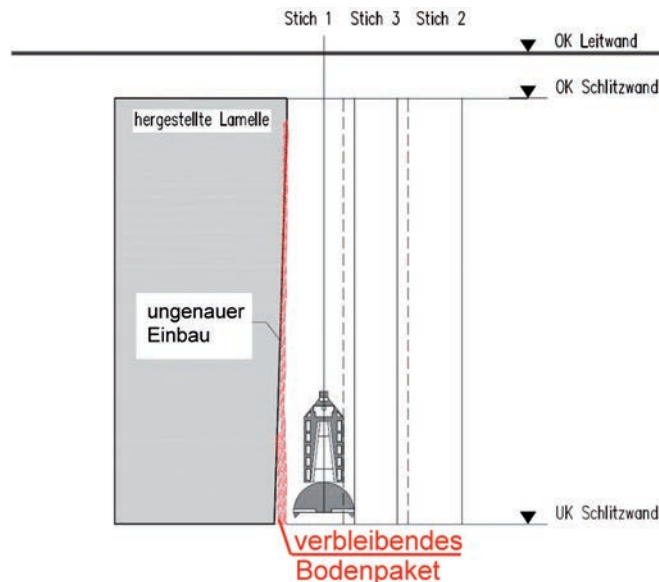


Bild 2 Abweichungen des Schlitzwandgreifers infolge des nicht planmäßigen Einbaus der Schlitzwandelemente
Deviation due to miss-aligned joint element

gelegten Fuge der Primärlamelle sind wesentlicher Bestandteil für das Ineinandergreifen von benachbarten Schlitzwandlamellen. Das Nichterfüllen dieser Kriterien stellt einen erheblichen Qualitätsverlust dar und kann zu Schäden infolge einer gegenseitigen Verdrehung der Einzellamellen oder durch Anhaftungen oder Umlaufbeton führen.

3.1 Geometrische Ursachen

Wenn beim Schlitzwandgreifen der Greifer z. B. nach außen aus dem Lot 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 der Sekundärlamelle von der Fuge entfernt (Bild 2).

3.2 Anhaftungen und Umlaufbeton

Das größte Hindernis bei der einwandfreien Fugenherstellung stellt der sogenannte Umlaufbeton dar. Während der Betonage des Primärelementes umfließt der Beton die Abstellkonstruktion. Aufgrund von Unebenheiten der Schlitzwandung oder bedingt durch den vor allem im unteren Schlitzbereich herrschenden hohen Betondruck kann Umlaufbeton in der Regel nicht gänzlich vermieden werden. Umlaufbeton liegt hinter der Fugenkonstruktion an und muss vor der Betonage des Sekundärelementes aufwändig beseitigt werden. Wird die Fugenoberfläche nicht ausreichend gereinigt bzw. von Umlaufbeton befreit, entsteht ein erhebliches Risiko hinsichtlich der Wasserwegigkeit.



Bild 3 Umlaufbeton in einer Schlitzwandfuge
Exposed joint with excess concrete

Zudem kann während des Aushubvorgangs des Sekundärelementes das Aushubwerkzeug abgleiten und eine Lotabweichung im Schlitzverlauf hervorrufen. Wenn die Abweichung unberücksichtigt oder unbemerkt bleibt, entsteht ein nicht mit Beton gefüllter Bereich zwischen zwei benachbarten Schlitzwandlamellen.

Ein ungebremster Grundwassereintritt mit Bodeneintrag kann die Folge einer undichten Fuge 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, mit einem Putzmeißel in einem separaten Arbeitsschritt entfernt werden. Prinzipiell gilt: Je aufwändiger die Fugenkonstruktion, desto schwieriger ist die tadellose Reinigung. Da sich die zu reinigende Fugenoberfläche in der Stützflüssigkeit befindet, stellt dieser Arbeitsschritt besondere Ansprüche an die Erfahrung und das Einschätzungsvermögen des Geräteführers sowie des zuständigen Poliers. Eine visuelle Kontrolle der bearbeiteten Fugenoberfläche ist nicht möglich [2].

4 Konstruktive Durchbildung von Schlitzwandfugen

4.1 Wiedergewinnbare Fugenelemente

Wiedergewinnbare Fugenelemente stellen die klassischen Fugensysteme im Schlitzwandbau dar. Sie besitzen den

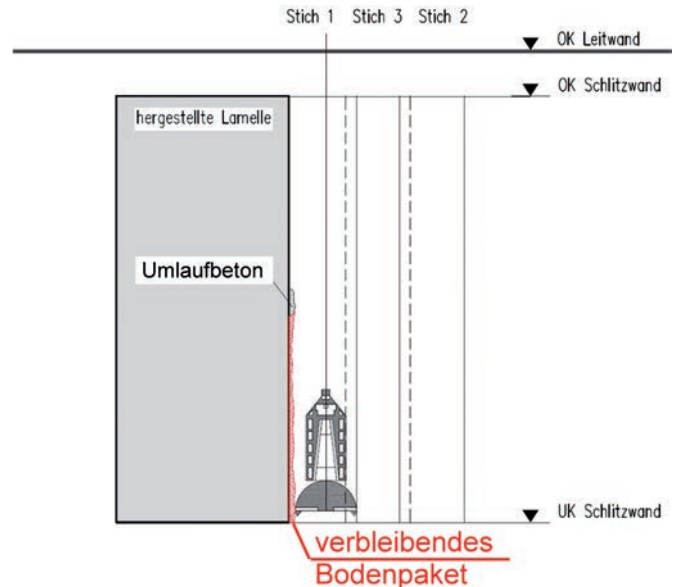


Bild 4 Abweichung des Schlitzwandgreifers infolge Umlaufbeton
Deviation due to excess concrete

Vorteil, dass beim Lösen der Elemente Umlaufbeton und eventuell anhaftender Boden mit dem Element beseitigt werden und so die Oberfläche der Fuge sauber ist.

Beispiele für diese Abschalsysteme sind die sogenannten CWS-Fugen (z. B. Bachy, Leffer), die im Zuge des Aushubs der Sekundärlamelle seitlich von der Fuge abgezogen werden oder Abschallrohre, die vertikal nach oben während des Abbindens des Betons gezogen werden müssen.

Durch die Kontur, die nach dem Beseitigen des Abschalelementes in der Primärlamelle hinterlassen wird, wird ein verlängerter Sickerweg erzeugt. Die Einlage von einem oder mehreren Fugenbändern bei der CWS-Fuge erhöht zudem die Wasserdichtigkeit der Fuge.

4.2 Verbleibende Fugenelemente

Verbleibende Fugen haben den Vorteil, dass im Zuge der Herstellung der Sekundärlamelle der Arbeitsschritt des Lösen 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.

Eine zurzeit sehr häufig angewendete Fugenvariante ist die verbleibende Stahlflachfuge, die aufgrund ihrer meist geringen Steifigkeit bei Tiefen größer 25 m zum Verwinden neigt. Bei größeren Tiefen können Beton-Fertigteilfugen eingesetzt werden. Die Form der Flachfuge aus der Kantung der Bleche oder der knochenförmigen Schalform der Fertigteilfuge gibt der Fuge einen größeren Sickerweg und bietet dem Schlitzwandgreifer und dem Fu-

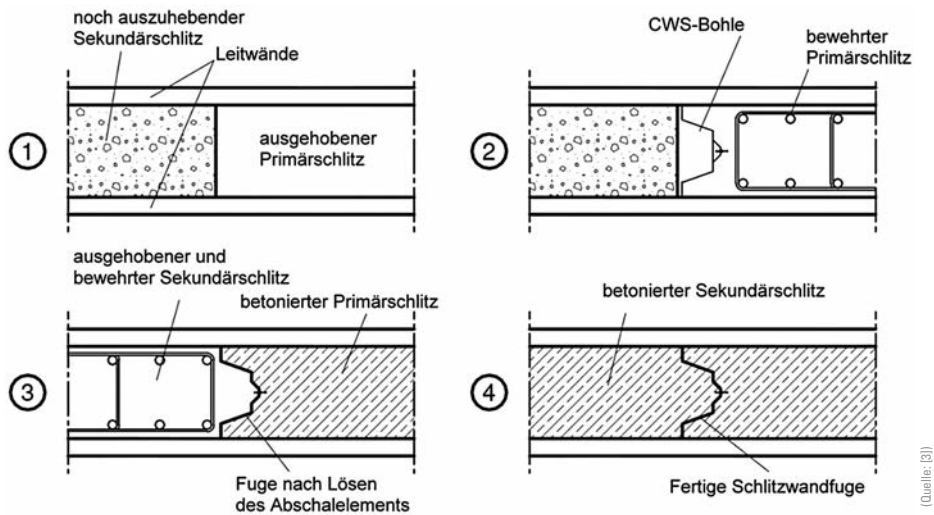


Bild 5 Arbeitsschritte zum Herstellen einer Fuge am Beispiel eines Flachfugenelementes von Bachy
Steps for production of a wall with Bachy stop ends

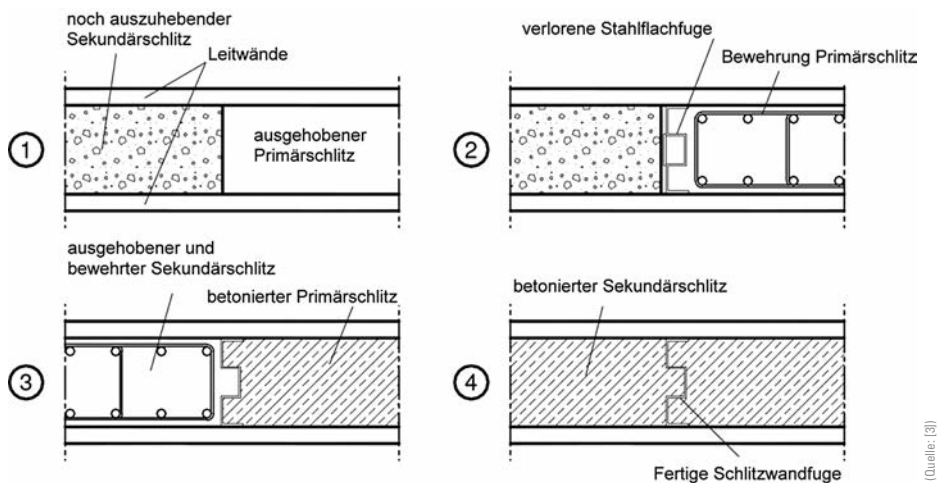


Bild 6 Arbeitsschritte zum Herstellen einer Fuge am Beispiel einer Stahlflachfuge
Steps for production of a wall with lost steel stop ends

genmeißel eine Führung bei der Herstellung der Sekundärlamelle.

5 Qualitätssicherungssysteme

5.1 Qualitätssicherungspläne bei der Herstellung der Schlitzwände

Auf Baustellen in Deutschland werden gem. einschlägiger Richtlinien Maßnahmen zur Qualitätsüberwachung der Schlitzwandherstellung durchgeführt.

So werden vor, während und nach der Herstellung des Schlitzes die Eigenschaften der Bentonitsuspension 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 festzustellen. 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 Kontrolle 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

5.2.1 Crosshole Sonic Logging

Beim Crosshole Sonic Logging zur Überprüfung der Konformität der Schlitzwandfugen werden Ultraschalluntersuchungen der fertigen Schlitzwand ausgehend von bei der Betonage der Schlitzwandlamellen eingebauten Leerrohren ausgeführt.

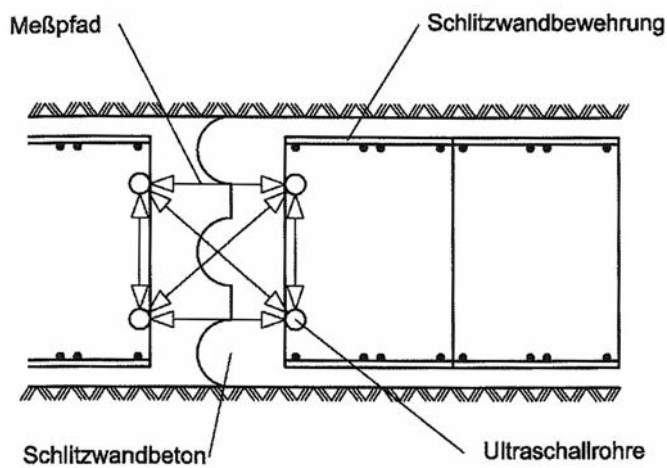


Bild 7 Anordnungen von Messrohren an der Schlitzwandfuge (nach [4])
Arrangement of measuring tubes on a joint

Nach dem Erhärten des Schlitzwandbetons werden ein Ultraschallsender und -empfänger parallel in den Rohren abgelassen. Während dieser Messfahrt werden die Schalllaufzeiten und -intensitäten zwischen Sender und Empfänger aufgezeichnet und anhand von Veränderungen die Integrität der Schlitzwand im Fugenbereich bewertet.

5.2.2 Koden-Messung

Die Grundeinheit des Koden-Messsystems besteht aus einer Ultraschallmessvorrichtung, die für die Anwendung im Rahmen der Schlitzwandprüfung auf der Baustelle angepasst wurde. Das Prinzip besteht aus der Durchschallung der Bentonitsuspension in der Sekundärlamelle. Zur besseren Bewertung der Resultate empfiehlt es sich, die Bentonitsuspension vor der Durchschallung zu entsanden.

Im Rahmen der Messung mit dem Koden-Gerät wird an zwei Präzisionswinden je ein Ultraschallkopf in den offenen Schlitz bei gleichzeitiger Messung der Tiefe abgesenkt. Die Ultraschallwellen werden von der exponierten Primärlamelle reflektiert. Ist der Abstand zwischen der Sendeeinheit und der exponierten Lamelle festgelegt, sollte bei qualitätsgerechter Herstellung der Primärlamelle der Abstand über die Tiefe gleich bleiben. Bereiche, die einen signifikanten Unterschied in der Laufzeit aufzeigen, legen den Schluss nahe, dass sich Umlaufbeton an der Fugenoberfläche ausgebildet hat und den Abstand zwischen Sender und Schlitzwandfuge reduziert. Die Ultraschallmessung mit dem Koden-Gerät lässt sich leicht in den Produktionsprozess integrieren, da während der Entsandung der Bentonitsuspension ausreichend Zeit verbleibt, die Messvorrichtung aufzubauen und die Messung durchzuführen.

Die Interpretation der Messwerte besteht in der Auswertung der Laufzeit der Ultraschallwelle zwischen Signalgeber und Reflektion an der Fuge. Die gemessene Laufzeit

hängt jedoch auch von den Eigenschaften der Bentonitsuspension ab, die sich über die Tiefe der Lamelle ändern können. Damit bleibt die Messung mit dem Koden-Gerät ein von der Signalinterpretation abhängiges, indirektes Messverfahren, welches z. B. bei stetigen und nicht sprunghaften Übergängen seine Grenzen hat.

Der größte Vorteil der Koden-Messung besteht darin, dass die Messwerte noch im Arbeits- und vor dem Betonierprozess gewonnen werden, sodass notwendige Korrekturen vor dem Betoniervorgang der Sekundärlamelle vorgenommen werden können.

5.2.3 GuD Fugeninspektor

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

Wie erläutert, ist der optimale Zeitpunkt für die Qualitätssicherung die Zeit während der Entsandung der Suspension des Sekundärschlitzes. Zu diesem Zeitpunkt ist die Oberfläche der Primärlamelle auf voller Tiefe freigelegt und es ergibt sich ein Bearbeitungsfenster, das nicht auf dem bauzeitkritischen Weg liegt.

Allerdings sollte die Messung nicht von den variablen Eigenschaften der Suspension selber abhängen, wie es bei vorgenanntem Verfahren der Fall ist, sondern eine direkte Messung der Oberflächenqualität ermöglichen. Dies wird durch das nachfolgend näher erläuterte Messprinzip eines neu entwickelten Messgerätes ermöglicht.

Der sogenannte „GuD Fugeninspektor“ wird an den Schlitzwandgreifer montiert und ermöglicht, das tatsächliche Oberflächenprofil der exponierten Fuge aufzunehmen. Nach der Montage wird die Schlitzwandfuge in einer Messfahrt während eines weiteren Greiferspiels von unten nach oben aufgenommen. Hierfür werden vorgespannte, mechanische Distanzaufnehmer, die vollkommen unabhängig vom Hydrauliksystem des Grundgerätes arbeiten, eingesetzt.

Wie Finger, die zunächst nach unten abgeklappt sind, fühlen die Messarme nach dem kontrollierten Ausklappen die Oberfläche der freigelegten Fuge ab. Während der Greifer nun langsam nach oben gezogen wird, nehmen diese mechanischen Sensoren den Winkel der ausgeklappten Messarme auf und messen somit das Profil der freigelegten Fuge. Die Messtiefe wird dabei über einen integrierten Druckgeber ermittelt. Die Messergebnisse sind damit unabhängig vom Sandgehalt und den rheologischen Eigenschaften der Bentonitsuspension.

Alle Messwerte werden in einer elektronischen Box gespeichert und beim Auftauchen des „Fugeninspektors“ aus dem bentonitgefüllten Schlitz per Bluetooth auf einen Feldrechner übertragen.



Bild 8 Der Fugeninspektor montiert am Schlitzwandgreifer
The Joint Inspector mounted to the grab

Diese unmittelbare Verfügbarkeit der gemessenen Daten erlaubt es dem Projektingenieur, gegebenenfalls erforderliche Korrekturmaßnahmen einzuleiten, indem festgestellter Umlaufbeton vor der Betonage beseitigt werden kann.

Mithilfe vorgefertigter Adapter und der variablen Bestückung des Fugeninspektors ist es möglich, den Fugeninspektor an Greiferbreiten zwischen 60 cm und 200 cm zu befestigen und entsprechend der aufzumessenden Fugen-geometrie mit bis zu fünf Messarmen zu belegen.



Bild 9 Messarme bei der Vermessung einer Stahlflachfuge
Distance sensors measuring a lost steel stop end

5.3 Vergleich der Systeme

Der Vorteil des Kodex-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 ohne nennenswerten Zusatzaufwand Korrekturmaßnahmen eingeleitet werden, bevor der Umlaufbeton zu Leckagen in den Schlitzwandfugen führt.

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

Eine Sanierung von Fehlstellen, die mit dem Crosshole-Verfahren an abgebundenen Schlitzwänden festgestellt werden, zieht dagegen einen erheblichen Mehraufwand nach sich.

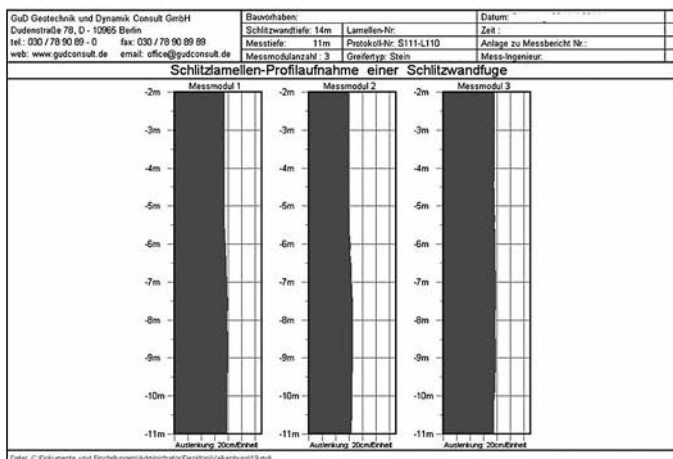
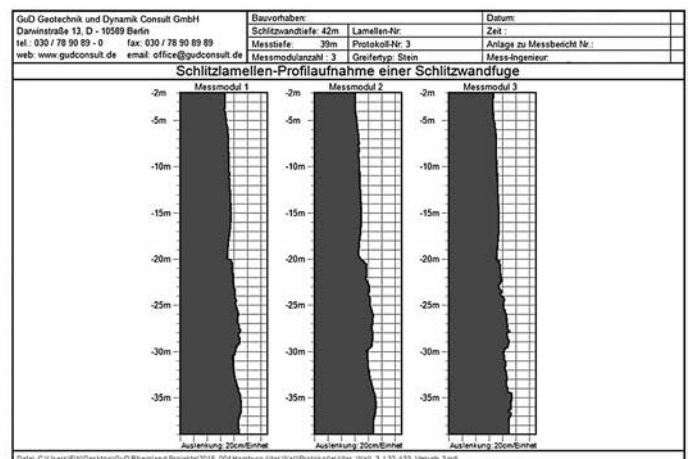


Bild 10 Messdiagramm einer intakten Bachy-Fuge (links) zum Vergleich mit einer schadhafte Stahlbetonflachfuge (rechts)
Print out of readings taken on an intact Bachy joint (left) compared to a faulty concrete joint (right)



Tab. 1 Vergleichsmatrix der verschiedenen Möglichkeiten zur Qualitätskontrolle von Schlitzwandfugen
Application matrix for joint control systems

	Koden-Gerät	Crosshole Sonic Logging	GuD Fugeninspektor
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

Tab. 1 veranschaulicht die Eigenschaften der unterschiedlichen Verfahren.

6 Ausblick

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

Wiedergewinnbare Fugen haben den Vorteil, dass sie relativ verwindungssteif sind. Jedoch sind auch diese Konstruktionen ab einer Tiefe von ca. 40 m aufgrund des schwierigen Lösevorganges mit dem Risiko einer unkontrollierten Ablösung bei eventueller Zerstörung des qualitätskonformen Fugenprofils verbunden.

Hier bieten sich dann verlorene Fugenelemente an. Jedoch sind verlorene Elemente einerseits mit höheren Kos-

ten verbunden, andererseits müssen sie im Hinblick auf den sicheren Einbau in großer Tiefe ausreichend steif sein, um lagegenau und vertikal positioniert werden zu können, was vergleichsweise massive Strukturen erfordert.

Werden verlorene Fugenelemente verwendet, sollten auch hier die Nachweise des lagegenauen, vertikalen Einbaus der Fuge, des formschlüssigen Aushubs bis zum Fugenelement und der Nachweis der Entfernung von Umlaufbeton zwingend für die qualitätskonforme Ausführung zu erbringen sein.

Diesbezügliche Vorgaben sollten durch die Bauherren in die Ausschreibungsunterlagen aufgenommen werden, um die Qualität der Schlitzwandfugen sowohl in der Planung als auch in der Ausführung zu sichern und damit kostenintensive Risiken einer nachträglichen Sanierung oder im Extremfalle Havarien mit Gefahr für Leib und Leben zu verhindern.

Literatur

- [1] SIELER, U.; PABST, R.; MOORMANN, C.; NEWELING, G.: *Der Einsturz des Stadtarchivs Köln: Bauliche Maßnahmen zur Bergung der Archivalien und zur Erkundung der Schadensursache*. Beitrag zur Baugrundtagung 2012, Mainz.
- [2] RUPPEL, C.: *Qualitätsüberwachung an Schlitzwandfugen im Zuge der Herstellung*. Studienarbeit Technische Universität Braunschweig, 2014.
- [3] JÄKEL, H.: *Ausgesuchte Schlitzwandfugensysteme und Möglichkeiten der Qualitätsüberwachung*. Bachelorarbeit Universität Lüneburg, 2013.
- [4] TRIANTAFYLIDIS, T.: *Planung und Bauausführung im Spezialtiefbau – Teil 1: Schlitzwand- und Dichtwandtechnik*. Berlin: Ernst & Sohn Verlag, 2004.
- [5] EWALD, K.; SCHNEIDER, N.: *Vermeidung von Schäden an Schlitzwandfugen durch den Einsatz geeigneter Qualitätssicherungssysteme*. Beitrag zum Ruhrgeotag 2015, Dortmund.
- [6] DIN EN 1538: *Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten (Spezialtiefbau) – Schlitzwände*. Deutsches Institut für Normung e.V., Juli 2000.
- [7] SCHNEIDER, N.: *A New Method of Quality Control for Construction Joints in Diaphragm Walls*. International Conference on Piling & Deep Foundations, Stockholm, Schweden, Mai 2014.
- [8] Bauer Spezialtiefbau: *Qualitätsprüfung mit Cross Hole Ultrasonic Monitor*. Informationsblatt der Bauer Spezialtiefbau GmbH, 2009.

Autoren

Dipl.-Ing. Knut Ewald
GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH
Niederlassung Köln
Lindenstraße 14
50937 Köln
ewald@gudconsult.de

Dipl.-Ing. Univ. Nikolaus Schneider
GuD Geotechnik und Dynamik Consult GmbH
Darwinstraße 13
10589 Berlin
schneider@gudconsult.de