



## Entwicklung eines innovativen Kammerquerschnitts für die neue Schleuse Dörverden



# Entwicklung eines innovativen Kammerquerschnitts für die neue Schleuse Dörverden

Nach fast fünfjähriger Bauzeit wurde Ende 2013 die neue Schleuse Dörverden an der Mittelweser für den Verkehr freigegeben. Damit wurde im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) erstmals eine neuartige Kammerbauweise, bestehend aus einer rückverankerten, überschnittenen Bohrpfahlwand mit Stahlbetonvorsatzschale sowie einer mit Verpresspfählen rückverankerten Unterwasserbetonsole, realisiert. Der „Baugrubenverbau“ wurde als wesentliches Tragelement für das spätere Schleusenbauwerk übernommen. Die Wasserundurchlässigkeit der Schleusenkammer wird durch eine Stahlbetonvorsatzschale realisiert, die gleichzeitig die Schleusenausrüstung aufnimmt. Die Häupter wurden in Massivbauweise geplant. Als Verschlusselement zum Oberwasser dient ein Drucksegment mit Füllmuschel und einseitigem Antrieb. Das Untertor ist als Stemmtor in Faltwerksbauweise ausgebildet. Die Entleerung der Kammer erfolgt über kurze Torumläufe.

Der Bericht erörtert die Randbedingungen, Planungsergebnisse und Entscheidungen, die im Zuge des Entwurfsprozesses im Hinblick auf Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit, Herstellbarkeit, Wirtschaftlichkeit sowie Nutzungsanforderungen bei einer angestrebten Lebensdauer von 100 Jahren zur Realisierung dieser neuartigen Kammerbauweise geführt haben und zeigt Ansatzpunkte für zukünftige Entwicklungen auf.

**Keywords** Schleuse; Dörverden; Mittelweserausbau; Baugruben, tiefe; Kammerwand; Fugen

## 1 Veranlassung

Die Schleusenanlage Dörverden liegt an der Mittelweser. Die 1912 in Betrieb genommene große Schleppzugschleuse und die 1938 erstellte zusätzliche kleine Schleuse wurden in einem separaten Durchstich der mit einer Wehranlage staugeregelten Weserschleife errichtet. Mit dem Ausbau der Mittelweser für das 2,50 m teilabgeladene Großmotorgüterschiff (GMS) wurde der Ersatz der vorhandenen Schleusenanlagen erforderlich. Die Ausbauplanungen des Bundes sahen daher den Neubau einer Schleuse mit einer Nutzlänge von 139 m sowie einer Kammerbreite von 12,50 m vor. Eine Erweiterung der alten Anlage (Tieferlegung der Sohle der Schleppzugschleuse oder Verlängerung der kleinen Schleuse) war aufgrund des schlechten baulichen Zustands beider Bauwerke nicht möglich bzw. unwirtschaftlich.

Im Juli 2004 bzw. April 2007 wurde die Ingenieurgemeinschaft „Planung Schleuse Dörverden“ mit der Entwurfsplanung und der Erstellung der Vergabeunterlagen

## A novel chamber construction for the new lock in Dörverden

After almost five years of construction the new lock in Dörverden at the middle Weser was opened to the traffic at the end of 2013. Hereby, a novel chamber construction, consisting of a tied-back, secant bored pile wall with reinforced concrete facing and a subaqueous concrete floor tied back by tension piles was implemented for the first time in the range of the Federal Waterways and Shipping Administration. The construction pit support system was inherited as a crucial bearing element for the final lock structure. The impermeability of the lock chamber is ensured through a reinforced concrete facing which also holds the lock equipment. The heads were planned as massive construction. A rotary segment gate with single-sided drive serves as closing element against headwaters. The lower gate is designed as a mitre gate in tiled slab style. The emptying of the chamber is carried out via short circulations of the lock gate.

The report discusses the marginal conditions, planning results and decisions as well as the usage requirements for a life expectancy of 100 years, which have led to the development of this novel chamber style, concerning bearing capacity, usability, construction and cost efficiency. Furthermore, the report presents starting points for future developments.

**Keywords** lock; Dörverden; middle Weser expansion; deep pits; chamber wall; joints

für den Neubau der Schleuse Dörverden an der Mittelweser einschließlich der Anbindung an den oberen und unteren Vorhafen sowie dem teilweisen Rückbau der großen Schleppzugschleuse beauftragt.

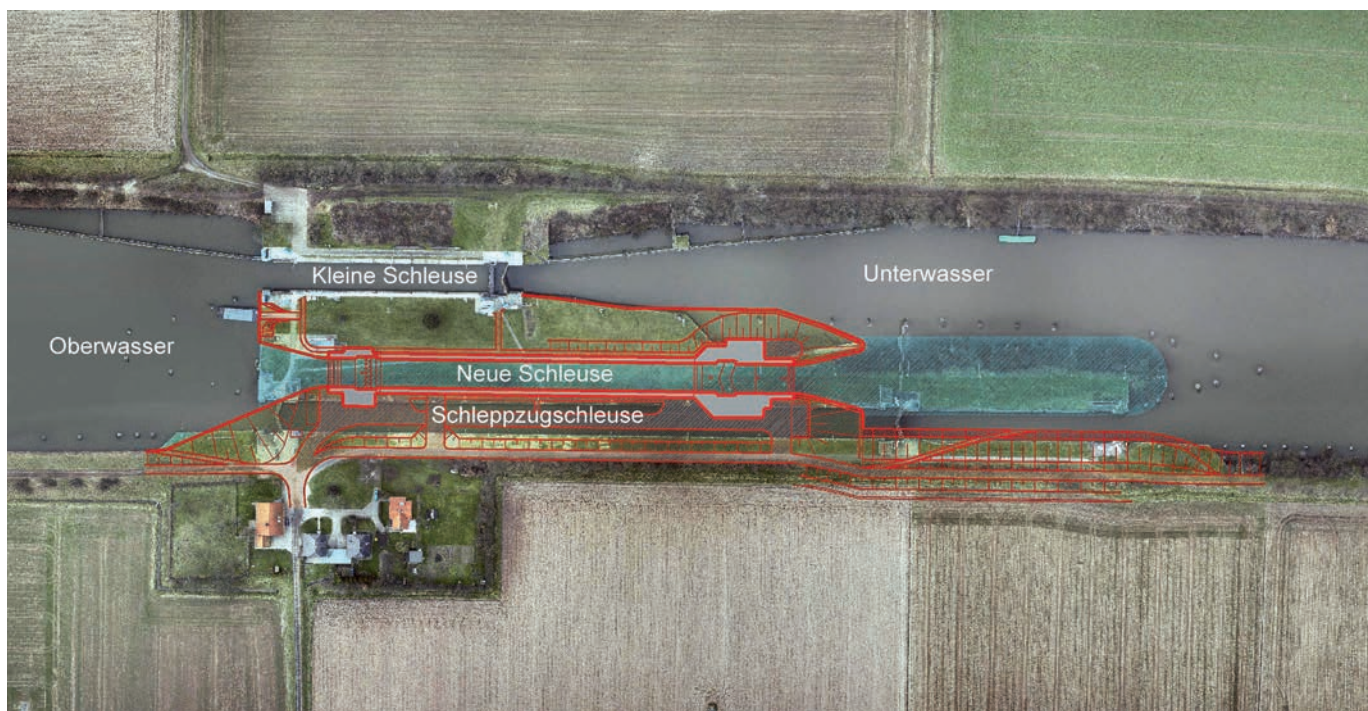
Gesellschafter der Ingenieurgemeinschaft waren die in Hannover ansässigen Unternehmen BGS Ingenieurgesellschaft (heute Grontmij GmbH) und grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co.KG sowie das Büro Frank Winter aus Hülse.

## 2 Randbedingungen für den Entwurf

### 2.1 Baugrund

Für die Entwurfsplanung zum Neubau der Weserschleuse Dörverden wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) in Karlsruhe ein Baugrundvortgutachten erstellt und im Zuge der späteren Planungen für die Vorbereitung der Vergabe fortgeschrieben.





**Bild 1** Luftbild der bestehenden Schleusenanlage Dörverden mit Darstellung des neuen Bauwerkes  
Aerial image of the existing Dörverden lock with representation of the new construction

Im Bereich der Schleuse stehen im Anschluss an eine 5 m bis 7 m mächtige tonige und schluffige Auffüllungsschicht geringer Festigkeit bis etwa 50 m unter GOK zwei durch eine nicht durchgängig vorhandene, zwischen 3 m und 4,5 m mächtige weiche Zwischenschicht getrennte Sandschichten an.

Die obere Sandschicht von ca. NN +10 m bis ca. NN -1 m besteht aus Mittelsand, teilweise fein- bis mittelkiesig, mit mittlerer bis großer Festigkeit und schließt kiesige Bereiche sehr großer Festigkeit ein. Unter der bindigen Zwischenschicht mit eingelagerten Steinen schließt sich die untere Sandschicht aus enggestuften Feinsanden großer bis sehr großer Festigkeit an.

In den unteren und oberen Sanden sowie der Zwischenschicht war mit Rammhindernissen aus Steinen zu rechnen. Hinsichtlich der Rammbarkeit war deshalb davon auszugehen, dass für das Einbringen von Spundwänden Rammhilfen wie z. B. Vorbohren erforderlich sind.

## 2.2 Wasserstände und Grundwasserverhältnisse

Für den Entwurf der neuen Schleusenanlage sind folgende Wasserstände der Weser maßgebend:

Oberwasser: HHW: NN +17,35 m  
 HSW: NN +15,29 m  
 Hyd. Stau OW: NN +14,60 m  
 (entspricht hydrostatischem Stau Wehr Dörverden)

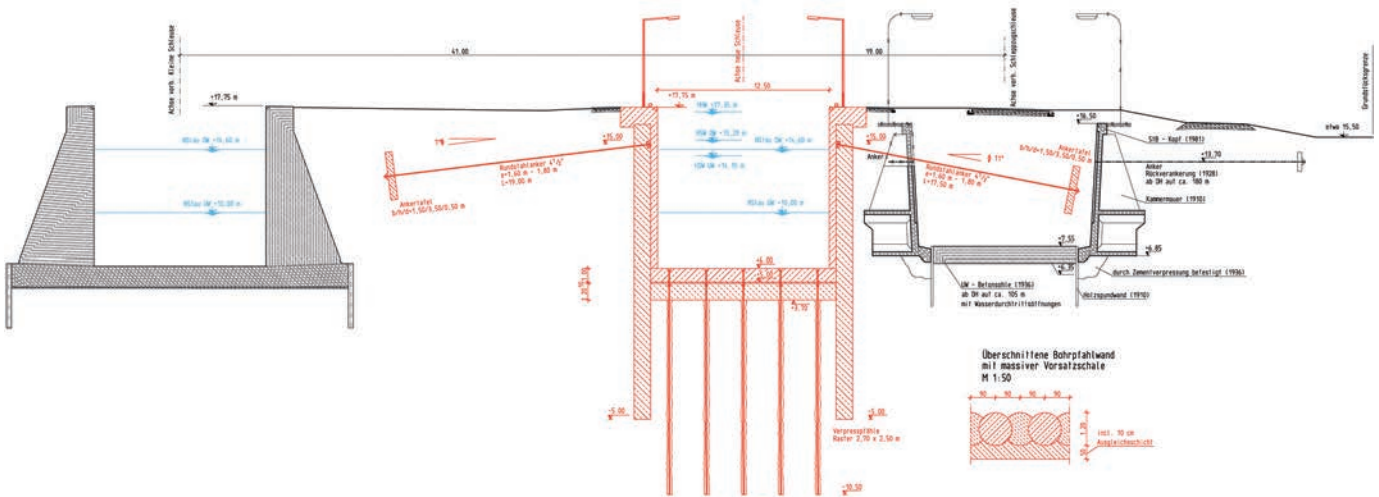
Unterwasser: HHW: NN +16,42 m  
 HSW: NN +14,15 m  
 MW: NN +11,28 m  
 Hyd. Stau UW: NN +10,00 m  
 (entspricht hydrostatischem Stau Wehr Langwedel)

Die Grundwasserverhältnisse korrespondieren mit den Wasserständen der Weser im Ober- und Unterwasser. Zur Beurteilung und Überwachung der Grundwasserverhältnisse im Bereich der Schleuse und der Vorhäfen stand ein enges Netz an Grundwassermessstellen zur Verfügung. Aus den Aufzeichnungen über einen Zeitraum von fünf Jahren ermittelte die BAW folgende für die Bemessung des Bauwerkes maßgebenden Grundwasserstände:

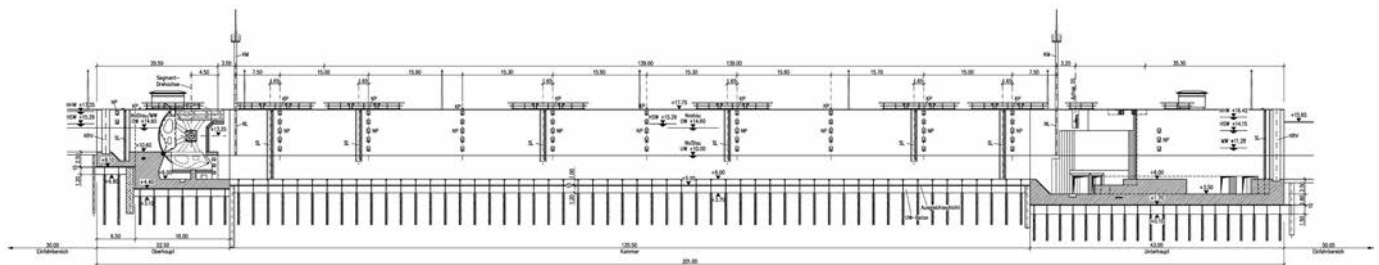
Mittlerer Grundwasserstand: NN +11,8 m  
 Maximum: NN +14,9 m  
 Minimum: NN +8,9 m

## 2.3 Lage

Im Rahmen einer Voruntersuchung für den Neubau der Weserschleuse Dörverden wurden vom Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals in Hannover (NBA) verschiedene Standorte für die neue Schleuse geprüft. Unter Berücksichtigung der Auswirkungen auf die Schifffahrt sowie auf die vorhandene kleine Schleuse wurde die neue Kammer auf der bestehenden Schleuseninsel in der Achse des Schleusenkanals mit einem Achsabstand von 19 m zur Schleppzugschleuse und von 41 m zu der kleinen Schleuse angeordnet (Bilder 1 und 2). Das neue



**Bild 2** Querschnitt neue Schleuse Dörverden mit vorhandener kleiner Schleuse und vorhandener Schleppzugschleuse  
Cross section of the new Dörverden lock with existing locks



**Bild 3** Längsschnitt der neuen Schleuse Dörverden  
Longitudinal section of the new Dörverden lock

Oberhaupt ist gegenüber den vorhandenen Oberhäuptern um 30 m nach Unterwasser (Norden) verschoben.

## 2.4 Bauwerk

Um zukünftigen Verkehrsentwicklungen gerecht zu werden, war die neue Schleuse mit einer Nutzlänge von 139 m, einer nutzbaren Kammerbreite von 12,50 m und einer Drempeltiefe unter hydrostatischem Stau von 4 m zu planen. Die Fallhöhe beträgt jeweils bezogen auf den hydrostatischen Stau der Weser im Ober- und Unterwasser 4,60 m. Die Schleusenplanie liegt 40 cm über HHW, daraus folgt eine freie Kammerwandhöhe von 11,75 m (Bild 3).

Die neue Schleuse wurde als Einkammerschleuse geplant. Sparbecken sind aufgrund des ausreichenden Wasserangebots der Weser nicht erforderlich. Eine Hochwasserabfuhr über die Schleuse ist nicht vorgesehen. Aufgrund der geringen Fallhöhe wurde als Füll- und Entleerungssystem ein Endsystem geplant. Die Schleuse wird am Oberhaupt über ein Drucksegmenttor mit Füllmuschel gefüllt. Die Entleerung ins Unterwasser erfolgt über kurze, seitlich angeordnete Umlaufkanäle am Unterhaupt.

## 3 Entwicklung der Kammerbauweise

### 3.1 Entwurfsvarianten der Haushaltsunterlage (Entwurf-HU)

Der vom Neubauamt aufgestellte Haushaltsentwurf sah vor, die neue Schleuse mit einer Kammer in Spundwandbauweise und massiven Häuptern zu erstellen. Die ebenfalls untersuchte Variante, die Kammer als massiven U-Rahmen im Schutze einer Baugrube zu realisieren, wurde trotz der damit verbundenen besseren Nutzungsqualität aufgrund der Robustheit dieser Bauweise und der geringeren Unterhaltungskosten als nachrangig beurteilt, da die Investitionskosten gegenüber der Spundwandbauweise deutlich höher eingeschätzt wurden.

### 3.2 Variantenuntersuchung im Rahmen des Ingenieurvertrages

Aufgabe der Vorplanung für die Schleusenammer war die detaillierte Untersuchung der vom AG bereits im Rahmen der Erstellung der Haushaltsunterlage bearbeiteten Hauptvarianten Spundwand- und Massivbauweise.

Recht bald zeigte sich dabei, dass aufgrund der sehr hohen Festigkeiten des Bodens und der zu erwartenden Steine in der bindigen Zwischenschicht zum sicheren Einbringen der Verbau- oder Kammerspundwände tangierende, besser noch überschnittene Austauschbohrungen erforderlich werden würden. Da sowohl für die Kammer als auch für die Verbauspundwände bei der vorgesehenen einlagigen Verankerung nur kombinierte oder Kastenprofile sinnvoll möglich waren, erschienen Bohrdurchmesser für das Vorbohren von 1,2 bis 1,5 m erforderlich.

Um Kosten und Geräteinsatz zu optimieren, entstand dabei die Idee, die ohnehin erforderlichen Bohrungen nicht nur zum Bodenaustausch zu nutzen, sondern gänzlich auf das Einstellen von Spundwandprofilen zu verzichten und eine überschnittene Bohrpfahlwand als Haupttragelement der Schleusenkammer zu realisieren.

In Abstimmung mit dem Neubauamt wurde daraufhin der Untersuchungsumfang der Vorplanung um die Varianten „Bohrpfahlwand als Haupttragelement“ und „Schlitzwand als Haupttragelement“ als Modifikation der Bohrpfahlwand-Variante erweitert.

Für den Neubau der Schleusenkammer wurden somit folgende Hauptvarianten gegenübergestellt:

- Variante A: Schleusenkammer als Spundwand
- Variante B: Schleusenkammer als Stahlbeton-U-Rahmen
- Variante C: Schleusenkammer als bewehrte Schlitzwand mit massiver Vorsatzschale
- Variante D: Schleusenkammer als Bohrpfahlwand mit massiver Vorsatzschale

Die zur Diskussion stehenden Varianten wurden bezüglich folgender Kriterien untersucht und beurteilt:

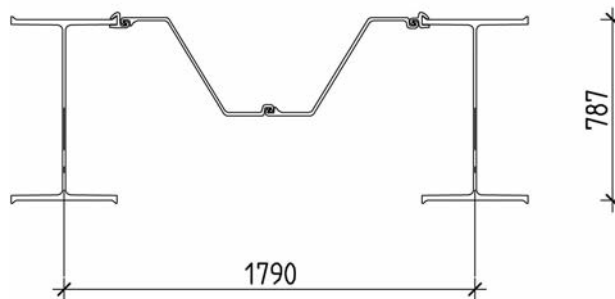
- Technische Machbarkeit (Risiken der Bauweise usw.)
- Erstellungskosten (netto pro 10 m Kammerlänge, Preisstand 2006)
- Unterhaltungskosten
- Nutzungsqualität
- Bauzeit

Eine Festlegung von Wertungsfaktoren für die Kriterien mit tabellarischer Auswertung für jede Variante sollte nicht erfolgen.

### 3.2.1 Varianten A: Schleusenkammer als Spundwand

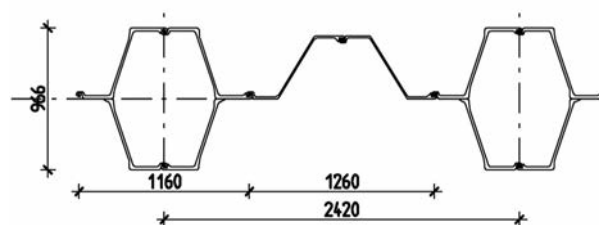
Als Spundwandvarianten sind Kombinationen von unterschiedlichen Profilen mit einer oder zwei Ankerlagen untersucht worden. Bei der Ausbildung der Verankerung wurde zwischen Verpresspfählen und Rundstahlankern unterschieden. Die Bewertung erfolgte in Bezug zur Grundvariante A1.

Spundwandprofil HZ 775D - 12/AZ 26 od. glw.



**Bild 4** Spundwandquerschnitt Variante A1 (Gemischte Spundwand mit Trägerpfählen)  
Cross section of chamber wall, version A1 (mixed sheet pile with girder piles)

Spundwandprofil CAZ 50 / AZ 28 od. glw.



**Bild 5** Spundwandquerschnitt Variante A2 (Gemischte Spundwand mit Kastenpfählen)  
Cross section of chamber wall, version A2 (mixed sheet pile with box piles)

#### 3.2.1.1 Variante A1: Gemischte Spundwand mit I-Trägerpfählen und einer Verankerungslage

Wandaufbau: Spundwandsystem HZ 775 D – 12/AZ 26 o. glw. mit ca. 0,80 m hohen Trägerpfählen in einem Abstand von ca. 1,80 m (Bild 4).

Kosten: 420 000 €

#### 3.2.1.2 Variante A2: Gemischte Spundwand mit Kastenpfählen und einer Verankerungslage

Wandaufbau: Spundwandsystem CAZ 50/AZ 28 o. glw. mit ca. 1,00 m hohen Kastenpfählen in einem Abstand von ca. 2,40 m (Bild 5).

Kosten: 450 000 €

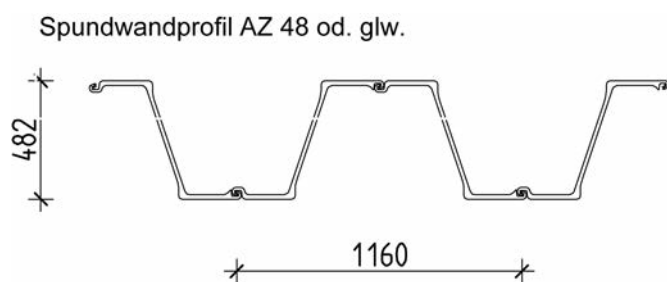
Vorteile zu A1: – Unterhaltungskosten (keine vorstehenden Schlösser)  
– Nutzungsqualität (keine vorstehenden Schlösser)  
– größere Torsionssteifigkeit der Kastenpfähle

Nachteile zu A1: – Erstellungskosten

#### 3.2.1.3 Variante A3: Wellenspundwand mit zwei Verankerungslagen

Wandaufbau: Profilspondwand AZ 48 o. glw. mit einer Höhe von ca. 0,50 m (Bild 6).





**Bild 6** Spundwandquerschnitt Variante A3 (Wellenspundwand mit zwei Ankerlagen)  
Cross section of chamber wall, version A3 (sheet pile with two tie positions)

Kosten: 440 000 €

Vorteile zu A1: – Unterhaltungskosten  
(keine vorstehenden Schlösser)  
– Nutzungsqualität  
(keine vorstehenden Schlösser)

Nachteile zu A1: – Technische Machbarkeit (aufgrund der zweiten Ankerlage)  
– Bauzeit (aufgrund der zweiten Ankerlage)  
– Erstellungskosten

### 3.2.2 Varianten B: Schleusenkammer als Stahlbeton-U-Rahmen

Die Varianten für den Stahlbeton-U-Rahmen unterscheiden sich hinsichtlich der Baugrubenwand.

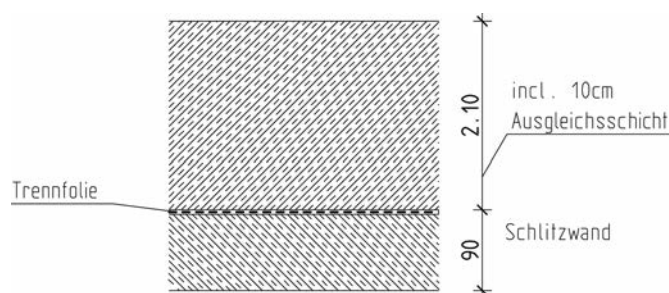
#### 3.2.2.1 Variante B1: Schleusenkammer als Stahlbeton-U-Rahmen mit Schlitzwand

Wandaufbau: 1,80 m dicke Stahlbetonwand einschließlich 10 cm Bautoleranz zuzüglich einer 0,70 m dicken bewehrten Schlitzwand als Baugrubenwand (Bild 7).

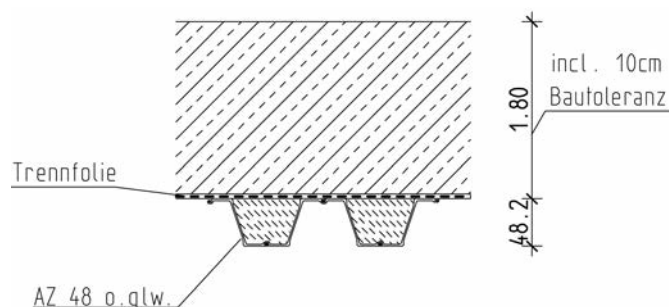
Kosten: 540 000 €

Vorteile zu A1: – Technische Machbarkeit (aufgrund kontrollierter Ausführung im Schutze einer Baugrubenwand und unverankerten Wänden als Dauerbauwerk)  
– Unterhaltungskosten (durch glatte Wand weniger und im Schadensumfang geringere Anfahrtschäden)  
– Nutzungsqualität (durch glatte Wand ist kein Verhaken, Verkanten oder Unterhaken möglich)  
– geringere Wandverformungen

Nachteile zu A1: – Erstellungskosten (aufgrund Baugrubenwand und größerer Konstruktionsbreite)  
– Bauzeit (aufgrund der Baugruben- und der Stahlbetonwand)



**Bild 7** Rahmen Variante B1 (Stahlbeton-U-Rahmen mit Schlitzwand)  
Cross section of chamber wall, version B1 (reinforced concrete U-frame with slotted wall)



**Bild 8** Rahmen Variante B2 (Stahlbeton-U-Rahmen mit Spundwand)  
Cross section of chamber wall, version B2 (reinforced concrete U-frame with sheet pile)

#### 3.2.2.2 Variante B2: Schleusenkammer als Stahlbeton-U-Rahmen mit Spundwand

Wandaufbau: 1,80 m dicke Stahlbetonwand einschließlich 10 cm Bautoleranz zuzüglich einer rund 0,50 m hohen Profilspondwand AZ 48 o. glw. als Baugrubenwand (Bild 8).

Kosten: 570 000 €

Vorteile zu A1: siehe Variante B1

Nachteile zu A1: siehe Variante B1

### 3.2.3 Variante C: Schleusenkammer als bewehrte Schlitzwand mit Vorsatzschale

Aufgrund der möglichen Erdenbrüche bei der Herstellung von Schlitzwänden und der damit verbundenen geringeren Wasserundurchlässigkeit und Tragfähigkeit wurde eine Schlitzwand als Haupttragelement für die Schleusenkammer ausgeschlossen.

#### 3.2.4 Variante D: Schleusenkammer als Bohrfahlwand mit massiver Vorsatzschale

Die Entwurfsidee sah vor, dass die überschnittene Bohrfahlwand allein das statische Tragelement bildet. Die Dichtigkeit der Konstruktion sollte durch die Vorsatzschale gewährleistet werden.

Um einen ausreichenden Verankerungsbereich für die Ausrüstungselemente nach der DIN 19703, Leitern und Nischenpoller, zu erhalten, wurde die Vorsatzschale in den Versatzbereichen der Bohrpfahlwand örtlich dicker ausgebildet.

Die Vorsatzschale wurde in Längsrichtung fugenlos erstellt. Um Zwängungsbeanspruchungen auszuschließen, erfolgte zur Sohle die Ausbildung einer Pressfuge mit innen und außen liegendem Fugenband.

Der Anschluss der Vorsatzschale an die Bohrpfahlwand erfolgte an den bewehrten Bohrpfählen (Sekundärpfähle) über Betonstahlbewehrung als nachträglich erstellter Bewehrungsanschluss unter Verwendung von Injektionsmörtel. Im Bereich der Nischenpoller wurde die Anschlussbewehrung zur Aufnahme der Pollerzugkräfte erhöht.

Vor der Betonage der Vorsatzschale erfolgte die Herstellung einer ebenen Ausgleichsschicht aus Spritzbeton, die eine konstruktive Bewehrung aus Betonstahlmatten erhielt. Durch die Ausgleichsschicht wurden unterschiedliche Verformungen der Bohrpfähle und die Bautoleranz ausgeglichen.

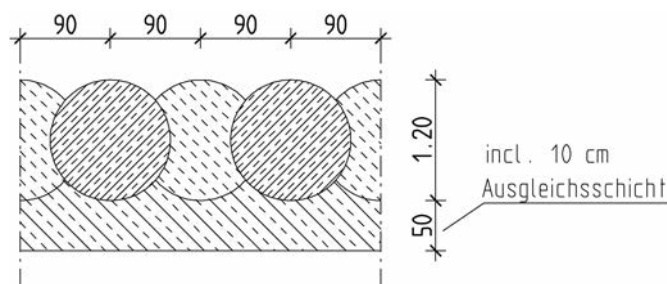
Zur Rückverankerung der Wand wurden Verpresspfähle bzw. Rundstahlanker an jedem bewehrten Bohrpfahl angeschlossen. Zur Durchführung der Verankerung und zur bündigen Herstellung des Ankeranschlusses wurden Kernbohrungen mit unterschiedlichem Durchmesser durch die Bohrpfähle hergestellt.

### 3.2.4.1 Variante D1: Schleusenammer als Bohrpfahlwand mit massiver Vorsatzschale

Wandaufbau: 1,00 m dicke Bohrpfahlwand ( $D_M = 1,20$  m) mit 25 % Überschneidung und einer 0,50 m dicken massiven Vorsatzschale einschließlich 10 cm Bautoleranz (Bild 9).

Kosten: 455 000 €

Vorteile zu A1: – Unterhaltungskosten (durch glatte Wand weniger und im Schadensumfang geringere Anfahrtschäden)



**Bild 9** Bohrpfahlwand Variante D1  
Cross section of chamber wall, version D1 (bored pile wall with facing)

- Nutzungsqualität (durch glatte Wand ist kein Verhaken, Verkanten oder Unterhaken möglich)
- geringere Wandverformungen

Nachteile zu A1: – Erstellungskosten  
– Bauzeit

## 4 Entwurfs- und Ausschreibungsplanung

Nach intensiver Abstimmung mit dem Neubauamt wurde die Variante D (Kammerwand als Bohrpfahlwand mit Stahlbeton-Vorsatzschale und einer Verankerungskombination aus Rundstahlankern und Verpresspfählen) als Vorzugsvariante ausgewählt und der weiteren Entwurfsplanung sowie der Ausschreibung zugrunde gelegt.

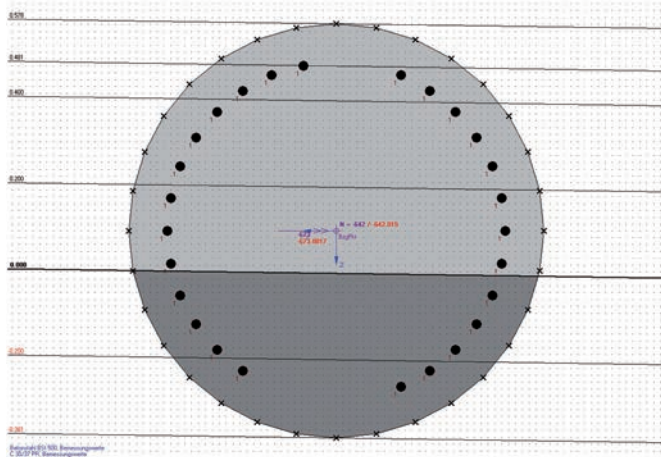
### 4.1 Genehmigungsprozess

Bis die im Zuge der Entwurfsplanung entwickelte Kammerbauweise Grundlage für die Ausschreibung der Bauleistung wurde, waren zahlreiche vertiefende Untersuchungen seitens der Ingenieurgemeinschaft erforderlich. In einem intensiven Austausch der Projektbeteiligten des Neubauamtes für den Ausbau des Mittellandkanals in Hannover, den verschiedenen Referaten der Abteilungen Bautechnik und Geotechnik der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe sowie der Ingenieurgemeinschaft konnte im Mai 2007 die Entwurf-Ausführungsunterlage (Entwurf-AU) fertiggestellt und bei der Mittelbehörde zur Genehmigung eingereicht werden. Dem vorausgegangen war u. a. im März 2006 ein Erläuterungstermin beim damaligen BMVBS, um die Zustimmung des Ministeriums zur Kammerbauweise zu erwirken. Hauptkriterien in diesem Prozess waren die technische Machbarkeit, die Sicherheit in der Bauausführung und die Dauerhaftigkeit der Konstruktion über eine Lebensdauer von 80 Jahren sowie ein geringer Unterhaltungsaufwand.

### 4.2 Bohrpfahlwand

Die Bohrpfahlwand wurde mit einem wettbewerbsüblichen Durchmesser von 1,20 m und einem Achsabstand der Pfähle von 0,90 m in der Betongüte C30/37 festgelegt und vordimensioniert. Als Rissweite wurde ein oberer Grenzwert von 0,25 mm definiert. Da eine exakte Lage von Einbauteilen nach Herstellung des Bohrpfahles durch das beim Ziehen des Bohrrohres mögliche Verdrehen des bis zu 23 m langen Bewehrungskorbes nicht garantiert werden konnte, wurde entschieden, die Ankerdurchführungen nachträglich als Kernbohrung durch den Bohrpfahl herzustellen. Obwohl Lücken in der Bewehrungsführung vorgesehen werden sollten, wurden sämtliche Nachweise im Bereich der Ankerdurchführungen unter Berücksichtigung von maximal zwei Bewehrungs-eisen auf der Luftseite und drei Bewehrungs-eisen auf der Erdseite geführt (Bild 10).





**Bild 10** Ausfall Bohrpfahlbewehrung im Bereich der Ankerdurchführungen  
Cancellation of bored pile reinforcement in tie lead-through section

Eine besondere Bedeutung kommt der planerischen Berücksichtigung der möglichen bzw. zulässigen Toleranzen bei der Herstellung der Bohrpfahlwand zu. Gemäß den zusätzlichen Vertragsbedingungen sind Lageabweichungen des Kopfes von  $\pm 50$  mm und Neigungsabweichungen von  $\pm 0,5$  % der Bohrtiefe zulässig. Das entspricht einer maximalen Gesamtabweichung in Höhe der Unterkante der Unter-Wasser-Betonsohle von  $2 \times 0,05 \text{ m} + 2 \times 14,0 \text{ m} \times 0,005 = 0,24 \text{ m}$ . Damit würden im Extremfall nur noch 6 cm Überschneidung verbleiben. Nach Beurteilung der Risiken bezüglich der Lageabweichungen kann es bei dauerhaft genutzten Bohrpfahlwänden erforderlich werden, die Ausführungstoleranzen zu begrenzen, oder – falls das nicht möglich sein sollte – die planmäßige Überschneidung größer als 25 % zu wählen.

### 4.3 Vorsatzschale

Zur Gewährleistung eines eindeutigen Lastabtrages, zur Vermeidung von Zwängungsbeanspruchungen und zur Realisierung einer Trennung zwischen Lastabtrag und

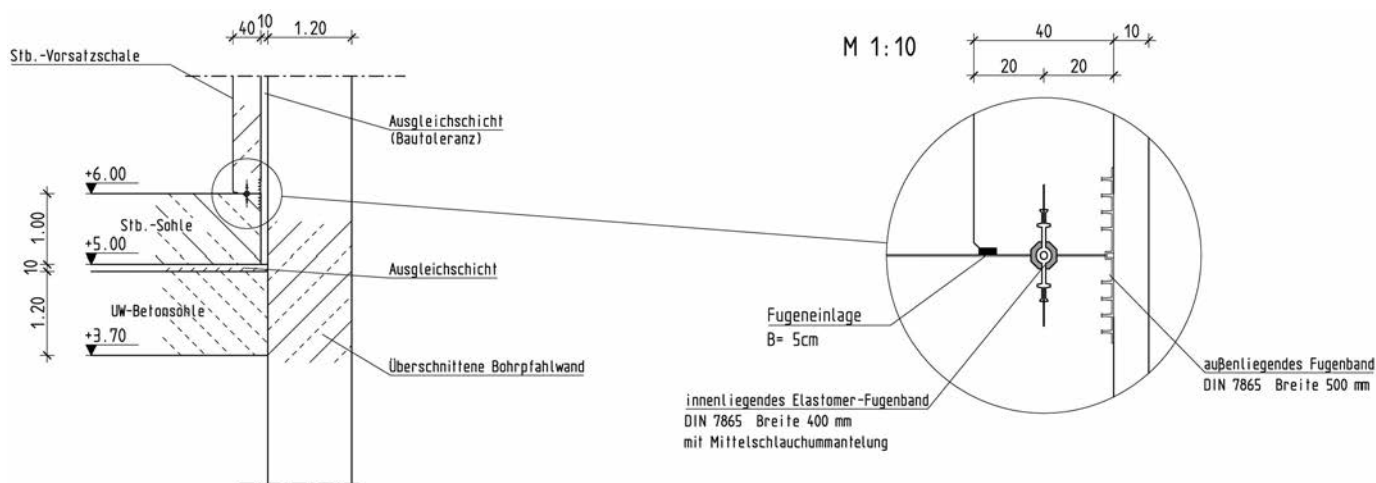
Dichtfunktion wird zwischen der Schleusensohle und der 40 cm starken Vorsatzschale eine Pressfuge mit innen und außen liegendem Fugenband angeordnet (Bild 11). Bis auf die Fugen zu den Häuptern wird die Vorsatzschale ansonsten fugenlos hergestellt. Vor- und Nachteile der angeordneten Pressfuge sind:

#### Vorteile:

- Trennung zwischen Lastabtrag (Bohrpfahlwand) und Dichtfunktion (Vorsatzschale)
- Eindeutige Zuordnung des Kraftverlaufes (bei einer biegesteifen Verbindung können die Parameter für die Verbundwirkung zwischen Vorsatzschale und Bohrpfahlwand nur näherungsweise ermittelt werden)
- Sichere Ausführbarkeit im Hinblick auf die Bewehrungsführung und Betonage der Vorsatzschale im Anschlussbereich zur Sohle
- Anschlussbewehrung der Vorsatzschale an die Bohrpfahlwände im Bereich über der Sohle ist sicher einbaubar (keine deutliche Erhöhung aufgrund der Verbundwirkung infolge einer biegesteifen Verbindung zwischen Sohle und Vorsatzschale erforderlich)
- Keine Querschnittserhöhung der Vorsatzschale im Anschlussbereich zur Sohle erforderlich (bei einer biegesteifen Verbindung mit deutlichen Steifigkeitsunterschieden zwischen Sohle und Vorsatzschale bestünde das Erfordernis einer zusätzlichen Querschnittserhöhung in Form einer Voutenausbildung der Vorsatzschale)

#### Nachteile:

- Hoher Sanierungsaufwand im Falle einer Undichtigkeit der beiden Fugenbänder (das Risiko hierfür wird als gering eingeschätzt)
- Gefahr von Abplatzungen bei zu großen Winkelverdrrehungen; durch die Berücksichtigung von Fugeneinlagen gemäß BMVBW-RiZ Abs 1 (Betongelenk) kann dies verhindert werden
- Höhere Herstellungskosten im Vergleich zur Arbeitsfuge mit Fugenblech und Verpressschlauch.



**Bild 11** Detail Pressfuge zwischen Vorsatzschale und Schleusensohle  
Detail: press join between facing and lock bottom

#### 4.4 Übergang Kammer – Häupter

Am Übergang von den Häuptern zur Kammer erfolgt ein grundsätzlicher Wechsel des Tragsystems. Während für den Bereich der Kammer die Bohrpfähle als dauerhaftes Tragwerk für den Endzustand ausgebildet wurden, stellen die Bohrpfahlwände und übrigen Verbauwände im Bereich der Häupter ausschließlich einen Baubehelf mit zeitlich begrenzter Nutzungsdauer dar.

Im Kammerbereich werden die horizontalen Lasten aus Erd- und Wasserdruck über die mit Rundstahlankern einfach rückverankerte Bohrpfahlwand in den Baugrund abgetragen. Der Lastabtrag an den Häuptern erfolgt dagegen über die Flachgründung des U-Rahmens.

Kammer und Häupter unterscheiden sich deshalb auch wesentlich im Verformungsverhalten. Die permanent gegen Auftrieb gesicherte Kammersohle ist weitestgehend setzungsfrei. Die Setzungen der Häupter betragen bis zu 3 cm. Die horizontalen Verformungen der Bohrpfahlwände sind infolge der geringeren Steifigkeit größer als die horizontalen Verformungen der Häupter.

Im Zuge der Planungen wurde auch für den Übergang zwischen den Häuptern und der Kammer eine monolithische Ausbildung überprüft. Ein monolithischer Anschluss der Häupter an die Bohrpfahlwand der Kammer ist konstruktiv sehr aufwändig, der monolithische Anschluss an die wesentlich schlankere Vorsatzschale führt zu einer ungewünschten Lasteinleitung in die Vorsatzschale infolge Zwang. Zwangskräfte entstehen ebenfalls beim Anschluss der massiven Häupter an die wesentlich schlankere, nahezu setzungsfreie Kammersohle.

Nach Abwägung aller Vor- und Nachteile wurde gemeinsam mit dem Bauherrn entschieden, zwischen den Häuptern und der Kammer eine Raumfuge anzuordnen. In den Bewegungsfugen wurden jeweils zwei Dichtungsebenen mit innen liegenden Dehnfugenbändern vorgesehen.



**Bild 12** Bewehrung, Schalung und Betonage der Vorsatzschale  
Reinforcement, formwork and concreting of facing

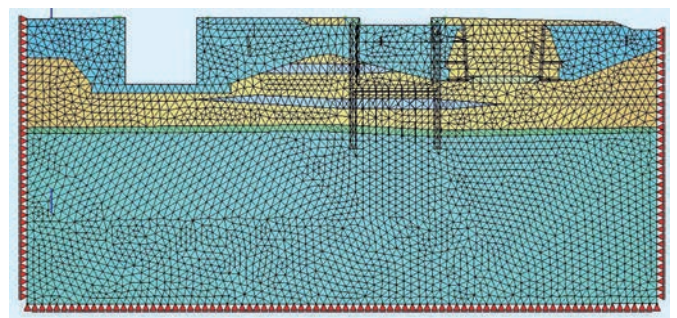


**Bild 13** Übergang Unterhaupt – Kammer  
Transition bottom head – chamber

Durch die Raumfuge gelingt eine klare Trennung der verschiedenen Tragsysteme von Häuptern und Kammer. Sie können sich unabhängig voneinander verformen, und ungleichmäßige Setzungen der Häupter durch einseitiges „Aufhängen“ an der Kammersohle werden vermieden. Es erfolgt keine undefinierte Lasteinleitung von der Flachgründung der Häupter in die Kammersohle. Durch den Einbau der Fugenbänder zwischen der Vorsatzschale der Kammer und den Häuptern verläuft die Dichtungsebene eindeutig in der Vorsatzschale.

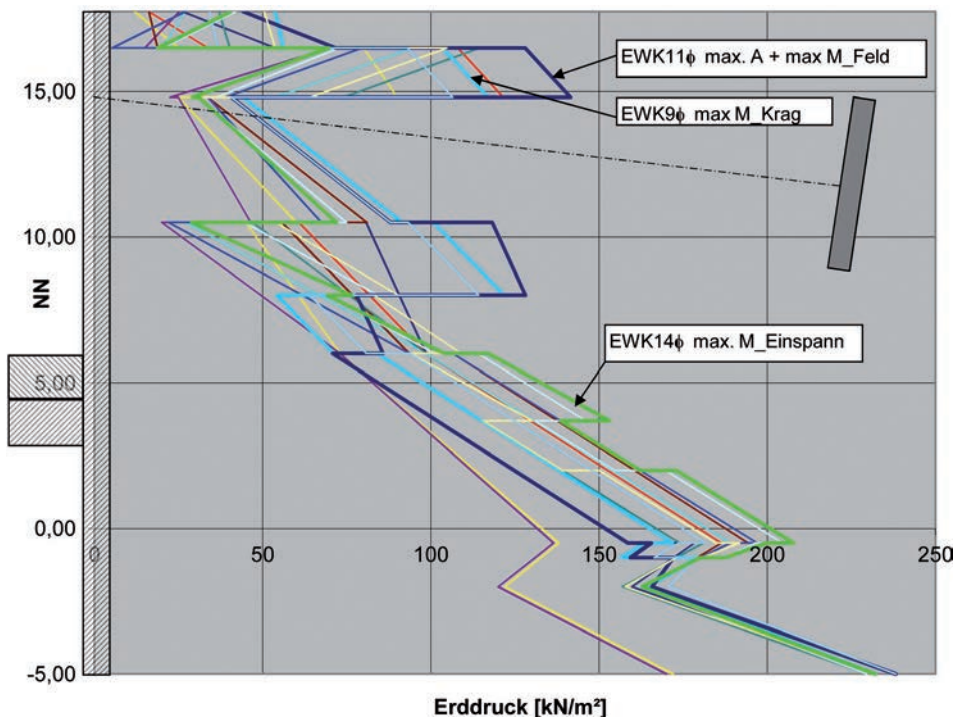
Die für die Auslegung der Fugenbänder nachteiligen Setzungsdifferenzen zwischen Häuptern und Kammer lassen sich durch die nachlaufende Herstellung der Kammersohle und einen spätmöglichen Zeitpunkt für den Einbau der Fugenbänder wesentlich reduzieren. Das Schadensrisiko an den Fugenbändern, verbunden mit einem hohen Sanierungsaufwand im Schadensfall, wurde aufgrund der Lage der Fugenbänder als gering bewertet.

Zusammenfassend kam die Entwurfsplanung zu dem Ergebnis, dass die Anordnung der Raumfugen zwischen der Kammer und den Häuptern nicht nur aus statischer Sicht sinnvoll, sondern in konstruktiver und bautechnologischer Hinsicht erforderlich ist.



**Bild 14** Berechnungsmodell Bauwerk-Boden-Interaktion  
Finite element model of soil-structure interaction





**Bild 15** Resultierende Belastung auf Bohrpfehlwand aus Berechnungsmodell Bauwerk-Boden-Interaktion  
Strain on bored pile wall resulting from finite element calculation of soil-structure interaction (permanent load)

#### 4.5 Erddruckermittlung/Bauwerk-Boden-Interaktion

Für die Stahlbetonbemessung der Bohrpfehlwand sowohl im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit als auch im Grenzzustand der Tragfähigkeit wurden die getrennten Erddruckanteile der Einwirkungen aus Bodeneigengewicht und Verkehrsflächenlasten, Temperatur, Stoß- und Eislasten, Ober- und Unterwasser sowie Grundwasser benötigt. Zur Ermittlung dieser Erddrücke wurde deshalb für einen maßgebenden ebenen Schnitt mithilfe der FEM das Spannungs-Verformungsverhalten des gekoppelten Systems aus Baugrund und Bauwerk berechnet (Bild 14).

Die FEM-Berechnung erfolgte als physikalisch nicht lineare Scheibenberechnung mit dem Programmmodul TALPA der Sofistik Programmkette unter Verwendung des nicht linearen Materialgesetzes Hardening-Soil (Sofistik Material GRAN). Es handelt sich hierbei um ein erweitertes elastoplastisches Material mit Verfestigung, welches insbesondere das Verformungsverhalten granularer Materialien sehr gut erfasst. Mit diesem Materialgesetz werden Belastungsrichtung und die unterschiedlichen Steifigkeiten bei Erstbelastung und Ent- bzw. Wiederbelastung berücksichtigt. Die erforderlichen Bodenkennwerte wurden von der BAW aus Triaxial- und Oedometerversuchen abgeleitet und durch Nachrechnung der Elementversuche am FE-Modell verifiziert.

Die aus den nicht linearen Berechnungen abgeleiteten Erddruckverteilungen wurden mit klassischen Erddruckansätzen verglichen und als Berechnungsgrundlagen für die Stahlbetonbemessung der Bohrpfehlwand festgeschrieben (Bild 15).

#### 5 Fazit

Mit dem Neubau der Schleuse Dörverden wurde ein für den Verantwortungsbereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes innovatives Konzept für die Ausbildung der Schleusenkammer realisiert. Die Entscheidung für den Bau einer Bohrpfehlwand mit Vorsatzschale anstelle einer Spundwandkammer oder eines Stahlbetonrahmens am Standort Dörverden war von den ortsspezifischen Gegebenheiten wie Baugrund- und Grundwasserhältnissen sowie den bauwirtschaftlichen Randbedingungen im Planungs- und Vergabezeitraum wie z. B. der Stahlpreisentwicklung abhängig und kann nicht ohne Weiteres als Regelbauweise auf andere Schleusenstandorte übertragen werden. Durch einen intensiven Planungsprozess ist es gelungen, diese für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung neue Bauweise erfolgreich bis zur Ausführungsreife zu entwickeln.

##### Autoren

Dr.-Ing. Jeannette Ebers-Ernst  
Grontmij GmbH  
Karl-Wiechert-Allee 1 B  
30625 Hannover  
jeannette.ebers-ernst@grontmij.de

Dipl.-Ing. Johannes Herbort  
grbv Ingenieure im Bauwesen GmbH & Co.KG  
Expo Plaza 10  
30539 Hannover  
j.herbert@grbv.de





INGENIEURE IM BAUWESEN

**Hauptsitz Hannover**

Expo Plaza 10  
30539 Hannover  
Telefon +49 511 98494-0  
Telefax +49 511 98494-20  
info@grbv.de  
www.grbv.de

**Niederlassung Berlin**

Chausseestraße 88  
10115 Berlin  
Telefon +49 30 3001316-0  
Telefax +49 30 3001316-20  
berlin@grbv.de

**Wasserbau**

**Hochbau**

**Ingenieurbau**

**Industriebau**

**Windenergie**