

Bohrpfahlwände als Baugrubenverbau und Kammerwandbauteil der neuen Schleuse Dörverden

In Dörverden musste die Schleppzugschleuse wegen zahlreicher Schäden durch einen Schleusenneubau ersetzt werden. In der Planungsphase wurden verschiedene Ausführungsvarianten unter wirtschaftlichen, technischen und betrieblichen Aspekten betrachtet. Nach intensiver Abwägung entschied sich die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) für eine neuartige Bauweise: Die Baugrubenumschließung, bestehend aus einer überschnittenen und rückverankerten Bohrpfahlwand, wurde als statisch tragendes Element in das Schleusenbauwerk integriert. Um die üblichen Anforderungen wie Ebenheit und dauerhafte Dichtigkeit an die Kammerwandoberfläche zu erfüllen, wurde die Bohrpfahlwand mit einer Betonvorsatzschale kombiniert, die wiederum in die Bohrpfahlwand rückverankert wurde. Die Bauausführung erfolgte unter erhöhten Anforderungen an die Herstellungsqualität. Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) hat die Bauausführung begleitet. Neben den üblichen Prüfungen wurden an ausgewählten Bohrpfahlgruppen zusätzlich modifizierte Crosshole-Messungen veranlasst. Mit dieser Messmethode konnten neben den Sekundärpfählen auch die Primärpfähle sowie die Überschnittbereiche zerstörungsfrei geprüft werden. Der Inhalt dieses Beitrags ist in Teilen aus SAATHOFF et al. [1] entnommen.

1 Einleitung

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 von Weser-km 253 bis Weser-km 354 ausgebaut. Diese Ausbaumaßnahmen schließen auch die in diesem Streckenabschnitt liegende Schleusenanlage in Dörverden ein. Die Schleusenanlage Dörverden bestand bislang aus der im Jahre 1910 erbauten und im Jahre 1912 in Betrieb genommenen „Große Schleppzugschleuse“ und einer zusätzlichen „Kleine Schleuse“ aus dem Jahr 1938.

Untersuchungen der BAW in den 1990er Jahren an der Großen Schleppzugschleuse zeigten zahlreiche, rasch fortschreitende Schäden auf. Insbesondere an der gepflasterten Sohle fanden sich Auflösungserscheinungen, die die Standsicherheit der Kammerwände beeinträchtigten. Mit einer Instandsetzung hätte die Standsicherheit der Schleuse zwar wiederhergestellt werden können, der Engpass der begrenzten Abladetiefe für die Schifffahrt aufgrund der baulichen Randbedingungen der Schleuse wäre aber bestehen geblieben. Daher entschied sich die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, die Große Schlepp-

Dual use of a secant bored pile wall at the new lock of Dörverden: construction pit lining and chamber wall

In Dörverden an old damaged lock needed to be replaced by a newly constructed lock. In the design phase various construction concepts were examined regarding economic, technical and practical aspects. After thorough consideration the Federal Waterway Administration decided in favour of an innovative construction concept: The construction pit lining consisting of a back-tied secant bored pile wall was fully integrated into the chamber wall as a permanent load-bearing element. The water-facing part of the chamber wall was designed as a concrete shell. The concrete shell was affixed to the pile wall by bolts and is intended to secure essential practical properties and durability of the construction.

During the construction phase enhanced requirements concerning quality standards were demanded. The Federal Waterways Engineering and Research Institute (Bundesanstalt für Wasserbau – BAW) ensured continued and coordinated implementation of these requirements. Additionally to routine tests modified cross-hole measurements were performed at the bored pile wall. These non-destructive measurements allowed to examine the quality of the primary as well as the secondary piles and in the region between two joining piles. The content of the paper is partly taken from SAATHOFF et al. [1].

zugschleuse durch einen Neubau in der Achse des Schleusenkanals zu ersetzen (Bild 1).

Schiffsschleusen an Bundeswasserstraßen werden in der Regel als Massivbau vollständig aus Stahlbeton oder als Kombination von Schleusenkammern mit Stahlspundwänden und Häuptern in Massivbauweise ausgeführt. Für die Errichtung der Massivbauteile ist die Herstellung einer geeigneten Baugrube erforderlich. Bei anstehendem Grundwasser und durchlässigem Boden wird im Verkehrswasserbau die Baugrube meistens mit einer dichten Bohrpfahlwand oder mit Spundwänden eingefasst [2]. Bei der Herstellung der Schleusenbauwerke in Massivbauweise verlieren diese Baugrubeneinfassungen nach der Fertigstellung ihre Funktion. Insbesondere die Bohrpfähle verbleiben als verlorenes Bauteil im Boden.

2 Planung des Neubaus

Das Neubauamt (NBA) für den Ausbau des Mittellandkanals in Hannover beauftragte die Planungsgemeinschaft, bestehend aus grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG, BGS Ingenieurgesellschaft und Frank Winter, für

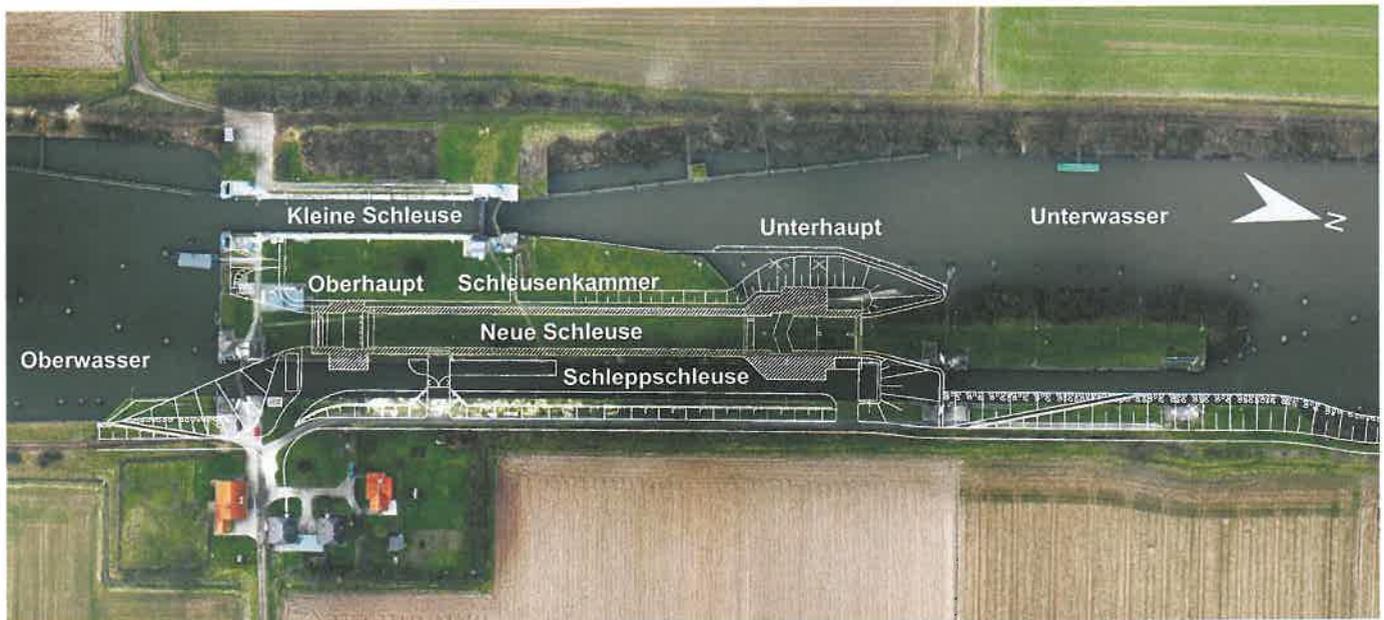


Bild 1 Luftbild der bestehenden und der geplanten Schleusen in Dörverden
Aerial view of existing and planned locks in Dörverden

die Schleuse Dörverden mit der Entwurfsplanung. Die Bundesanstalt für Wasserbau erstellte den Geotechnischen Bericht und war beratend für das NBA tätig. Zu Beginn der Entwurfsplanung hat die Planungsgemeinschaft eine umfangreiche Variantenuntersuchung hinsichtlich der Konstruktionsweise der Schleusen-kammer durchgeführt. Es wurden eine Rahmenkonstruktion in Massivbauweise und eine verankerte Unterwasserbetonsole kombiniert mit einer verankerten Spundwand oder mit einer Bohrpfahlwand inklusive Vorsatzschale untersucht. Aufgrund der unter den örtlichen Randbedingungen zu erwartenden Vorteile bei den Kosten und der Dauerhaftigkeit hat sich das NBA erstmalig in der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung für den Bau einer Schleusen-kammerwand in Form einer rückverankerten Bohrpfahlwand entschieden.

In diesem Fall bildet die Baugrubeneinfassung aus überschrittenen Bohrpfählen gleichzeitig das dauerhafte Tragelement für die Schleusen-kammerwand. Die Kammerwandoberfläche besteht aus einer Betonvorsatzschale, die die Dauerhaftigkeit der Oberflächen sicherstellt und den Anforderungen des Schleusenbetriebes gerecht wird. Im Verkehrswasserbau in Deutschland wurde mit dieser Konstruktionsweise für Schleusen-kammern Neuland betreten. Um die Ausführbarkeit sicherzustellen, wurden relevante Details der Vorsatzschale schon in der Entwurfsphase bis zur Ausführungsreife durchgeplant.

3 Neue Schleuse Dörverden

Die neue Schleuse hat eine Nutzlänge von 139 m bei einer Gesamtlänge der Schleuse von 201 m. Die Schleusen-kammer ist 12,5 m breit. Die Hubhöhe beträgt bei Normalstau zwischen Ober- und Unterwasser 4,6 m. Die freie Wandhöhe misst 11,5 m.

Die Baugrubeneinfassung wurde mit Ausnahme der westlichen Baugrubenwand am Unterhaupt mit einer überschrittenen Bohrpfahlwand ausgeführt. Die Bohrpfähle besitzen eine Länge von bis zu 20 m, einen Durchmesser von 1,2 m und einen Regelachsabstand von 0,9 m. Zur Aufnahme der Beanspruchungen aus dem Baugrund und dem Grundwasser wurde die Bohrpfahlwand mit einer einlagigen Ankerreihe zurückverankert. Während die Bohrpfähle im Bereich der Schleusen-häupter nur temporären Charakter haben, stellt die Bohrpfahlwand im Kammerbereich auch das endgültige Tragsystem dar. Um die Forderung nach einer möglichst dauerhaft dichten und ebenen Kammerwand zu erfüllen, wurde kammerseitig vor der Bohrpfahlwand eine Stahlbetonvorsatzschale mit einer Dicke von 40 cm ausgebildet. Der rechnerische Nachweis der Vorsatzschale erfolgt unter Ansatz des vollen Spaltwasserdrucks als Platte. Eine Spritzbetonschicht sorgte für den Ausgleich von Herstellungstoleranzen und Unebenheiten an der Bohrpfahlwand. Nachträglich in die bewehrten Sekundärfähle eingebaute Bewehrungsstahlanker verbinden die Vorsatzschale kraftschlüssig mit der Bohrpfahlwand.

Die Schleusenausrüstungselemente wie Nischenpoller und Leitern sind in Ausbuchtungen der Bohrpfahlwand angeordnet (Bild 2). Zur Gewährleistung eines eindeutigen Lastabtrages und zur Vermeidung von Zwängungsbeanspruchungen wurde zwischen Sohle und Vorsatzschale eine Pressfuge mit innen und außen liegendem Fugenband angeordnet.

Da es erforderlich ist, die Kammer für den Bau der Vorsatzschale und für Revisionszwecke trocken-zulegen, musste die Sohle dicht und auftriebssicher sein. Für die Bauzeit wurde daher eine mit Mikropfählen rückverankerte Unterwasserbetonsole hergestellt. Durch Probebelastungen im Vorfeld der Baumaßnahme konnten deren



Bild 2 Gelenzte Baugrube (Blick von der Kammer zum Oberhaupt)
Dewatered construction pit (view into the lock chamber toward the upper gate)

über die Sohle erfolgt, nehmen die Häupter die Beanspruchung allein über den U-Rahmen auf. Deshalb wurde eine klare Trennung der genannten Bauteile durch Raumfugen vorgesehen.

4 Baugrundverhältnisse und Grundwasserhaltung

Die Schleusenanlage Dörverden liegt im Flussgebiet der Weser. Die Lockergesteine des Quartärs bestehen hier aus fluviatilen holozänen schluffigen und sandigen Ablagerungen und liegen über pleistozänen Schichten. Die Erkundung des Untergrundes im Bereich der Schleuse erfolgte durch Rammkernbohrungen und Drucksondierungen. Zusätzlich wurden im Baufeld und in der Umgebung Grundwassermessstellen eingerichtet.

Im Schleusenbereich 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 mehrere Zentimeter dicke Kohleeinlagerungen. 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.

Aufgrund der Wasserspiegeldifferenz zwischen Oberwasser und Unterwasser tritt strömendes Grundwasser auf. Die Auswertung der Grundwassermessstellen zeigte, dass der Grundwasserstand über die gut durchlässigen Sedimente mit dem Unterwasserstand der Weser korreliert. Das Grundwasser wurde als „nicht betonangreifend“ eingestuft.

Anzahl und Länge optimiert werden [3]. Die Lasteinleitung der Einwirkung aus dem Auftrieb in die Verankerung erfolgt in der Bauzeit nur über Druckgewölbe im Beton und Kopfplatten an den Mikropfählen und im Endzustand über eine darüber liegende bewehrte Ortbetonsohle (Bild 3), die auch die Dauerhaftigkeit sicherstellt.

Die Schleusenhäupter wurden 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.

Das Trag- und Verformungsverhalten sowie die Steifigkeit der Bohrpfehlwand im Kammerbereich unterscheiden sich grundsätzlich von dem der flach gegründeten Häupter. Während der horizontale Lastabtrag in der Kammer über Rückverankerungen in Form von Ankerplatten und

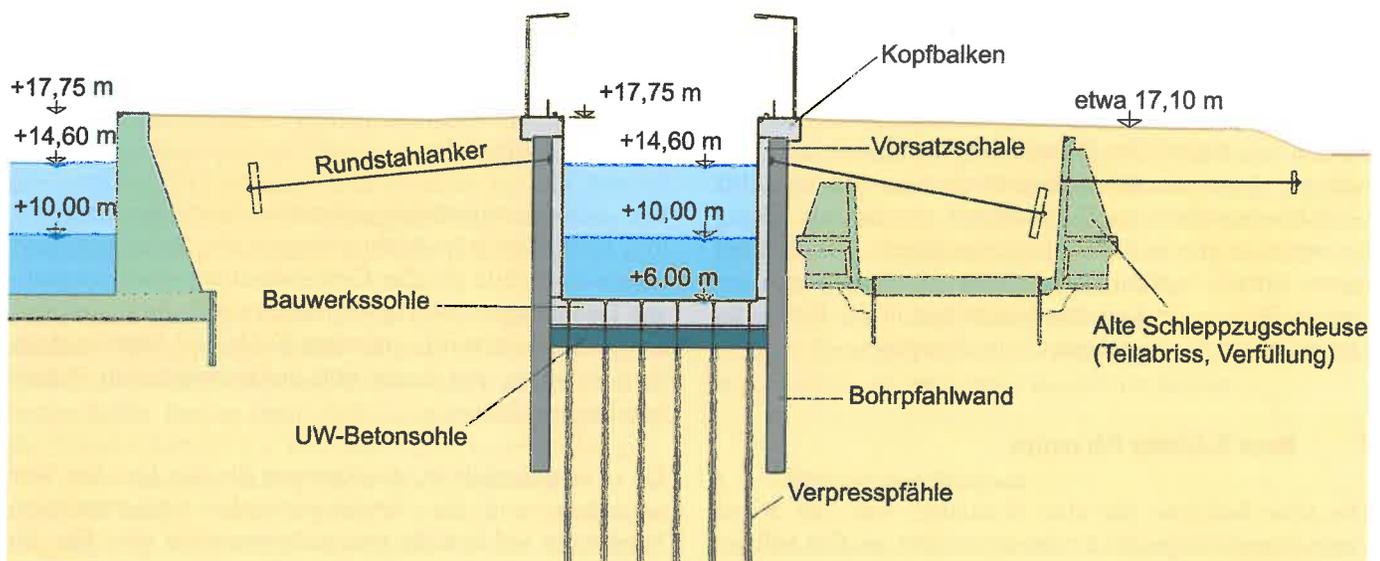


Bild 3 Querschnitt durch die Schleusen-kammer
Cross section of the lock chamber

Hauptsitz
Hannover

Expo Plaza 10
30539 Hannover
0511 98494-0
info@grbv.de



Niederlassung
Berlin

Mommstr. 25
10629 Berlin
030 32701-196
berlin@grbv.de

grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co. KG



© NBA Hannover

www.grbv.de



unabhängig beraten | innovativ planen | nachhaltig gestalten



© NBA Hannover

Unser Leistungsspektrum im
Verkehrswasserbau:

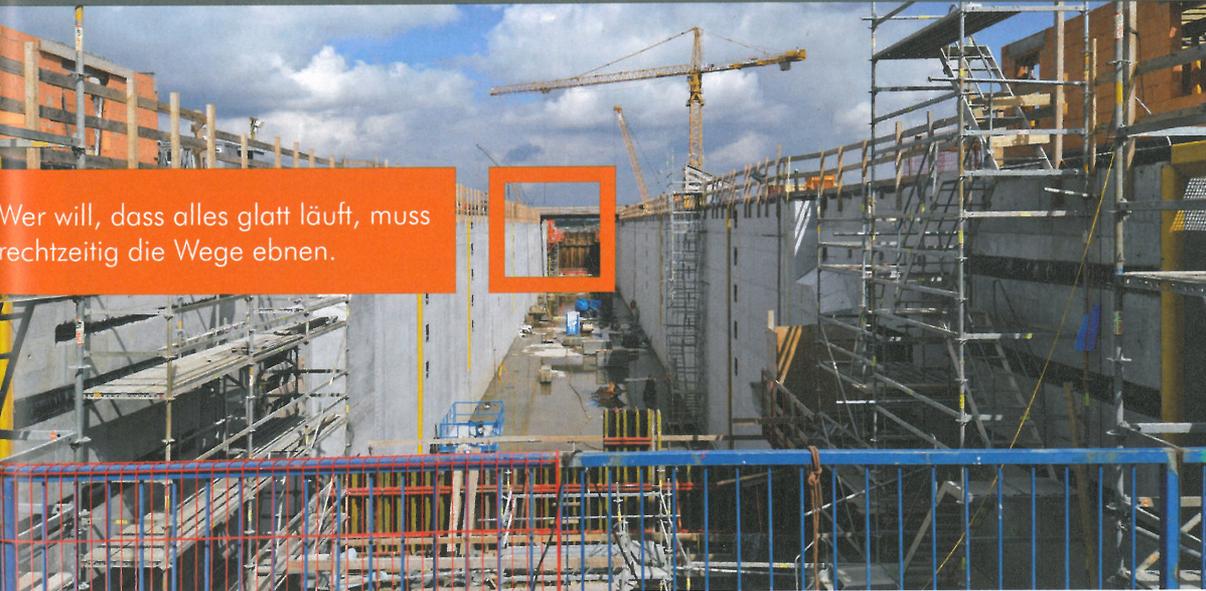
- Objekt- & Tragwerksplanung
- Boden- & Baggergutmanagement
- Hydraulische & geotechnische Berechnungen
- Fertigungsüberwachung & Qualitätssicherung im Stahlwasserbau

Grontmij GmbH

Karl-Wiechert-Allee 1 B
30625 Hannover
T +49 511 3407-0
F +49 511 3407-199
hannover@grontmij.de
www.grontmij.de

vertreten an rd. 30 Standorten in Deutschland

MATTHAEI



Wer will, dass alles glatt läuft, muss rechtzeitig die Wege ebnen.

Betonbau



Aus dem Hauptsitz in Verden lenken wir die Entwicklung unserer Firmengruppe. An über 30 Niederlassungen in Deutschland und Europa engagieren wir uns mit mehr als 1.800 Mitarbeitern für unsere Kunden.

- Straßenbau
- Ingenieurbau
- Wasserbau
- Erd- und Tiefbau
- Flughafen- und Hafeninfrastruktur
- Gleisbau
- Schlüsselfertigbau
- Umwelttechnologie



Bauunternehmen
GmbH & Co. KG

Bremer Straße 135
27283 Verden
Fon (04231) 766-0
Fax (04231) 73475
verden@matthaei.de
www.matthaei.de

5 Bauausführung

Die Herstellung der Schleuse erfolgte durch die ARGE Ingenieurbau Schleuse Dörverden (Max Bögl Bauunternehmung GmbH & Co. KG, H.F. Wiebe GmbH & Co. KG und Matthäi Bauunternehmen GmbH & Co. KG). Mit der bautechnischen Prüfung beauftragte das NBA Hannover Dr.-Ing. KARL MORGEN von WTM. Zu Beginn musste die überschrittene Bohrpfehlwand errichtet werden. Um Abweichungen von der Lage und der Bohrpfehlachse zu minimieren, ist hierfür zwingend eine Bohrschablone aus Stahlbeton erforderlich. Die Bohrungen von 20 m Länge und 1,2 m Durchmesser wurden mit vorseilender Verrohrung und unter Wasserauflast abgeteufelt. Zunächst kommen nur die unbewehrten Primärpfähle und anschließend die dazwischen liegenden Sekundärpfähle mit einem planmäßigen Überschnitt von 30 cm und Bewehrungskörben mit doppellageriger Längsbewehrung $\varnothing 28$ und Wendelbewehrung aus BSt 500 S (B) zur Ausführung. Der Bohrpfehlbeton wurde mit einer Festigkeitsklasse C25/30 (Expositionsklasse XC2) angeliefert und im Kontraktorverfahren eingebracht.

Nach der Fertigstellung der Bohrpfehlwand wurde die Baugrube zunächst bis auf Höhe der Rückverankerung ausgehoben. Die Rückverankerung der Bohrpfehlwand erfolgte mit Rundstahlankern mit $\varnothing 4\frac{1}{2}$ " und der Stahlsorte S 355 in jedem Sekundärpfahl an einer Totmannkonstruktion. Die Ankertafeln bestehen hierbei jedoch nicht aus Spundwänden mit Gurtung, sondern aus 3,5 m hohen, 1,5 m breiten und 0,5 m dicken Stahlbetonfertigteilen (Bild 4).

Nach Verankerung und Teilhinterfüllung der Bohrpfehlwand folgte der weitere Aushub. Von einem schwimmenden Ponton aus wurden anschließend die Mikropfähle

unter Wasser hergestellt und mithilfe von Tauchern wurde das Planum bis auf Sohlniveau ausgehoben. Die Betonage der Unterwasserbetonsohle wurde mit einer Betonpumpe im Kontraktorverfahren durchgeführt und nach deren Aushärtung erfolgte die Lenzung der Baugrube (Bild 5).

Die Reinigung der Bohrpfehlwand erfolgte mit Wasserhochdruck und anschließend wurde der Spritzbeton inklusive einer konstruktiven Mattenbewehrung aufgebracht. Es folgte der Einbau der Stabanker aus Bewehrungsstahl in die Tragpfähle, die wiederum an die Bewehrung der Vorsatzschale angeschlossen wurden. Abschließend erfolgte die Betonage der Vorsatzschale ohne horizontale Arbeitsfugen über die komplette Höhe (Bild 6).

Für die Vorsatzschale wurde ein Beton C25/30 mit Luftporen und den Anforderungen aus den Expositionsclassen XC4, XF3 und XM1 verwendet. Eine Pressfuge mit zwei Fugenbändern dient der Dichtigkeit der Vorsatzschale zur Sohle. Mittig kam ein Fugenband FMS400 und, zum Spritzbeton hin, vor der Bohrpfehlwand ein Fugenband AM500 zum Einsatz. In den Bewegungsfugen zu



Bild 4 Ankerplatte aus Stahlbetonfertigteilen
Precast concrete anchor plates



Bild 5 Luftbild der Baustelle mit teilweise gelenzter Baugrube
Aerial view of the construction site



Bild 6 Schalungsarbeiten (Blick vom Untertaupt in die Kammer)
Formwork (view from the lower gate into the lock chamber)

den Häuptern wurden die Fugenbänder FMS400 bzw. FMS500 verwendet.

6 Beteiligung der BAW

Vor dem Hintergrund einer im Wasserbau angestrebten langen Nutzungsdauer der Massivbauteile und der Schwierigkeiten bei der Herstellung von Bohrpfählen in der jüngsten Vergangenheit sollte die Qualität der Bohrpfähle während und nach der Herstellung systematisch kontrolliert werden. 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. Die Empfehlungen wurden weitestgehend in den Ablauf eingearbeitet und einige Elemente aus der Eigenüberwachung auch als Kontrollprüfungen vom NBA Hannover bzw. der mit der Bauaufsicht betrauten Ingenieurgesellschaft Inros & Lackner AG ausgeführt.

Die Eignungsprüfungen des Betons wurden durch die BAW und das Institut für Qualitätssicherung, Stoffprüfung und Instandsetzungstechnik GmbH (QSI) begleitet. Dabei hat das Baustofflabor der BAW die wichtigsten Betonrezepturen nachgefahren und umfassend auf ihre Eignung hin untersucht. Des Weiteren wurden im Auftrag der BAW durch QSI unangekündigte, stichprobenartige Kontrollprüfungen am Beton durchgeführt, um die gesamte Herstellungskette ganzheitlich von den Ausgangsstoffen bis zum Einbau zu überprüfen.

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

Crosshole-Messungen (Ultraschallmessung) an Bohrpfählen sind nach EA-Pfähle [4] eine anerkannte Methode, um die Qualität von Bohrpfählen zu beurteilen. Beim üblichen Crosshole-Verfahren wird nur der einzelne Pfahl untersucht, wobei lediglich die bewehrten Sekundärpfähle betrachtet werden können. Für die Beurteilung der Qualität der Bohrpfähle in Dörverden wurde die Durchschalung nicht nur innerhalb des bewehrten Sekundärpfahls, sondern auch über den unbewehrten und überschrittenen Primärpfahl hinweg bis zum nächsten Sekundärpfahl durchgeführt (Bild 7). Ziel war es, auch die Qualität im Primärpfahl und insbesondere die Qualität der Fugen im Überschchnittbereich zu beurteilen. Die Eignung der modifizierten Crosshole-Messung für die Fragestellung in Dörverden wurde in Vorversuchen bei der BAM untersucht und bestätigt. Außerdem wurden die Messergebnisse in Dörverden durch eine gezielte Beprobung überprüft und kalibriert (Bild 8).

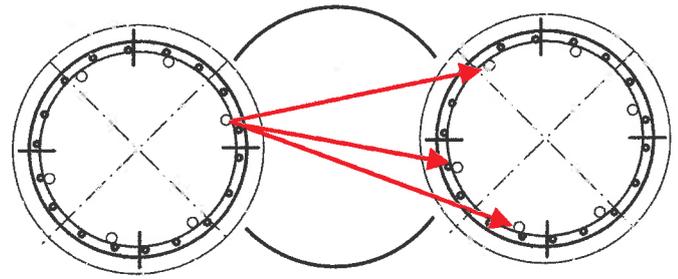


Bild 7 Anordnung Messrohre für modifizierte Crosshole-Messung
Theory of cross-hole measurements

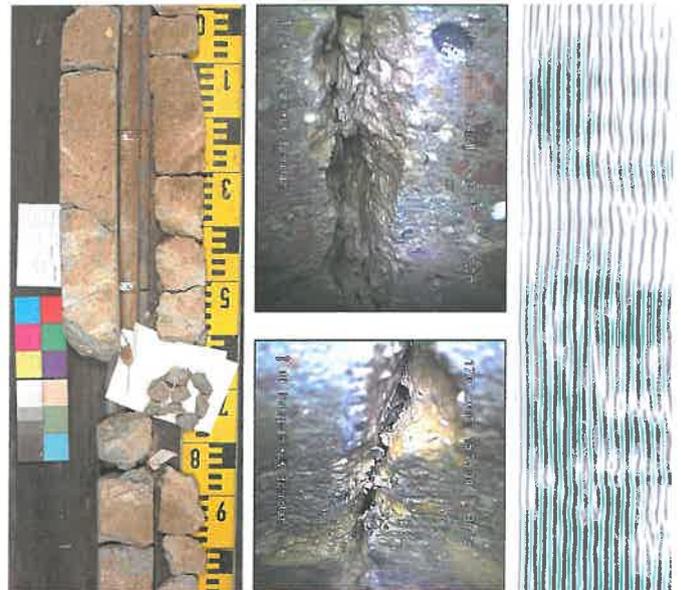


Bild 8 Gegenüberstellung Bohrkern aus Überschchnittfuge, Bohrlochbefahrung und Sonogramm aus Crosshole-Messung
Photograph of drilling core and borehole as well as a sonogram of the area around a joint

Im Baufeld wurde ein umfangreiches Monitoring installiert, das während der Bauzeit das Verformungsverhalten des entstehenden Bauwerkes beobachtet. Dabei waren die Messdaten laufend mit den Plandaten abzugleichen und zu bewerten.

7 Abschlussbetrachtung

Die neue Schleuse Dörverden ersetzt die Große Schleppzugschleuse Dörverden und beseitigt damit einen Engpass für die Schifffahrt auf der Weser. Mithilfe der für die Schleusenkammer der neuen Schleuse Dörverden angewandten innovativen Bauweise (Bohrpfahlwand in Verbindung mit einer Betonvorsatzschale) wurde der Aufwand im Massivbau erheblich reduziert. Die überschrittene Bohrpfahlwand übernimmt bei der Bauausführung die Aufgabe der Baugrubensicherung und nach der Fertigstellung der Schleuse im Wesentlichen die Funktion des Tragelements. Die Vorsatzschale sorgt während der Nutzung für die notwendigen Gebrauchseigenschaften im Schleusenbetrieb und die ausreichende Dauerhaftigkeit der Schleusenkammerwand.

Da sich aus der veränderten Nutzung der Bohrpfahlwand als dauerhaftes Tragelement weitere Anforderungen bezüglich der Dauerhaftigkeit stellen, wurde die Baumaßnahme intensiv durch die BAW begleitet. Mit einem erweiterten Konzept für die Qualitätssicherung konnte frühzeitig auf Mängel hingewiesen werden. Die klassische Crosshole-Messung für Bohrpfähle wurde modifiziert und erstmalig zur Qualitätssicherung an der Bohrpfahlwand als bohrpfahlüberschreitende Prüfung eingesetzt.

Die neue Schleuse Dörverden soll im Jahre 2013 ihren Betrieb aufnehmen. Über Erkenntnisse und Erfahrungen

mit dieser für Schleusen neuartigen Bauweise in der Nutzungsphase wird zu gegebener Zeit berichtet. Die BAW wird sich in grundsätzlicher Form mit der Frage befassen, welche Vor- und Nachteile die genannten Bauweisen Massivbauschleuse, Spundwandschleuse und Bohrpfahlwandschleuse besitzen, unter welchen Randbedingungen die verschiedenen Bauweisen besonders geeignet sind, welche Nutzungsdauern zielsicher erreicht werden können und welche Anforderungen hierfür an Planung, Baustoffe und Bauausführung zu stellen sind.

Literatur

- [1] SAATHOFF, J.; KAUTHER, R.; MÜLLER, H.; HERTEN, M.: *Innovatives Bauverfahren – die neue Schleuse Dörverden als Bohrpfahlwandschleuse*. 32. Baugrundtagung, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V., 2012.
- [2] HERTEN, M.: *Baugruben für Schleusen*. Bauingenieur, VDI Bautechnik, Jahressausgabe 2010/2011, S. 104–109.
- [3] HERTEN, M.; SCHWAB, R.: *Numerische Auswertung von instrumentierten Zugversuchen an Auftriebspfählen*. Pfahl – Symposium 2009, S. 493–512, Heft Nr. 88, Institut für Grundbau und Bodenmechanik Technische Universität Braunschweig.
- [4] EA Pfähle: *Empfehlungen des Arbeitskreises „Pfähle“*. Ernst & Sohn Verlag, Januar 2012.



Dipl.-Ing. Regina Kauther
Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe
regina.kauther@baw.de



Dipl.-Ing. (FH) Hilmar Müller
Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe
hilmar.mueller@baw.de



Dr.-Ing. Markus Herten
Bundesanstalt für Wasserbau
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe
markus.herten@baw.de

Autoren



Dipl.-Ing. Joachim Saathoff
Neubauamt für den Ausbau des
Mittellandkanals in Hannover – Sachbereich 5
Nicolaistraße 14/16
30159 Hannover