

Qualitätssicherung überschnittener Bohrpfahlwände mit der Ultraschallmethode am Beispiel der Schleuse Dörverden

Ernst NIEDERLEITHINGER^{*}, Markus HÜBNER^{**},
Hilmar MÜLLER^{***}, Regina KAUTHER^{***}

^{*}BAM Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Fachgruppe 8.2, Berlin

^{**}GGU Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen, Karlsruhe

^{***}BAW Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Kurzfassung. Überschnittene Bohrpfahlwände sind eine bewährte Konstruktionsmethode zur Herstellung tragender, hydraulisch dichter, tiefreichender Wände im Spezialtiefbau. Anders als bei Einzelpfählen gibt es bisher für die zerstörungsfreie Prüfung von Pfahlwänden keine etablierte Vorgehensweise. Erste Versuche an Baustellen und Modellkörpern zeigten das Potential der Ultraschallmethode (cross-hole sonic logging) zur Prüfung der Fugen über mehrere Pfähle hinweg. An der Schleusenbaustelle Dörverden ergab sich die Möglichkeit, das Verfahren unter Realbedingungen einzusetzen und die Ergebnisse visuell durch Kernbohrungen und nach Aushub zu evaluieren. Dabei wurden die meisten der prognostizierten Fehlstellen bestätigt. Die Resultate wurden in einer Neuauflage der entsprechenden Regelwerke berücksichtigt.

1. Einführung

Überschnittene Bohrpfahlwände sind ein im Grundbau häufig eingesetzter Konstruktionstyp. Sie bestehen aus unbewehrten, oft mit weniger druckfestem Beton ausgeführten Primärpfählen, zwischen die nach einigen Tagen überschneidend bewehrte Sekundärpfähle gebohrt werden (Abbildung 1 bis Abbildung 3).

Die Positionierung wird durch eine temporäre Bohrschablone aus Beton gewährleistet. Die Schablone ist einige Dezimeter stark. Die Bohrpfähle werden bis zur Oberkante der Bohrschablone betoniert. Bei der Betonage der Bohrpfähle kommt es im Kopfbereich zu Absetzerscheinungen des Betons. Diese minderfesten Bereiche werden später zusammen mit der Schablone entfernt. Das Ergebnis ist eine dichte, vertikal und lateral belastbare Wand. Zu den Einsatzbereichen gehören der Verbau von Baugruben, Böschungssicherungen oder hydraulische Barrieren (auch für Altlasten). Sie werden sowohl als temporäre Bauwerke als auch mit dauerhaft tragender Funktion ausgeführt.

Die Qualitätssicherung geschieht konventionell wie bei Einzelpfählen durch Lotung, gegebenenfalls Neigungsmessung und Protokollierung des Bohr- und Betoniervorganges. Trotz aller Bemühungen kommt es im Einzelfall zu Problemen bei der Herstellung. Die Fehlstellen sind aber in der Regel von der Oberfläche aus nicht zu erkennen und zeigen sich erst beim Aushub durch Undichtigkeiten oder gar größere Hohlstellen (Abbildung 2).

Kleinere Undichtigkeiten sind dabei leicht beherrschbar. Bei erheblichem Wassereintritt oder gar Mobilisierung von Bodenmaterial ist eine Sanierung erforderlich.

Zudem kann bei zu geringer oder gar fehlender Betondeckung Bewehrungskorrosion auftreten.

Zerstörungsfreie Prüfverfahren, wie sie für Einzelpfähle schon seit langem eingeführt und bewährt sind [1], stehen für Pfahlwände bisher nicht zur Verfügung. Die zur Prüfung von Einzelpfählen erfolgreich eingesetzte Integritätsprüfung nach der Hammerschlagmethode ist hier nur von beschränkter Aussagekraft [3][4]. Ein modifiziertes Ultraschallverfahren hat aber in ersten Studien einiges Potential zur Qualitätssicherung an Pfahlwänden erkennen lassen (siehe Abschnitt 2).

Die Bundesanstalt für Wasserbau beschloss das Verfahren in der Praxis auf seinen Einsatzmöglichkeiten zu testen. Hierfür wurde die Schleusenbaustelle Dörverden ausgewählt. Mit den entsprechenden Messungen und ihrer Auswertung wurde die Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen (GGU), Karlsruhe, und die Bundesanstalt für Materialforschung und –prüfung (BAM, Fachgruppe 8.2) beauftragt. Die Arbeiten wurden im Winter 2009/2010 durchgeführt. Über verschiedene die Maßnahmen der Qualitätssicherung wird auch in [2] berichtet.

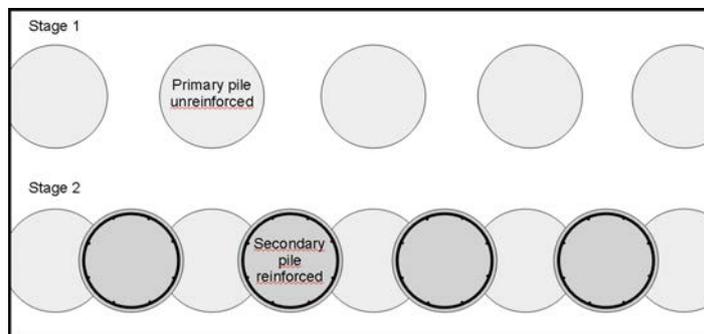


Abbildung 1: Konstruktion einer überschnittenen Bohrpfahlwand

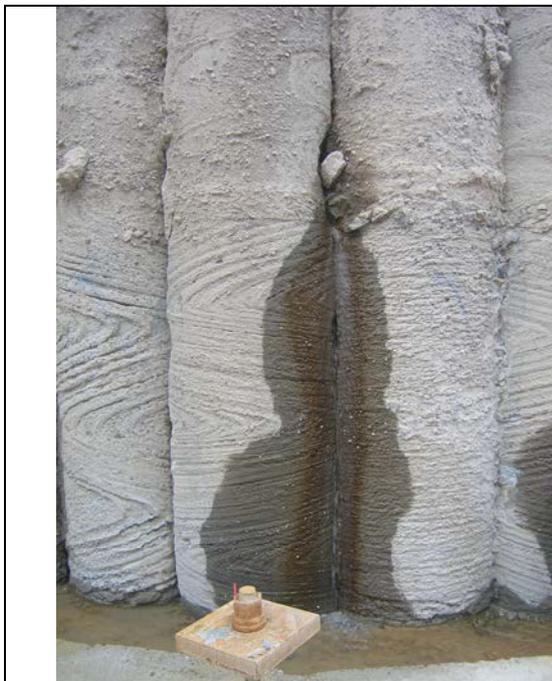


Abbildung 2: Überschnittene Pfahlwand mit kleineren Undichtigkeiten an der Schleusenbaustelle Dörverden (Foto: BAM).



Abbildung 3: Bau der überschnittenen Bohrpfahlwand an der Schleuse Dörverden (Foto: BAM).

2. Die Ultraschallmethode zur Pfahlprüfung

Die Ultraschallmethode (Englisch Crosshole Sonic Logging) ist ein etabliertes Verfahren zur Qualitätsprüfung von Betonbohrpfählen. Am Bewehrungskorb werden dafür 2 bis 8 Stahlrohre befestigt und mit einbetoniert. Ein Sender (40 - 80 kHz) und ein Empfänger werden dann nach Aushärten parallel in jeweils zwei der Rohre hinabgelassen (Abbildung 4). Alle 1-5 cm werden Transmissionsmessungen durchgeführt. Die Darstellung erfolgt als B-Bild (Wasserfalldiagramm). Den Daten werden Laufzeiten sowie Amplituden entnommen, evtl. bearbeitet und umgerechnet und als Logs dargestellt (Abbildung 4 rechts). Der Test wird für alle Rohrkombination wiederholt. Anwendung und Interpretation sind in vielen Ländern genormt oder über Empfehlungen geregelt ([1][6][7]). In den meisten Fällen sucht der Prüferingenieur (in Deutschland: Auftragnehmer oder Bauüberwachung des Bauherrn) nur nach lokalen Anomalien. (?) Eine quantitative Bewertung ist schwierig und wird nur selten durchgeführt.

Die Methode kann durch tomographische Auswertungen erweitert werden, entweder mit Messungen in der gleichen Tiefe mit verschiedenen Rohrkombinationen (Horizontalschnitte) oder mit gesonderten Messungen mit unterschiedlichen Sender- und Empfängertiefen (Vertikalschnitte, 3D Volumina). Letzteres ergibt eine bessere Überdeckung und Auflösung von Inhomogenitäten. In der Praxis wird dies aber aufgrund des hohen Aufwandes selten eingesetzt.

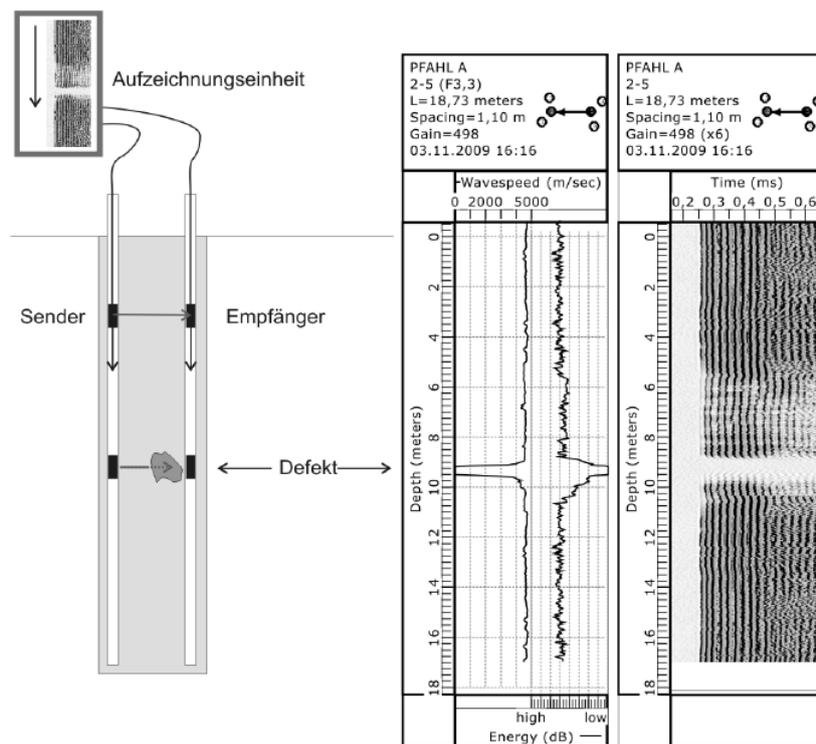


Abbildung 4: Prinzip der Ultraschallprüfung und Beispielergebnis mit Darstellung der Wellengeschwindigkeit (Wavespeed), Energie der direkten Welle (Energy) und Wasserfalldiagramm (ganz rechts.)

Die Ultraschallmethode liefert bei normaler Anwendung nur Informationen über einzelne Pfähle und nur innerhalb des Bewehrungskorbes und ist in den unbewehrten Primärpfählen mangels Zugang nicht direkt anwendbar. Erste Versuche mit Ultraschall-Transmissionsmessungen über mehrere Pfähle hinweg an einer Hochwasserschutzwand in Grimma waren erfolgversprechend, ließen aber Fragen offen [4]. Daher wurde an einem speziell entwickelten Probekörper auf dem Testgelände der BAM bei Horstwalde diese Art der Anwendung evaluiert [5]. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen zeigten, dass die

Ultraschallmethode größere Fehlstellen ab einer Höhe von 20 cm in der Fuge erkennen kann, auch wenn diese nicht die gesamte Fugenbreite umfassen. Es besteht jedoch die Gefahr der Fehlinterpretation, da insbesondere in der ungesättigten Bodenzone auch kleinste Ablösungen Änderungen der Signatur hervorrufen.

3. Die Schleusenbaustelle Dörverden

Die Weser stellt zwischen Bremerhaven und Minden die Nord-Süd-Verbindung im deutschen Wasserstraßennetz dar und schließt die Seehäfen Bremen, Bremerhaven und Wilhelmshaven an das Binnenwasserstraßennetz an. Um die Befahrbarkeit der Mittelweser für Großmotorgüterschiffe mit einer Beladung von 1350 t und einer Abladetiefe von 2,5 m zu ermöglichen, ist ein stufenweiser Ausbau der Mittelweser zwischen Weser-km 252,600 bis Weser-km 354,190 geplant. Die Ausbaumaßnahmen umfassen auch die in diesem Streckenabschnitt liegenden Schleusenanlagen in Minden und Dörverden.

Die Schleusenanlage Dörverden bestand vor Beginn der Baumaßnahmen aus einer 1910 erbauten und 1912 in Betrieb genommenen großen Schleppzugschleuse und einer zusätzlichen kleinen Schleuse, die 1938 in Betrieb genommen wurde. Da diese Anlage nicht über die heute erforderlichen Abmessungen verfügt, wurde nach Prüfung des baulichen Zustands der Schleusen entschieden, die Schleppzugschleuse durch einen Neubau in der Achse des Schleusenkanals zu ersetzen (Abbildung 5).



Abbildung 5: Bestehende und geplante (inzwischen fertig gestellte) Schleusen in Dörverden. Roter Pfeil: In Kapitel 4 diskutierter Messort (aus [2]).

Unter einer ca. 6 m mächtigen, tonigen und schluffigen Auffüllung mit sandigen Zwischenschichten im Schleusenbereich stehen bis etwa 50 m unter GOK zwei teilweise durch eine Zwischenschicht getrennte Sandschichten an, die teilweise cm-starke Kohleeinlagerungen aufweisen. Die Auffüllung besitzt nur geringe Festigkeit. Die obere Sandschicht besteht aus fein- bis mittelkiesigem Mittelsand (auch Kieseinlagerungen möglich) mit mittlerer bis großer Festigkeit. Bereichsweise wurde eine bindige Zwischenschicht mit geringer Festigkeit erbohrt. Die untere Sandschicht besteht aus enggestuften mittelsandigen Feinsanden mit großer bis sehr großer Festigkeit. Es ist davon auszugehen, dass die obere und die untere Sandschicht zumindest teilweise hydraulisch miteinander verbunden sind. Aufgrund der Wasserspiegeldifferenz zwischen Oberwasser und Unterwasser tritt strömendes Grundwasser auf. Die Auswertung der

Grundwassermessstellen zeigt, dass der Grundwasserstand über die gut durchlässigen Sedimente mit dem Unterwasserstand der Weser korreliert.

Die Baugrubenwände bestehen aus einfach rückverankerten, überschrittenen Bohrpfahlwänden. Die Bohrpfähle haben eine Länge von 15 bis 20 m, die Bohrpfähle der Trossenfanggrube am Oberhaupt eine Länge von 6 bis 10 m. Die langen Bohrpfähle enden damit in der Schicht der unteren Sande. Der Durchmesser der Pfähle beträgt einheitlich 1,2 m, der Achsabstand beträgt maximal 0,90 m. Die Bohrpfahlwand übernimmt später auch die Funktion des Haupttragelementes der Schleusenkommer. Die Dichtigkeit der Konstruktion wird durch eine bis auf den Anschluss an die Konstruktionssohle fugenlose Vorsatzschale aus Stahlbeton gewährleistet, in der die Ausrüstungselemente in extra dafür vorgesehenen Versatzbereichen angeordnet sind. Weitere Ausrüstungselemente, wie z.B. Steigeleitern, werden in die Vorsatzschale integriert, so dass die Nutzungsqualität einer massiven Schleuse entsteht. Die Sohle der Schleusenkommer besteht aus einer verankerten Stahlbetonsohle.

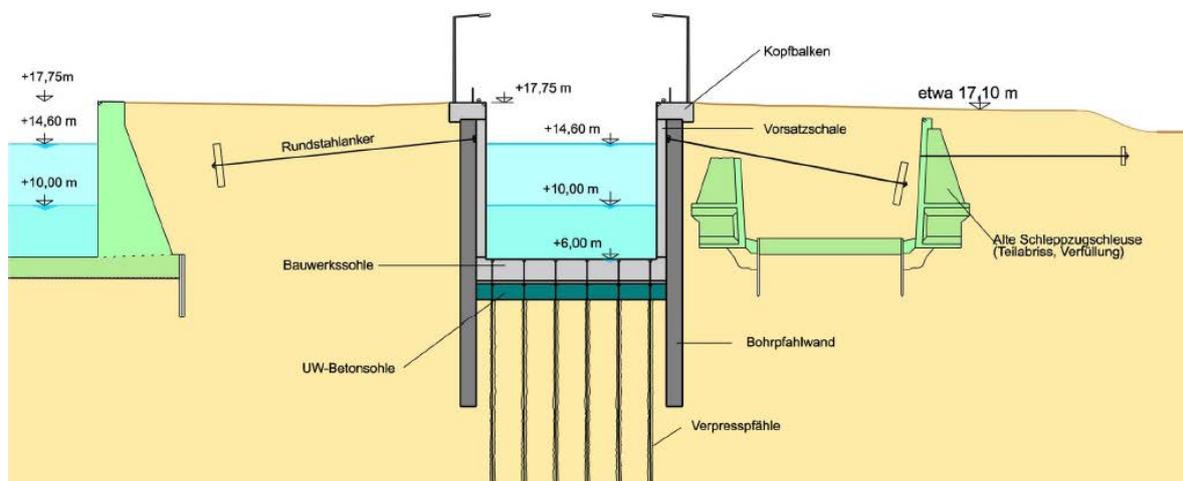


Abbildung 6: Querschnitt im Bereich der neuen Schleusenkommer (aus [2]).

4. Messungen

4.1. Ultraschall-Messungen

Im Winter 2009/2010 wurden an insgesamt fünf Messorten, eine davon im Schleusen-Oberhaupt, die übrigen an der Schleusenkommer, Ultraschall-Messungen durchgeführt. Dafür wurden den von der BAW vorgegebenen Messorten jeweils 3 Sekundärpfähle mit je 6 Zugangsröhren (Stahl, Durchmesser 50 mm) ausgerüstet (Abbildung 7). Diese wurden für die Messung mit Wasser gefüllt. Aufgrund der Witterung war zum Teil eine Enteisung notwendig. Es wurden sowohl an Rohrkombinationen innerhalb der Sekundärpfähle als auch zwischen jeweils zwei Sekundärpfählen Datensätze registriert. Damit ergaben sich je Messort 63 Datensätze (Abbildung 8). Für die Prüfung musste inklusive Auf und Abbau, Nebenarbeiten wie die Rohrbefüllung und der teils widrigen Witterungsumstände mindestens ein voller Messtag angesetzt werden. Die gute Kooperation mit dem Bauherrn und der ausführenden Firma sei hier herausgestellt.

Eingesetzt wurde ein kommerziell erhältlicher PDI Crosshole Analyzer CHAMP mit einer Senderfrequenz von 50 kHz. Die Auswertung erfolgte mit den zugehörigen Software-Paketen CHA-W und Tomosonic. Für ergänzende Auswertungen wurde das Softwarepaket REFLEX-W (Sandmeier, Karlsruhe) herangezogen.



Abbildung 7: Kopf eines Sekundärpfahl mit Zugangsröhren

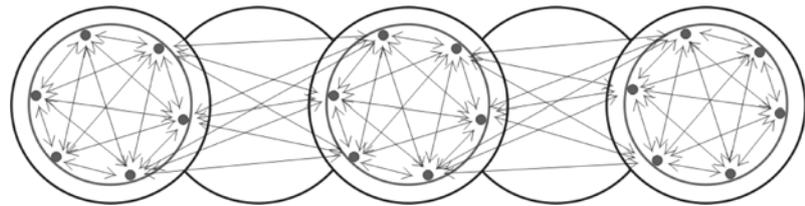


Abbildung 8: Schallwege für die 63 Rohrkombinationen je Messort

Die Ergebnisse werden aus Platzgründen nur für das Oberhaupt vorgestellt und diskutiert. Nur hier wurde eine Verifizierung anhand von Kernbohrungen durchgeführt. Für die anderen Messorte sind die Ergebnisse aber vergleichbar.

An der Westseite des künftigen Oberhauptes wurden die Pfähle 186, 188 und 190 mit Zugangsröhren ausgestattet. Die Pfähle gehören zu den ersten, die an der Schleusenbaustelle hergestellt wurden. Sie sind gut 18 m lang und haben wie alle anderen Pfähle auf der Baustelle einen Durchmesser von etwa 120 cm. Der Grundwasserspiegel liegt gut 5 m unter dem Pfahlkopf. Die Lage der Pfähle ist in Abbildung 4 und Abbildung 9 markiert.

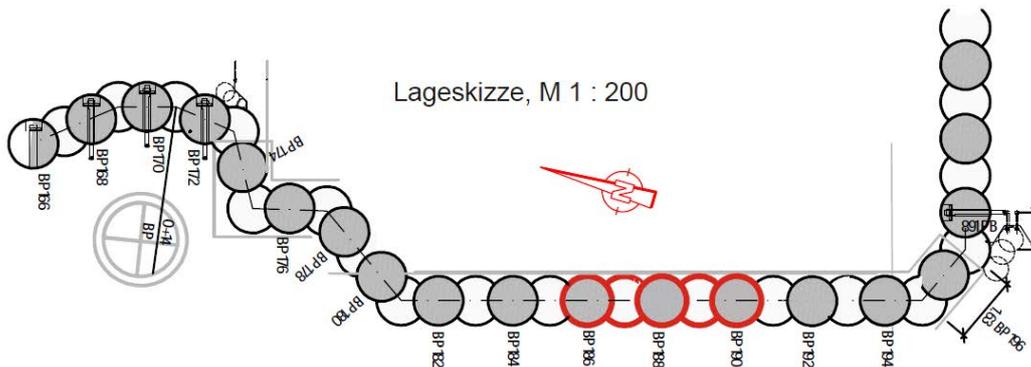


Abbildung 9: Lage der untersuchten Pfähle am Schleusenoberhaupt.

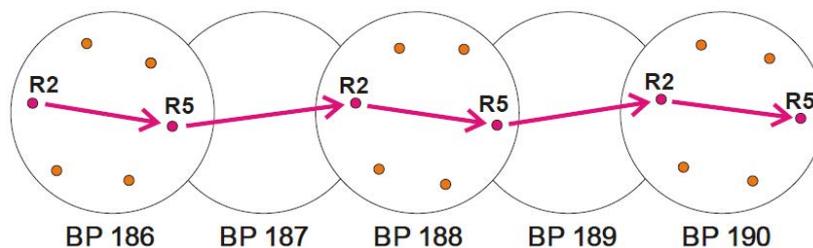


Abbildung 10: Lage der Schallwege für die in Abbildung 11 gezeigten Sonogramme.

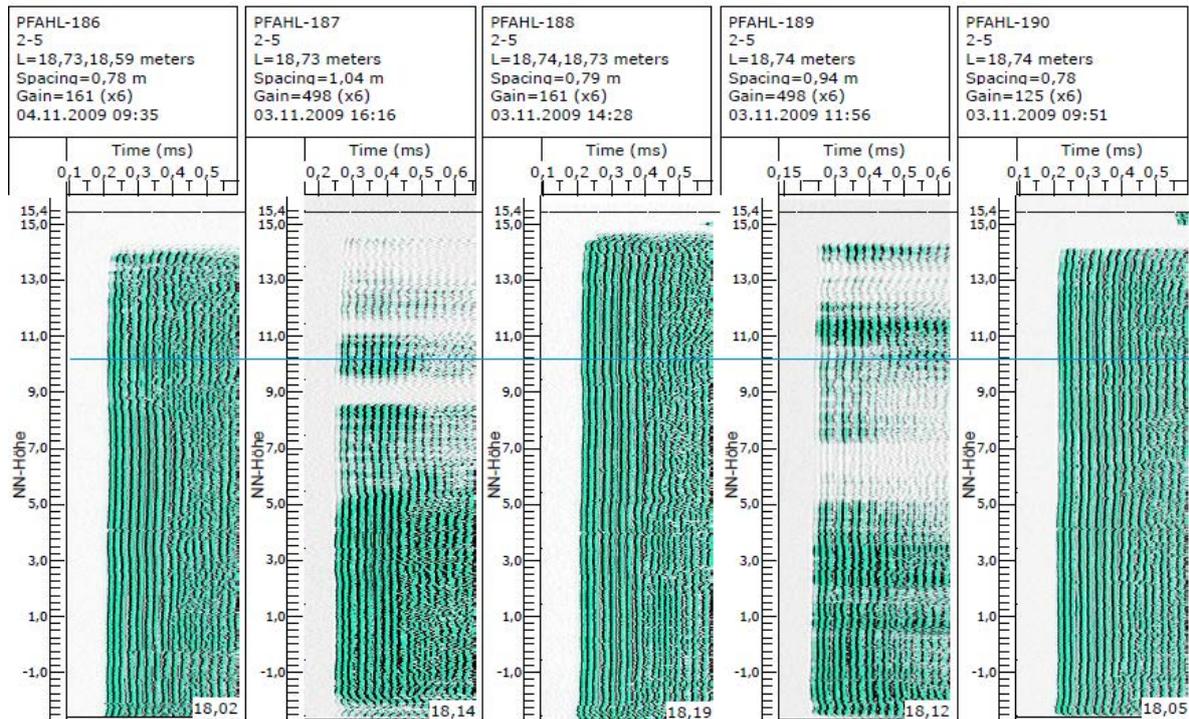


Abbildung 11: Sonogramme für die in Abbildung 10 skizzierten Schallwege.

In Abbildung 11 sind die Sonogramme für eine Reihe von Datensätzen aus Rohrkombinationen, die angenähert gerade durch den betrachteten Abschnitt der Pfahlwand führt (Abbildung 10), dargestellt. Für die Pfähle 186, 188 und 189 sind dies Schallwege, die innerhalb der Sekundärpfähle laufen. Für Pfahl 187 und 189 läuft der Schall zwischen zwei Sekundärpfählen, durch die Fugen und den entsprechenden Primärpfahl.

Die Ergebnisse für die Sekundärpfähle sind in allen betrachteten Fällen (auch an den Messorten in der Schleusenwand) bis auf einzelne Bereiche an den Pfahlköpfen und an den Pfahlfüßen ohne Befund. Die Amplituden und Laufzeiten sind über beinahe die ganze Länge konstant. Die abgeschwächten Amplituden in Oberflächennähe sind ohne Belang, da der Beton hier ohnehin ca. 2 m abgespitzt werden sollte.

Die Sonogramme für die Primärpfähle zeigen aber sowohl in Oberflächennähe als auch in größerer Tiefe starke Auffälligkeiten. Während diese oberhalb des Grundwasserspiegels noch durch schlechten akustischen Kontakt erklärt werden können (der bei fehlender Kopplung durch Wasser schon bei minimalen Spalten auftritt), wurden die Anomalien in Höhe 9 m (Pfahl 187) bzw. 6,5 m (Pfahl 189) als Hinweis auf einen mangelhaften Kontakt zwischen den Bohrpfählen gewertet. Ähnliche Auffälligkeiten waren auch in einzelnen Sonogrammen an der Schleusenwand zu finden, allerdings überwiegend im oberflächennahen Bereich.

4.2. Verifizierung durch Kernbohrung

Die Befunde für die Sekundärpfähle wurden der BAW umgehend übermittelt. Um diesen Befund zu verifizieren und ggf. Rückschlüsse für den weiteren Bauablauf zu ermöglichen, wurden durch an den Fugen zwischen Pfahl 186 und 187 bzw. 187 und 188 Kernbohrungen bis in etwa 7 m Tiefe (8,5 m NN) durchgeführt. Sämtliche Bohrkern wurden in Kisten ausgelegt und von der BAW aufgenommen und dargestellt. Zusätzlich wurde eine Kamerabefahrung der Bohrungen durchgeführt.

Während die Bohrung an der Fuge zwischen Pfahl 188 und 187 nach einigen Metern aus dem Lot lief und die Fuge nicht mehr erfasste, konnte die zweite Bohrung

(Fuge Pfahl 187/186) bis in eine Tiefe von 7 m NN entlang der Fuge geführt werden. Der Bohrkern ist in Abbildung 12 links dargestellt. Dabei zeigten sich im oberflächennahen Bereich (bis 11 m NN) Ablösungen und kleinere Einlagerungen von Bodenmaterial, die aber nicht über das hinausgingen, was durch den Bohrvorgang zu erwarten war. In größeren Tiefen jedoch, primär bei 9 m NN (also der Tiefe der Ultraschall-Anomalie), war in erheblichem Maße Bodenmaterial vorhanden. Zum Teil wurde auf Seiten des Pfahles 187 kein Beton erbohrt. Dies bedeutet, dass die Fuge auf mehreren Zentimeter Breite hydraulisch durchlässig ist.

4.3. Inspektion der Schleusenwand nach Aushub

Nach Herstellung der Unterwasserbetonsohle und Lenzen der neuen Schleusenkammer konnte die Bohrpfahlwand einseitig direkt in Augenschein genommen werden. Im Bereich des Oberhauts ließ sich etwa in Höhe der Anomalie an Pfahl 187 ein Wassereindringen beobachten (Abbildung 12, Bereich A). Die Anomaliezone an Pfahl 189 konnte nicht direkt verifiziert werden, allerdings gab es auch hier kleinere Leckagen.

Besonders auffällig waren mehrere größere Materialausbrüche, wie sie in Abbildung 12 Bereich B, an Pfahl 183 zu erkennen sind. Derartige Auffälligkeiten waren an mehreren Position der Schleusenwand zu erkennen, allerdings nicht in den mit der Ultraschallmethode geprüften Bereichen. Weitere Fehlstellen können sich natürlich im verdeckten Bereich der Bohrpfahlwand befinden.

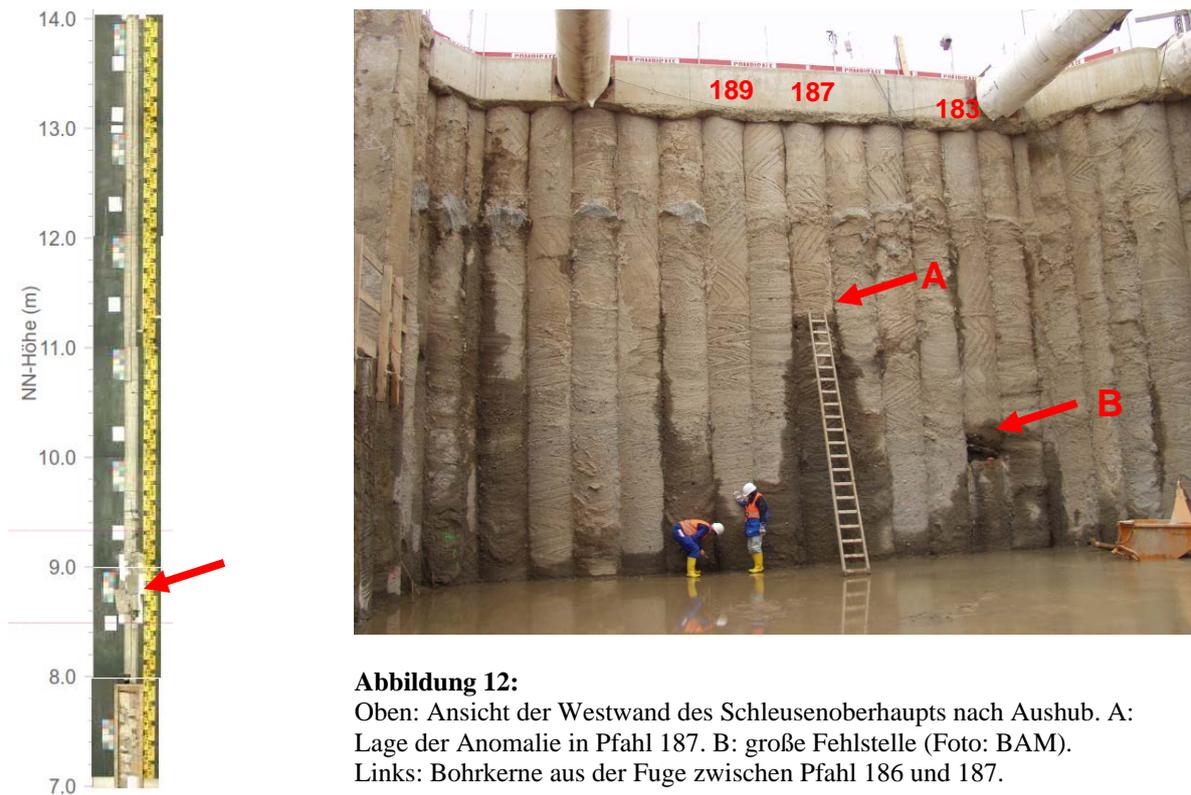


Abbildung 12:
 Oben: Ansicht der Westwand des Schleusenoberhauts nach Aushub. A: Lage der Anomalie in Pfahl 187. B: große Fehlstelle (Foto: BAM).
 Links: Bohrkerne aus der Fuge zwischen Pfahl 186 und 187.

5. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ultraschallmessungen wiesen schon vor Aushub auf Fehlstellen hin, die sich später bei Kernbohrung und Aushub im Prinzip bestätigten. Inzwischen wurden die Fehlstellen im unteren Teil der Wand mit Spritzbeton instandgesetzt und es konnte mit dem Ausbau fortgefahren werden. Die gesamte Wand erhielt planmäßig eine Vorsatzschale. Die Verbundkonstruktion stellt Standsicherheit und hydraulische Dichtheit sicher.

Wie in Abschnitt 4 dargestellt, wurde nur an einer Position (Pfahl 187) eine vollständige Verifikation durch Bohrungen durchgeführt. Dies war aus Zeit- und Kostengründen sowie der ohnehin notwendigen partiellen Sanierung wirtschaftlich sinnvoll. Allerdings konnte so die Ursachen einiger Ultraschall-Anomalien nicht definitiv geklärt werden. So zeigte sich beispielsweise an der Position der Anomalie am Pfahl 189 bei Ansicht der Wand keine besondere Auffälligkeit. Entsprechende Ablösungen oder gar Bodeneinlagerungen können aber bei einseitiger Inspektion verdeckt in der Wand unerkannt bleiben. Solche einseitigen Anomalien führen dann zwar zu keiner hydraulischen Verbindung zwischen Grundwasser und Baugrube, können aber bei entsprechender Größe für die Tragfähigkeit relevant sein. Im vorliegenden Fall ergaben sich hierauf aber keine Hinweise.

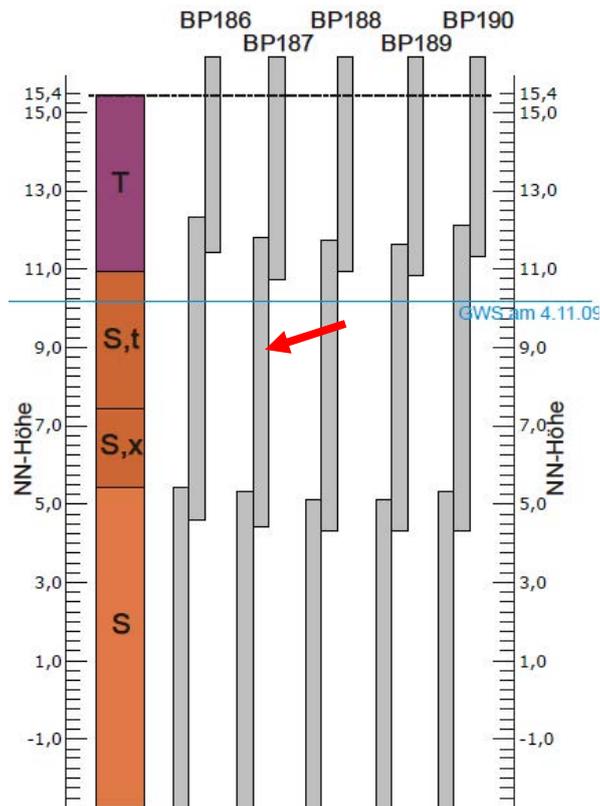


Abbildung 13: Betonierphasen und Schichtenfolge für die untersuchten Pfähle im Schleusenoberhaupt nach den Bohr- und Betonierprotokollen (Fa. Max Bögl, Darstellung BAM). Lage der Anomalie in Pfahl 187 markiert.

Die hier beschriebenen Messungen hatten Versuchscharakter. Da bisher zu wenige Erfahrungen vorlagen, wurden die Ergebnisse nicht für den weiteren Bauablauf verwendet. Soll dies in Zukunft geschehen, müssen Untersuchung, Bauüberwachung und Bauablauf gemeinsam geplant und eng verzahnt werden. Das Vorgehen beim Auftreten von Auffälligkeiten muss im Vorfeld festgelegt werden. Im Verdachtsfall sollten beispielsweise direkt anschliessend Kernbohrungen oder eine partielle Freilegung erfolgen, um

Rückschlüsse auf Ursache und mögliche Gegenmaßnahmen zu erhalten. Nur so kann das Messergebnis direkt genutzt werden und für alle Baubeteiligten eine Zeit- und Kostenersparnis bewirken.

Alle Sekundärpfähle mit Zugangsröhren auszustatten und später für die Prüfung zu nutzen ist sicher unwirtschaftlich und behindert den Bauablauf unnötig. Die zu prüfenden Lokationen sind anhand kritischer Stellen der Konstruktion und dem Baugrundgutachten auszuwählen. Eine gewisse Redundanz ist sicherzustellen, da einzelne Messorte aufgrund von Problemen beim Rohreinbau, dem Bauablauf oder anderen Faktoren evtl. später nicht realisiert werden können. Dies erhöht auch die Flexibilität im Prüfablauf, z. B. wenn aufgrund neuer Erkenntnisse Änderungen im Bauverfahren erfolgen.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Zur Untersuchung der Qualität der Sekundärpfähle sowie der Fugen zwischen den Primär- und Sekundärpfählen wurden an der Schleusenbaustelle Dörverden an fünf verschiedene Bohrpfahlgruppen modifizierte Crossholemessungen ausgeführt. Die Durchschallung der Sekundärpfähle ergab keine Anomalien im Messsignal und damit auch keine Einschränkungen bei der Qualität der Pfähle. Bei der Durchschallung der Fugen zwischen den Primär- und den Sekundärpfählen wurden an mehreren Positionen Anomalien im Messsignal festgestellt, die zum Teil auf größere Störungen in der Fugenausbildung zwischen Primär- und Sekundärpfählen hinwiesen. Diese konnten zum Teil durch direkte Untersuchungen verifiziert werden. Umfang und Charakter eines Teils der Anomalien blieb jedoch ungeklärt, da zugunsten einer ohnehin notwendigen Sanierung auf weitere Kernbohrungen verzichtet wurde. Weiterhin konnte nicht geklärt werden, inwieweit Anomalien, die zu hydraulischer Durchlässigkeit in der Fuge führen, von solchen unterschieden werden können, die nur einen Teil der Fuge umfassen. Hierfür wäre eine aufwändige, den Bauablauf stark störende vollständige Freilegung notwendig gewesen.

Die Ultraschallmethode zeigte dennoch ihr Potential für eine Qualitätskontrolle nicht nur der Sekundärpfähle, sondern auch der Primärpfähle und der dazwischen liegenden Fugen. Wichtig ist eine enge Verzahnung mit dem Bauablauf und anderen Qualitätssicherungsmaßnahmen. Möglichst viele Sekundärpfähle sind mit Zugangsröhren auszurüsten, um bei Auffälligkeiten bei der Bohrpfahlherstellung flexibel Messorte auswählen zu können. Die Ursache und der genaue Umfang der Anomalien muss durch direkte Untersuchungsmethoden (Kernbohrung, visuelle Inspektion) festgestellt werden. Das Vorgehen hierfür muss ebenfalls bei der Bauplanung berücksichtigt werden.

Da noch Erfahrungswerte aus weiteren Anwendungsfällen fehlen, ist es zu früh, die Ultraschallmethode für Bohrpfahlwände als Regelmaßnahme zu empfehlen. In der nächsten Ausgabe der EA Pfähle (2012) wird sie jedoch als optional (z. B. bei besonders komplexen oder aufwändigen Bauvorhaben) angeführt.

Forschungsbedarf besteht noch im Bezug auf die mögliche Auflösung kleinere Fehlstellen, die verbesserte Ortung z. B. durch tomographische Auswertung und die Unterscheidung von dünnen (irrelevanten) Ablösungen von größeren Fehlstellen in der ungesättigten Bodenzone. Von großem Interesse ist auch die Übertragung des modifizierten Verfahrens auf die Fugen zwischen einzelnen Schlitzwandlamellen.

7. Referenzen

- [1] DGGT AK 2.1: Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“ (EA Pfähle). Ernst& Sohn, Berlin, 2007.
- [2] Kauther, R., Müller, H., 2010: BAW-Kolloquium Tiefe Baugruben an Bundeswasserstraßen, Karlsruhe.
- [3] Klingmüller, O., & Kirsch, F., 2004: A quality and safety issue for cast-in-place piles 25 years of experience with low-strain integrity testing in Germany: From scientific peculiarity to day-to-day practice. Current Practice and Future Trends in Deep Foundations, American Society of Civil Engineers, Geotechnical Special Publication No. 125, 2004, S. 202-221
- [4] Niederleithinger, E., Schallert, M., Klingmüller, O., & Bobbe, A., 2010: Quality assurance of a secant pile wall using three different non-destructive test methods. Proceedings of ISSMGE “Geotechnical Challenges in Megacities”, Moskau.
- [5] Niederleithinger, E., Hübner, M., Amir, J., & Müller, H., 2010: Qualitätssicherung von Pfahlwänden mit der Ultraschallmethode - eine Machbarkeitsstudie. Bauwerksdiagnose 2010, Berlin. <http://www.ndt.net/article/bau-zfp2010/papers/p13.pdf>.
- [6] ASTM D6760 - 08 Standard Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing
- [7] NF P94-160-1 Octobre 2000: Sols : reconnaissance et essais - Auscultation d'un élément de fondation - Partie 1 : méthode par transparence (French CSL standard).