

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Saathoff, Joachim; Kauther, Regina; Müller, Helmut; Herten, Markus Innovatives Bauverfahren die neue Schleuse Dörverden als Bohrpfahlwandschleuse

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100839>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Saathoff, Joachim; Kauther, Regina; Müller, Helmut; Herten, Markus (2012): Innovatives Bauverfahren die neue Schleuse Dörverden als Bohrpfahlwandschleuse. In: 32. Baugrundtagung, 26.-29. September 2012, Mainz. Hildesheim: Wecom. S. 125-133.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Innovatives Bauverfahren – die neue Schleuse Dörverden als Bohrfahlwandschleuse

Dipl.-Ing. Joachim Saathoff, Neubauamt für den Ausbau des MLK, Hannover
Dipl.-Ing. Regina Kauther, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
Dipl.-Ing. (FH) Hilmar Müller, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
Dr.-Ing. Markus Herten, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Die Weser wird von Minden nach Bremen für die moderne Güterschiffahrt ausgebaut. Hierfür ist an der Staustufe Dörverden der Bau einer neuen Schleuse erforderlich, die die bestehende Schleppzugschleuse ersetzt. Eine Besonderheit bei diesem Bauvorhaben ist die Konstruktion der Schleusenkammerwand, die als rückverankerte überschrittene Bohrfahlwand ausgeführt wird. In der Planungs- und Bauphase wurde deshalb besonderes Augenmerk auf die Qualitätssicherung bei der Herstellung der Bohrfähle gelegt.

1. Einleitung

Schiffschleusenanlagen an Bundeswasserstraßen werden in der Regel als Spundwandschleusen oder als Massivbau aus Stahlbeton ausgeführt. Beide Bauweisen haben sich bewährt. Erfahrungen mit alternativen Konstruktionen, wie die Verwendung von Schlitzwänden als Schleusenkammerwände liegen bisher nur bei der Rhein-Main-Donau AG vor. Hier wurden in den 70er Jahren beim Bau der Schleuse Regensburg Erfahrungen mit Schlitzwänden als Teil der Schleusenkammerwand bzw. als Uferwand gesammelt [1]. Aufgrund von Mängeln, insbesondere bei der Betonüberdeckung, mussten jedoch Teile der Schlitzwand im Kammerbereich als auch Großteile der Uferwände aufwendig saniert werden.

Das Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals in Hannover, beraten durch die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), hat sich erstmalig in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung bei der Staustufe Dörverden für den Bau einer Schleusenkammerwand in Form

einer rückverankerten Bohrfahlwand mit Vorsatzschale als eine sichere und wirtschaftliche Alternative entschieden.

Um die Befahrbarkeit der Mittelweser für Großmotorgüterschiffe mit einer Beladung von 1350 t und einer Abladetiefe von 2,5 m zu ermöglichen, wird die Mittelweser zwischen Weser-km 253 bis Weser-km 354 ausgebaut. 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 von 1938. Nach Prüfung des baulichen Zustands der Schleusen wurde entschieden, die Schleppzugschleuse durch einen Neubau in der Achse des Schleusenkanals zu ersetzen (Bild 1).



Bild 1: Bestehende und geplante Schleusen in Dörverden

2. Baugrundverhältnisse

Die Schleusenanlage Dörverden liegt im Flussgebiet der Weser. Die Lockergesteine des Quartärs bestehen aus fluviatilen holozänen schluffigen und sandigen Ablagerungen und liegen über pleistozänen Ablagerungen.

Zur Erkundung des Untergrundes im Bereich der Schleuse Dörverden wurden Rammkernbohrungen und Drucksondierungen durchgeführt. Zusätzlich wurden im Baufeld und in der Umgebung Grundwassermessstellen eingerichtet.

Im Baufeld stehen unter einer ca. 6,0 m mächtigen tonigen und schluffigen Auffüllungsschicht mit Sandzwischen-schichten zwei teilweise durch eine Zwischenschicht getrennte Sandschichten an. Die ca. 11 m mächtige obere Sandschicht besteht aus fein- bis mittelkiesigem Mittelsand in überwiegend mitteldichter Lagerung ($0,3 < D < 0,5$). In der unteren Sandschicht liegen enggestufte mittelsandige Feinsande in dichter Lagerung vor. In beiden Sandschichten gibt es bis zu mehreren Zentimeter dicke Kohleeeinlagerungen. Bei der bereichsweise vorhandenen bindigen Zwischenschicht handelt es sich um eine variable Mischung aus schluffigem Ton und kiesigem Sand mit eingelagerten Steinen. Die erbohrte Schichtdicke der Zwischenschicht beträgt bis 4,5 m. Ein schematisches Bodenprofil zeigt das Bild 2.

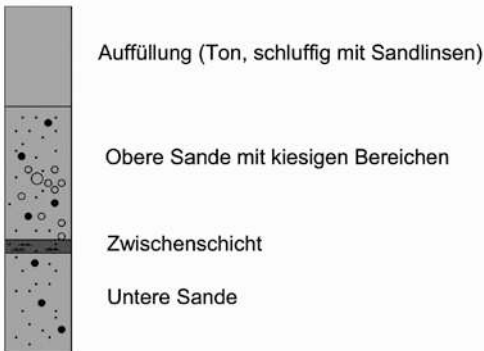


Bild 2: Schematisches Bodenprofil

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. Das Grundwasser wurde als nicht betonangreifend eingestuft.

3. Planung

Die neue Schleuse besteht aus der Schleusenammer, dem Oberhaupt und dem Unterhaupt sowie zwei symmetrischen Einfahrbereichen von jeweils 30 m Länge. Sie erhält eine Nutzlänge von 139 m bei einer

Gesamtlänge der Schleuse von 201 m. Der Drempel besitzt eine Tiefe von 4,0 m. Die zukünftige Schleusenammer ist 12,5 m breit. Die Hubhöhe beträgt bei Normalstau zwischen Ober- und Unterwasser 4,6 m. Als Nutzungsdauer sind 100 Jahre veranschlagt. Für die Schleusungsvorgänge sind wegen des ausreichenden Wasserdargebotes der Weser keine Sparbecken erforderlich. Eine Hochwasserabfuhr durch die Schleuse ist nicht vorgesehen.

Der Baugrubenverbau besteht mit Ausnahme der westlichen Baugrubenwand am Unterhaupt aus einer überschnittenen Bohrpfahlwand. Die Bohrpfähle besitzen eine Länge von ca. 20 m und haben einen Durchmesser von 1,2 m. Der Achsabstand zwischen zwei Pfählen beträgt 0,9 m. Zur Aufnahme der Kräfte aus dem Baugrund und dem Grundwasser wird die Bohrpfahlwand einfach rückverankert. Die Bemessung der Bohrpfähle als Baugrubenverbau erfolgte entsprechend den EAB [2]. Während die Bohrpfähle im Bereich der Schleusenhäupter nur temporären Charakter haben, stellt die Bohrpfahlwand im Kammerbereich auch das endgültige Tragsystem dar. Die dauerhaft verwendeten Bohrpfähle im Bereich der Kammer wurden für den Endzustand entsprechend den EAU [3] bemessen. Um die Forderung nach einer dauerhaft dichten und ebenen Kammerwand zu erfüllen, wird eine zweischalige Bauweise gewählt. Dazu wird vor der Bohrpfahlwand eine Stahlbetonvorsatzschale mit einer Dicke von 40 cm errichtet, die die Dichtigkeit der Schleusenammerwände gewährleistet. Vor der Herstellung der Vorsatzschale erfolgt die Herstellung einer ebenen Ausgleichsschicht aus Spritzbeton, die eine konstruktive Bewehrung aus Betonstahlmatten erhält. Durch die Ausgleichsschicht sollen auch Bauleranzen ausgeglichen werden. Die Vorsatzschale wird an die bewehrten Bohrpfähle (Sekundärpfähle) mit nachträglich eingebohrten Bewehrungsstahlankern angeschlossen. Die Bohrlöcher werden mit Injektionsmörtel verfüllt.

Die Schleusenausrüstungselemente, wie Nischenpoller und Leitern sind in Versatzbereichen angeordnet. Im Bereich der Nischenpoller wird die Anschlussbewehrung zur Aufnahme der Pollerzugkräfte erhöht. Diese Details wurden schon im Rahmen der Entwurfsplanung durch die Planungsgemeinschaft bestehend aus grbv, BGS Ingenieurgesellschaft und Frank Winter bis zur Ausführungsreife geplant und geprüft.

Zur Gewährleistung eines eindeutigen Lastabtrages und zur Vermeidung von Zwängungsbeanspruchungen wird zwischen Sohle und Vorsatzschale eine Pressfuge mit innen- und außenliegendem Fugenband angeordnet. Der rechnerische Nachweis der Vorsatzschale erfolgt unter Ansatz des vollen Spaltwasserdrucks als Platte. Es wurde ein Beton C 25/30 mit Luftporen und den Anforderungen aus den Expositionsklassen XC 4,

XF 3 und XM 1 verwendet. Der Bohrpfehlbeton wurde mit einer Festigkeitsklasse C 25/30 (Expositionsklasse XC2) ausgeführt und die Bewehrung besteht aus BST 500 S (B). Um der hohen Anforderung an die Dauerhaftigkeit gerecht zu werden, muss die planmäßige Betondeckung 8 cm betragen. Die Bewehrung wurde derart bemessen, dass der Verlust des Bewehrungsquerschnittes durch die Ankerbohrungen ausgeglichen werden kann.

Die Verankerung der Bohrpfehlwand erfolgt in jedem bewehrten Sekundärpfehl. Als Anker werden Rundstahlanker mit $\varnothing 4 \frac{1}{2}$ " und einer Stahlsorte S 355 ausgeführt. Die Anker tafeln bestehen aus Stahlbeton. Sie sind 3,5 m hoch, 1,5 m breit und 0,5 m dick. Diese werden zusammen mit den Ankerstäben hinter der Bohrpfehlwand eingebaut. Da es erforderlich ist, die Kammer für den Bau der Vorsatzschale und für Revisionszwecke trocken zu legen, muss die Kammer dicht und auftriebssicher hergestellt werden. Für die Schleusensole ist daher eine mit Mikropfehlen nach DIN EN 14199 (Verpresspfehle mit kleinem Durchmesser nach DIN 4128) rückverankerte Unterwasserbetonsole notwendig [4]. Die Unterwasserbetonsole wird zur Gewährleistung der Dauerhaftigkeit mit einer aufgesetzten, konstruktiven Stahlbetonsole verstärkt. Die freie Wandhöhe bis zur Schleusenplanie beträgt 11,5 m.

Die Schleusenhäupter werden in Massivbauweise erstellt. Das Oberhaupt erhält ein Drehsegmenttor mit Füllmuschel, das Unterhaupt wird mit einem Stemmtor ausgerüstet. Die Entleerung der Kammer erfolgt über Umläufe, die seitlich vom Untertor durch das Unterhaupt führen. Ein Querschnitt durch die zukünftige Schleusenkammer ist in Bild 3 dargestellt.

Das Trag- und Verformungsverhalten sowie die Steifigkeit der Bohrpfehlwand im Kammerbereich unterscheiden sich grundsätzlich von dem der flach gegrün-

deten Häupter. Während der horizontale Lastabtrag in der Kammer über Rückverankerungen in Form von Ankerplatten und der Sohle erfolgt, nehmen die Häupter die Beanspruchung allein über den U-Rahmen auf. Deshalb wird eine klare Trennung der einzelnen Bauteile durch Raumbefugen vorgesehen.

Für die Herstellung der Vorsatzschale sind schon kleinste Undichtigkeiten der Bohrpfehlwand ungünstig. Daher sollte bei der Planung festgelegt werden, ob diese mittels Injektionen temporär abgedichtet werden oder auf die Bohrpfehloberfläche in den betroffenen Bereichen eine Drainage eingebaut wird, die beim Betonieren das zutretende Wasser schadlos abführt. Die Drainage muss dann nach der Fertigstellung verfüllt werden.

4. Ausführung

Bohrpfehlherstellung

Auftragnehmer der Baumaßnahme ist die ARGE Neubau Schleuse Dörverden bestehend aus den Bauunternehmen Wiebe/Matthäi/Bögl. Die Herstellung der Bohrpfehlwände erfolgte durch die Fa. Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG. Der Massivbau wurde durch die Fa. H. F. Wiebe GmbH & Co. KG ausgeführt.

Für die Herstellung der Bohrpfehle wurden die Großbohrgeräte BG36 und LH36 eingesetzt. Um erste Erfahrungen mit den anstehenden Baugrundverhältnissen zu sammeln, wurde mit dem Bau der temporären Bohrpfehlwand im Bereich des Oberhauptes begonnen. Erkenntnisse hier sind bei der Herstellung der dauerhaften Bohrpfehlwand der Kammer eingeflossen und halfen bei der Optimierung des Herstellungsvorganges.

Die Bohrungen für die einzelnen Bohrpfehle wurden mit vorausseilender Verrohrung und unter Verwendung

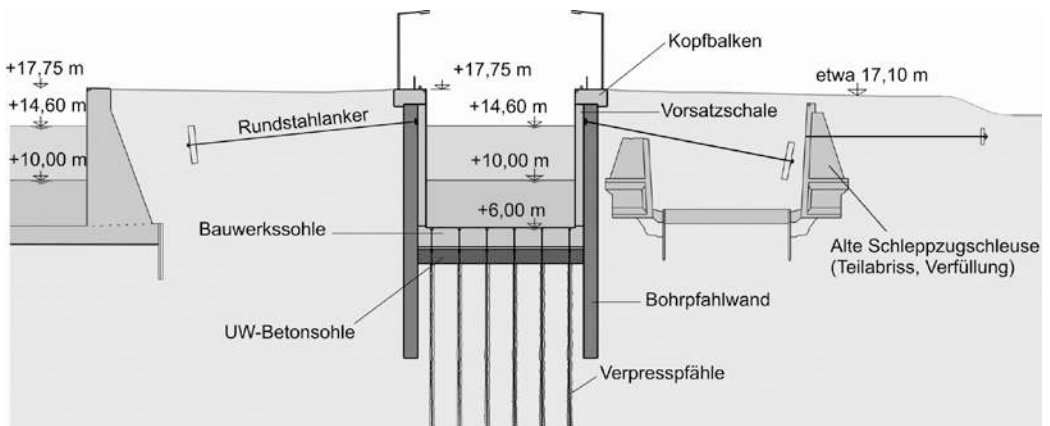


Bild 3: Querschnitt durch die Schleusenammer

eines Bohreimers unter Wasserauflast hergestellt. Wichtig bei dem diskontinuierlichen Aushub mit Bohreimer war die Begrenzung der Ziehgeschwindigkeit. Damit wird ein Kolbeneffekt vermieden, der zu einem hydraulischen Grundbruch am Schneidschuh und zur Beeinflussung des benachbarten Baugrunds führen kann. Nach der Abteufung der Bohrung auf die Endtiefe wurde die Bohrlochsohle mit einem Bohreimer mit Räumlerleiste gereinigt. In die Sekundärpfähle wurde der vorgefertigte Bewehrungskorb eingestellt. Die Bewehrung besteht aus zwei Bewehrungslagen mit $\varnothing 28$ mm, Wendelbewehrung und Aussteifungsringen. Die Abstandshalter wurden durch Bewehrungsbügel gebildet, die beim Ablassen in das Bohrrohr händisch gerichtet wurden. Der Beton wurde im Kontraktorverfahren eingebracht. Anfänglich wurde für die Herstellung der Sekundärpfähle ein Abstand von ca. 3 Tagen nach der Betonage der Primärpfähle angestrebt. Später wurden bauablaufbedingt auch Bohrpfähle mit einem zeitlichen Abstand von einer Woche hergestellt. Der Vergleich ergab im Bereich des höheren Anschnittalters einen wesentlich besseren Verbund. Für die folgenden Bohrpfähle der Kammer wurde deshalb ein anzustrebender Anschnittzeitpunkt von ca. einer Woche festgelegt. Da erfahrungsgemäß der Beton beim Einbringen im Kontraktorverfahren im Kopfbereich von minderer Qualität ist, muss in einem ausreichendem Maß überbetoniert werden.

Verankerungen und Betonsohle

Nach der Fertigstellung der Bohrpfahlwand wurde die Baugrube ausgehoben. Zuerst wurde der Aushub bis auf Höhe der Ankerlage getätigt. Nach erfolgter Verankerung und Teilhinterfüllung der Bohrpfahlwand wurde die Kammer weiter ausgehoben. Von einem schwimmenden Ponton aus wurden die Mikropfähle unter Wasser eingebaut und der Aushub bis zum Sohlniveau fertiggestellt. Die Unterwasserbetonsohle wurde mit einer Betonpumpe im Kontraktorverfahren hergestellt. Nach dem Erreichen der notwendigen Betondruckfestigkeit wurde die Baugrube gelenzt. Das Bild 4 zeigt einen Blick auf das Baufeld mit der teilweise gelenzten Hauptbaugrube.

Ausgleichsschicht

Die Bohrpfahlwand musste vor den weiteren Arbeiten von lose anhaftenden Bodenmaterialien und minderfesten Bereichen befreit werden. Dazu wurde Bohrpfahloberfläche mit Wasserhochdruck gereinigt. Diese Arbeiten ergaben einen tragfähigen und gleichmäßigen Untergrund. Vereinzelt mussten in das Profil der Vorsatzschale hineinragende Überstände aus Beton abgetragen werden.



Bild 4: Luftbild vom Baufeld

Die Zwickel der vorbereiteten Bohrpfahlwand wurden mit Spritzbeton aufgefüllt, womit auch die größeren Herstellungstoleranzen der Bohrpfahlwand gegenüber den kleineren Toleranzen im Massivbau ausgeglichen werden konnten. Kleinere Mängel wurden ebenfalls im Rahmen des Spritzbetonauftrages instand gesetzt. Leckagen in den Zwickeln der Bohrpfahlwand wurden mit Drainagen gefasst und das Wasser abgeleitet. Der Spritzbeton wurde durch konstruktive Mattenbewehrung, die an die Bohrpfähle gedübelt wurde, gehalten.

Vorsatzschale

Durch die annähernd ebene Spritzbetonoberfläche konnte eine Vorsatzschale mit Ausnahme der Bereiche mit Einbauteilen in einer einheitlichen Dicke von 40 cm hergestellt werden (s. Bild 5). Die Stabanker für die Verankerung der Vorsatzschale bestehen aus Bewehrungsstahl ohne weiteren Korrosionsschutz. Die Löcher für die Verankerungsseisen wurden mit handgeführten Bohrmaschinen gebohrt. Durch den hohen Bewehrungsgehalt der Sekundärpfähle waren teilweise mehrere Bohransätze notwendig, um die dichte Bewehrung der Bohrpfähle zu durchdringen und die Bohrlöcher auf die erforderliche Einbindetiefe zu bringen. Hier besteht zukünftig noch Optimierungsbedarf.



Bild 5: Schleusenammerwand

Die Bewehrung der Vorsatzschale wurde an die eingebauten Anker angeschlossen und ausgerichtet. Die Vorsatzschale wurde ohne horizontale Arbeitsfugen auf ganzer Kammerwandhöhe betoniert. Für diese besondere Betoniersituation sind weitere Regelungen in Ergänzung zur ZTV-W LB 215 notwendig. Da die Dicke der Vorsatzschale mit 40 cm keine Einordnung in die Richtlinie massive Bauteile zulässt ($d > 0,80$ m), sind hier keine direkten Regelungen zur Begrenzung des frühen Zwangs aus Hydrationswärmeentwicklung vorgegeben. In der Ausschreibung wurde deshalb alternativ eine langsame Festigkeitsentwicklung gefordert. Zukünftig könnten auch sinn gemäß die Anforderungen der ZTV-W LB 219 an Betonvorsatzschalen übernommen werden.

Die Dichtigkeit zur Sohle wurde über eine Pressfuge mit zwei Dichtungslinien erreicht. Es wurde mittig ein Fugenband FMS400 und zum Spritzbeton hin vor der Bohrpfahlwand ein Fugenband AM500 eingebaut. In den Bewegungsfugen zu den Häuptionen wurden die Fugenbänder FMS400 bzw. FMS500 verwendet.

5. Qualitätssicherung

Eigen- und Fremdüberwachung

Vor dem Hintergrund einer im Wasserbau angestrebten Nutzungsdauer der Massivbauteile von 100 Jahren und Schwierigkeiten bei der Herstellung von Bohrpfählen in der jüngsten Vergangenheit sollte die Qualität der Bohrpfähle während und nach der Herstellung systematisch kontrolliert werden [5]. Dazu beauftragte die BAW das Ingenieurbüro Brameshuber + Uebachs Ingenieure (BUI) im Rahmen einer Studie mit der Ausarbeitung eines Qualitätssicherungskonzeptes und eines Qualitätssicherungsplans für die Bohrpfahlarbeiten. Dabei wurde sowohl die technische Durchführbarkeit der Maßnahmen auf der Baustelle als auch die vertragliche Situation betrachtet. Weiter war bei den Maßnahmen zwischen dem Bohrpfahl und dem System, d.h. der Bohrpfahlwand (Fugen, Übergangsbereiche) zu differenzieren. Von BUI wurden folgende Elemente der Eigenüberwachung empfohlen:

- Qualitätssicherung Baustoff Beton
 - Entwicklung Betonrezeptur
 - Frischbetoneigenschaften inkl. Erstprüfung
 - Überwachung gemäß DIN Fachbericht 129
 - Erstprüfung unter Produktionsbedingungen
 - Erhärtungsverlauf
 - Bohrkernentnahme
- Überprüfung und Sicherstellung der Lagegenauigkeit
 - Überprüfung Achsabstand
 - Einmessen und Sicherstellung Lagegenauigkeit Bohrschablone
- Überprüfung und Sicherstellung der geometrischen Anforderungen (Winkelabweichung)
- Ziehgeschwindigkeit

- Abnahme Bewehrungskörbe
- Gründungsabnahme
- Dokumentation von Bohrung und Betonage
 - QS-Plan und Arbeitsanweisung für Pfahlherstellung
 - Überprüfung der eingebauten Bewehrung (Lage und Betondeckung)
 - Kontrolle der Lieferscheine
 - Vergleich Soll-/Ist-Verbrauch
- Integritätsprüfungen

Einige Elemente aus der Eigenüberwachung wurden auch als Kontrollprüfungen ausgeführt. Diese wurden zusätzlich zur Bauüberwachung vom NBA Hannover bzw. der damit betrauten Ingenieurgesellschaft Inros & Lackner AG durchgeführt.

Die Erstprüfung des Betons wurde durch die BAW und dem für die Kontrollprüfungen beauftragten Institut für Qualitätssicherung, Stoffprüfung und Instandsetzungstechnik GmbH (QSI) aus Hamburg begleitet. Stichprobenartig wurden folgende Beprobungen und Prüfungen während der laufenden Bohrpfahlherstellung durchgeführt:

- Kennwerte Ausgangsstoffe (Gesteinskörnung, Zement, Zugabewasser, Zusatzmittel, Zusatzstoffe)
- Frischbetonkennwerte
- Festbetonkennwerte an gesondert hergestellten Probekörpern
- Werksaudit Mischwerk bzw. Ersatzmischwerk (Lagerung Ausgangsstoffe, Dosierung, Mischer, Verladung, Lieferscheine, Überwachung, Dokumentation, Maßnahmen bei heißer und kalter Witterung)
- Kontrolle Baustellenhandling (Betonannahme, Lieferschein, Annahmeprüfung, Einbau,...)

Die Kontrollen erfolgten unangekündigt und unregelmäßig. Dabei wurde die gesamte Herstellungskette ganzheitlich von den Ausgangsstoffen bis zum Einbau betrachtet.

Modifizierte Crossshole-Messungen

Weitere Untersuchungen zur Beurteilung der Qualität der Bohrpfahlwand wurden mithilfe von zerstörungsfreien Prüfverfahren in Zusammenarbeit mit der Gesellschaft für Geophysikalische Untersuchungen mbH aus Karlsruhe und der Arbeitsgruppe „Verfahren aus Geophysik, Geotechnik und Spektroskopie“ der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung aus Berlin (BAM) durchgeführt.

Crossshole-Messungen (Ultraschallmessung) an Bohrpfählen sind nach EAP [6] eine anerkannte Methode, um die Qualität von Bohrpfählen zu beurteilen. In Abhängigkeit des Pfahldurchmessers werden mehrere Leerrohre am Bewehrungskorb befestigt und mit einbetoniert. Nach dem Aushärten des Betons können die eigentlichen Messungen durchgeführt werden. Dazu wird mit einem Sender in einem der Rohre ein Ultraschallsignal ausgesendet, welches von dem

Empfänger in einem anderen Rohr empfangen wird. Über die Laufzeit und die empfangene Signalstärke kann auf die Qualität des auf der Durchschallungsstrecke liegenden Betons geschlossen werden. Durch die Messung verschiedener Rohrkombinationen und Höhenlagen können mögliche Fehlstellen, wie zum Beispiel Kiesnester, detektiert und eingegrenzt werden. Ebenso sind Bruchbereiche und Veränderungen der Betonqualität erkennbar.

Beim üblichen Crosshole-Verfahren wird die Qualität des einzelnen Pfahls untersucht, wobei lediglich Sekundärpfähle betrachtet werden können. Für die Beurteilung der Qualität der Bohrpfähle in Dörverden wurde das Crosshole-Verfahren modifiziert [5]. Dabei wurde die Durchschallung nicht nur innerhalb des bewehrten Sekundärpfahls, sondern auch über den unbewehrten und überschnittenen Primärpfahl hinweg bis zum nächsten Sekundärpfahl durchgeführt. Das Bild 6 zeigt die Anordnung der Leerrohre in den Pfählen und einige Durchschallungsstrecken. Ziel war es, die Qualität im Primärpfahl und insbesondere die Qualität der Fugen im Überschnittbereich zu beurteilen. Der Nachteil bei diesem Prüfverfahren ist, dass nur Aussagen darüber möglich sind, ob Auffälligkeiten im Durchschallungsbereich vorhanden sind oder nicht. Die genaue Lage in Bezug auf die Schallachse kann nicht detektiert werden. Die Anzahl der möglichen Messkombinationen ist eingeschränkt.

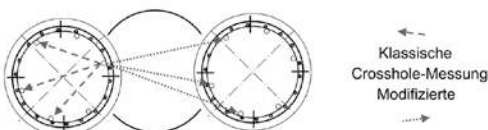


Bild 6: Prinzip der Crosshole-Messung

Da bisher kaum Erfahrungen mit dem modifizierten Verfahren vorlagen, wurden Voruntersuchungen an einer Bohrpfahlprüfwand mit eingebauten Fehlstellen der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) mit positivem Ergebnis ausgeführt. Zur Überprüfung der Messergebnisse für die Bohrpfähle in Dörverden wurde bei einem Primärpfahl beidseitig der Überschnittbereich angebohrt. Die Bohrkern ergaben eine gute Übereinstimmung mit der Messauswertung. Die Aussagen der Crosshole-Messungen konnten an den Bohrkernen weitestgehend bestätigt werden.

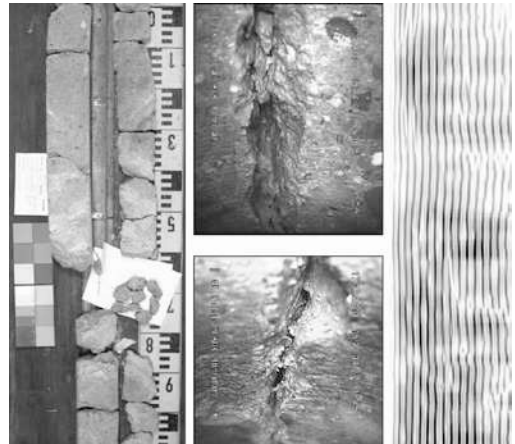


Bild 7: Bohrkern- und Bohrlochfoto und Sonogramm im Bereich einer Fuge

In Bild 7 ist der Bereich einer Überschnittfuge dargestellt. Rechts ist das Durchschallungssonogramm, links der Bohrkern und in der Mitte Bohrlochbilder aus den Überschnittbereichen abgebildet.

Betondeckung und Lage der Bewehrung

Die Ortung mit klassischen Bewehrungssuchgeräten scheiterte an der großen Betondeckung und der rauen Bohrpfahloberfläche. Allerdings konnte die Betondeckung systematisch in den Bohrlöchern für die Verankerung der Bohrpfähle bestimmt werden. Zusätzlich konnten auch die aufgegebenen Bohrlöcher für die Verankerung der Vorsatzschale mit zur Bestimmung der Betondeckung herangezogen werden.

Wasserzutritt und Dichtheit

Die Dichtheit der Bohrpfahlwand wurde nach dem Lenzen über die Pumpleistung wie auch visuell an der freigelegten Bohrpfahlwand überprüft. Durch die Fassung der Wasserzutritte mit Drainagen konnte auch lokal das zutretende Wasservolumen bestimmt werden.

6. Messtechnische Überwachung

Zur Überwachung der Baumaßnahme wurden fünf Messquerschnitte eingerichtet. Der Messquerschnitt MQ1 befindet sich im Bereich des zukünftigen Oberbaus, der Messquerschnitt MQ5 am Unterhaupt. Die Messquerschnitte MQ2 bis MQ4 wurden über die Längsabwicklung der Schleusenkammer verteilt. Zwei weitere Messquerschnitte (MQ6 und MQ7) wurden parallel zur Achse der bestehenden kleinen Schleuse installiert. Es wurden folgende Messverfahren eingesetzt:

- geodätische Messungen zur Bestimmung der horizontalen und vertikalen Verformungen der Baugrubenumschließung
- Messung der Steifenkräfte mit Steifenkraftmessdosen
- Messung der Ankerkräfte mit Ankerkraftmessdosen

- Inklinometer zur Messung der Verformung der Baugrubenwände
- Mehrfachvertikalextensometer (6-fach) zur Messung der Sohlhebungen bzw. Sohlsetzungen in der Mitte der Baugrube
- Einfache und doppelstöckige Grundwassermessstellen zur Ermittlung der geohydraulischen Randbedingungen in und in der unmittelbaren Umgebung der Baugrube

Die Messwerterfassung ist teilweise automatisiert, teilweise wird händisch abgelesen. In einer vor Beginn der Baumaßnahme erarbeiteten geotechnischen und geodätischen Leistungsübersicht werden zu jeder Messung die Prognosewerte, Grenzwerte, Reaktionswerte, die Qualität der Zielgröße, die Messintervalle sowie Art und Umfang der Ergebnisdokumentation vorgegeben. Alle Messwerte werden fortlaufend auf einer Datenplattform im Internet veröffentlicht. Bei der Auswertung werden Zusammenhänge zwischen den mit verschiedenen Verfahren ermittelten Messwerten für Plausibilitätskontrollen verwendet. In Bild 8 ist die messtechnische Ausstattung der Messquerschnitte MQ2 und MQ3 als Beispiel dargestellt.

Im Sinne der Beobachtungsmethode nach DIN 1054:2005-01 besteht eine sinnvolle Ergänzung zu der messtechnischen Begleitung einer Baumaßnahme in Finite-Element (FE)-Berechnungen. Werden während der Baumaßnahme Reaktionswerte oder sogar Alarmwerte erreicht, können diese auf der Grundlage der FE-Berechnungen interpretiert werden.

Da hierbei der Ausgangsspannungszustand entscheidend sein kann, ist es auch unter diesem Aspekt wichtig, mit den Messungen frühzeitig, das heißt vor Baubeginn anzufangen. Für die Schleuse Dörverden wurden FE-Modelle für die Messquerschnitte MQ1, MQ2 und MQ5 erstellt. Die Berechnungen erfolgten in einem ebenen Modell unter der Verwendung 15-knotiger Elemente. Für die FE-Berechnungen wurde das FE-Programm PLAXIS (Version 10) und das Stoffgesetz Hardening Soil verwendet. Die gewählten Stoffgesetzparameter wurden aus dem Baugrund- und Gründungsgutachten entnommen.

Um das nichtlineare Bodenverhalten zu berücksichtigen, wurden in den FE-Berechnungen eine Reihe von Lastzuständen simuliert, die den Spannungszustand im Baugrund vom Bau der Schleppzugschleuse an beeinflusst haben. Für die Abbildung der Herstellung der Baugrube für die neue Schleuse wurden die in Bild 10 aufgeführten Lastschritte abgebildet.

Für einen Vergleich zwischen Messung und Rechnung wurden für den Messquerschnitt MQ2 die mittels Inklinometer gemessenen horizontalen Verformungen der Bohrfahlfwand auf der Ost- bzw. auf der Westseite der Baugrube über die Tiefe dargestellt. Das Bild 9 zeigt die Verschiebungen in den Bauzuständen „nach der Herstellung der Mikropfähle“ und „nach dem Lenzen der Baugrube“.

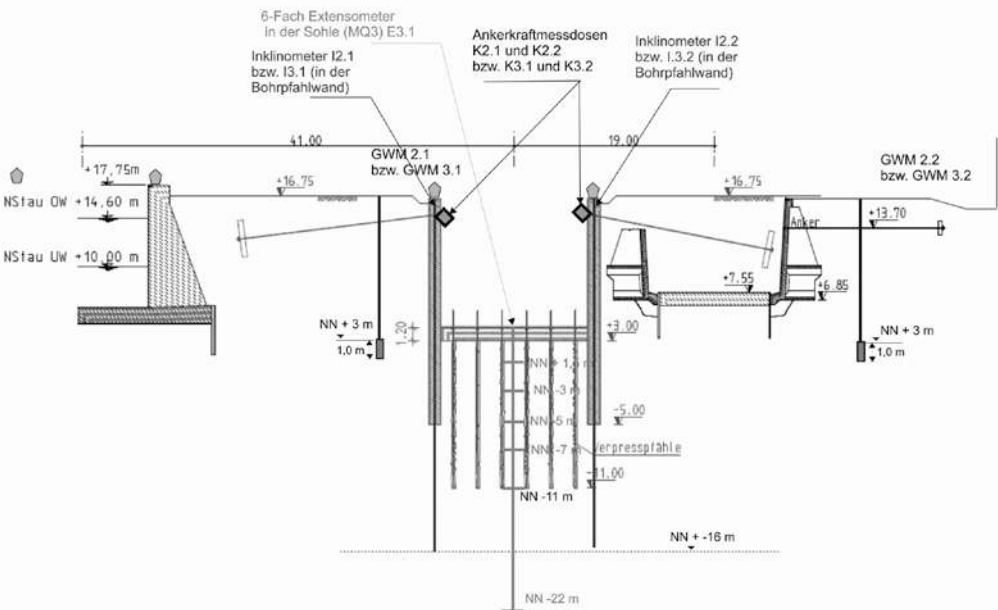


Bild 8: Instrumentierung des Messquerschnitts MQ2 und MQ3

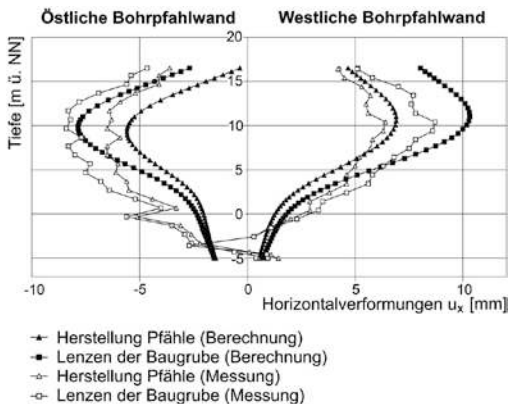


Bild 9: Verformungen der Bohrpfahlwände

Erwartungsgemäß wurden nach dem Lenzen der Baugrube die größten Verformungen mit ca. 6 mm am Kopf und ca. 8 mm im Feld gemessen. Der Vergleich mit den Berechnungen zeigt eine gute Übereinstimmung der Werte sowohl in ihrer Größenordnung als auch in deren Verlauf. Die gemessenen Werte sind vor allem für die östliche Bohrpfahlwand größer als die rechnerischen Werte. Ein Grund hierfür kann die Verwendung der „wished-in-place“-Methode sein, bei der der Herstellungsprozess für einzelne Teilkonstruktionen wie z.B. die der Sohlverankerungen nicht simuliert und dadurch auftretende Verformungen nicht berücksichtigt werden. Die Übereinstimmung zwischen Rechnung und Messung wurde hier jedoch für die Verwendung der Werte im Sinne der Beobachtungsmethode als ausreichend eingeschätzt. In Bild 10 wurden ebenfalls für den Messquerschnitt MQ2, die mit den Inklinometern gemessenen horizontalen Kopfverformungen der Bohrpfahlwände über die Bauzeit aufgetragen und den Ergebnissen der FE-Berechnung gegenüber gestellt.

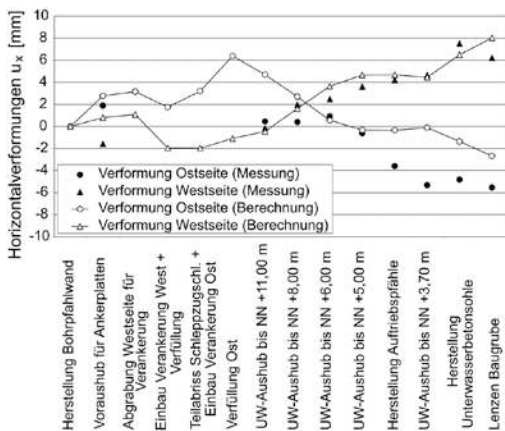


Bild 10: Kopfverformung der Bohrpfahlwände

Entscheidende Grundlage ist hierbei die kontinuierliche und detaillierte Dokumentation des Bauablaufs in einem Messbericht, damit die einzelnen Arbeiten auf der Baustelle, die sich meistens über einen kürzeren oder längeren Zeitraum erstrecken oder sich auch mit anderen Arbeiten überschneiden, Rechenschritten zugeordnet werden können. Der Vergleich zwischen Messung und Rechnung zeigt auch hier, dass die Bauwerk-Baugrund-Interaktion gut erfasst werden kann. Alle gemessenen Verformungen liegen im Übrigen deutlich unterhalb der im Rahmen des Gründungsgutachtens ermittelten Prognosewerte. Eine weitere Auswertung erfolgte durch den Vergleich der gemessenen und berechneten Ankerkräfte über die Bauzeit (Bild 11). Die Ankerkräfte auf der Ostseite der Baugrube zeigen sehr gute Übereinstimmungen auf. Auf der Westseite ergaben die Messungen zeitweise 25 % höhere Ankerkräfte.

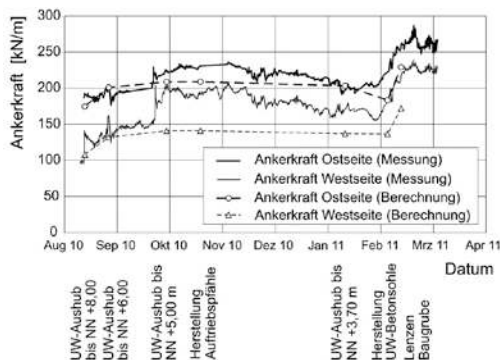


Bild 11: Vergleich der Ankerkräfte (MQ2)

Die mithilfe der Vertikalexstensometer bestimmten Hebungen der Baugrubensohle infolge des Lenzens der Baugrube (Wasserspiegeldifferenz: 9,6 m) betragen in diesem Messquerschnitt 14 mm. Die Messungen der Horizontalverformungen der Kammerwände der kleinen Schleuse zeigten während des Aushubs der Baugrube maximale Horizontalverformungen von bis zu 9 mm und Vertikalverformungen bis zu 8 mm. Die Kleine Schleuse hat damit die kritischen Bauzustände unbeschadet überstanden. Der Schiffsverkehr konnte wie geplant vollständig aufrechterhalten werden.

7. Abschlussbetrachtung

Mithilfe der für die Kammer der neuen Schleuse Dörverden angewandten innovativen Bauweise (Bohrpfahlwand in Verbindung mit einer Betonvorsatzschale) wurden die erforderlichen Stahlmengen gegenüber einer Spundwandschleuse reduziert. Durch die Vorsatzschale konnten die systembedingt größeren Herstellungstoleranzen der Bohrpfahlwand ausgeglichen und die bei massiven Verkehrswasserbauwerken üblichen Eigenschaften erreicht werden. Die im Vergleich zu einer Spundwandschleuse erwarteten

günstigeren Eigenschaften bezüglich des Betriebs und der Dauerhaftigkeit gilt es noch zu bestätigen. Die Qualitätssicherung bei Bohrpfahlwänden sollte baubegleitend durchgeführt werden. Insbesondere können Prüfungen kurz nach der Bohrpfahlherstellung helfen, mögliche Herstellungsmängel aufzuzeigen und das Herstellungsverfahren zu optimieren. Damit können zeit- und kostenintensive Nachbesserungsarbeiten minimiert werden. Die Überprüfung der Qualität von Fugen mithilfe der modifizierten Crossholemessungen stellt dabei eine vielversprechende Methode dar.

Quellennachweis

- [1] Feile, W. (1975): *Konstruktion und Bau der Schleuse Regensburg mit Hilfe von Schlitzwänden*, *Der Bauingenieur* 50, S. 168-173, Springer-Verlag
- [2] DGGT: *Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben EAB 2006*
- [3] DGGT: *Empfehlungen des Arbeitskreises „Ufer-einfassungen“ EAU 2004*
- [4] Herten, M., et. al.: *Instrumentierte Zugversuche an Auftriebspfählen und deren numerische Auswertung – In: Pfahl-Symposium 2009, Mitteilungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik Technische Universität Braunschweig, Heft Nr. 88*
- [5] Kauther, R.; Müller, H.: *Qualitätskontrollen bei überschnittenen Bohrpfahlwänden an der Schleuse Dörverden, BAVV-Kolloquium „Tiefe Baugruben an Bundeswasserstraßen“, 22. Juni 2010*
- [6] DGGT: *Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Pfähle“ EAP 2012*