

### Schleusen, Wehre, Schiffshebwerke (1.3)

#### Entwicklungen von konstruktiven, betontechnologischen und stahlbaulichen Aspekten bei hohen Schifffahrtsschleusen, dargestellt an der Schleuse Uelzen II

**Dipl.-Ing. Thilo Wachholz**

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte, Hannover

**Dipl.-Ing. Winfried Reiner**

Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte, Hannover

**Dipl.-Ing. Dieter Eichler**

Neubauamt für den Ausbau des MLK, Hannover

**Dipl.-Ing. Joachim Saathoff**

Neubauamt für den Ausbau des MLK, Hannover

**Dipl.-Ing. Günter Schulz**

Neubauamt für den Ausbau des MLK, Hannover

**Dipl.-Ing. Thomas Hesse**

Neubauamt für den Ausbau des MLK, Hannover

#### 1. Einleitung

Der Bau von Binnenschifffahrtsschleusen besitzt in Deutschland eine lang zurück reichende Tradition. Insbesondere bei der Errichtung der künstlichen Wasserstraßen zu Beginn des 20. Jahrhunderts wie beim Dortmund-Ems-Kanal oder beim Mittellandkanal sind technisch aufwändige Konstruktionen entwickelt worden. Es bestand auch damals schon ein vordringlicher Bedarf nach einer möglichst unbeeinflussten Durchgängigkeit der Schifffahrtskanäle und damit die Forderung nach einer geringen Anzahl von Abstiegsbauwerken. Benachbarte Kanalabschnitte wurden daher mit großen Niveauunterschieden geplant. Dieses führte zu neuen technischen Lösungen für die Verbindungsbauwerke dieser Abschnitte. Dort wo der Schleusenbau an seine technisch realisierbaren Grenzen stieß, wie z.B. bei den Abstiegen in Henrichenburg, Rothensee, Niederfinow und Scharnebeck, kamen Schiffshebwerke zum Einsatz.

Das Bestreben nach der Entwicklung neuer Schleusenkonstruktionen vor dem Hintergrund erweiterter konstruktiver und hydraulischer Erkenntnisse fand in Deutschland zunächst in den 70er und 80er Jahren am Elbe-Seitenkanal und am Main-Donau-Kanal seinen Höhepunkt. Die dort errichteten Schleusen erreichen Hubhöhen bis knapp 25 m. Die aktuellen Schleusenprojekte am Wasserstraßenkreuz Magdeburg basieren auf dem Konzept dieser hohen Schleusen und führen hin zu einer Renaissance des Baus derartiger massiver Schleusen, die am Elbe-Seitenkanal mit dem Neubau der Schleuse Uelzen II ihre Fortsetzung findet. In Europa und im außereuropäischen Raum sind zwar Schleusen mit wesentlich größeren Hubhöhen entwickelt und realisiert worden, jedoch handelt es sich dabei um Flussschleusen mit nicht vergleichbaren Randbedingungen wie an den genannten künstlichen Wasserstraßen.

Der Wasserhaushalt der hiesigen Kanäle macht es i.d.R. erforderlich, die Schleusen im sog. Sparbeckenbetrieb zu bewirtschaften, d.h., dass den Schleusenkammern hydraulisch angeschlossene (Wasser-) Sparbecken zuzuordnen sind. Die Bau- und Betriebserfahrungen mit diesen Bauteilen führten dazu, dass die modernen Konstruktionen in räumlich aufgelöster Bauweise mit bis zu drei abgesetzten Sparbecken erstellt wurden.

Für den Bau der Schleuse Uelzen II waren Randbedingungen zu erfüllen, die es notwendig machten, neuen Gesichtspunkten im Schleusenbau nachzugehen. Die besonderen technischen Lösungen dieses Bauwerkes, werden nachfolgend näher erläutert.

#### 2. Ausgangssituation und Projektverlauf am Beispiel Schleuse Uelzen II

Der Elbe-Seitenkanal (ESK) stellt mit seiner Länge von 115 km den binnenseitigen Wasserstraßenanschluss des Seehafens Hamburg zum nord-west-deutschen Kanalnetz dar. Zur Überwindung der 61 m Wasserspiegeldifferenz zwischen der Elbe und dem Mittellandkanal wurden in den 70er Jahren das Schiffshebwerk in Scharnebeck mit einer Hubhöhe von 38 m und die Schleuse Uelzen mit einer Hubhöhe von 23 m errichtet. Die Schleuse zählt somit zu den größten Binnenschifffahrtsschleusen Deutschlands. Die 1976 in Betrieb genommene Anlage ist eine Sparschleuse mit drei offenen, terrassenförmig seitlich der Kammer angeordneten Sparbecken. Sie besitzt eine Nutzlänge von 185 m und eine Breite von 12,00 m.

Nach der Wiedervereinigung der beiden deutschen Staaten und der Öffnung der osteuropäischen Märkte hat der Elbe-Seitenkanal erheblich an Verkehrlicher Bedeutung gewonnen. In den letzten Jahren ist ein erfreulicher Verkehrszuwachs auf bis zu 8,5 Mio. Gütertonnen pro Jahr zu verzeichnen. Dieser Trend ist weiter anhaltend.

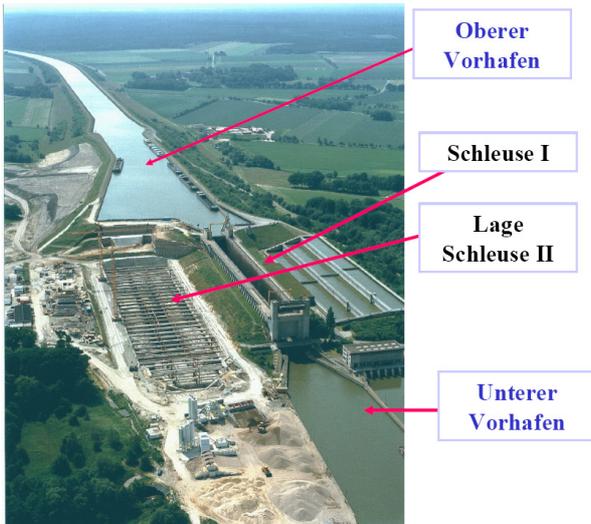
Seit der Inbetriebnahme sind an vielen Anlagenteilen der Schleuse wiederholt Schäden aufgetreten. Eine umfangreiche Untersuchung zur Gesamtsituation kommt zu dem Ergebnis, dass die Dauerhaftigkeit des Bauwerkes nicht gegeben ist. Sanierungen, die den erforderlichen Zustand wieder herstellen würden, wären mit erheblichen Kosten und bautechnischen Aufwendungen sowie einer mehrjährigen Schifffahrtssperre für den gesamten ESK verbunden. Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen entschied sich daher für den Neubau einer zweiten Schleusenkammer. Durch zwei unabhängig voneinander arbeitende Kammern ist dann auch die Betriebssicherheit der Schleusenanlage dauerhaft gewährleistet.

Grundsätzlich ist die Errichtung der neuen Schleusenkammer aus topographischen und baulichen Gründen nur östlich der bestehenden Schleusenkammer möglich. Nach Abwägung aller nautischen, topographischen und geotechnischen Randbedingungen wird die neue Schleuse Uelzen II in einem Achsabstand von 70 m und parallel zur Schleuse Uelzen I errichtet. (Bild 1)

Für die Festlegung von Abmessungen einer Schleusenkammer ist die zukünftige Struktur der Schifffahrtsflotte in dem betrachteten Wasserstraßenabschnitt entscheidend. Seit längerem zeichnet sich ein eindeutiger Trend hin zu größeren Schiffen ab. In Zukunft wird

## Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen (1)

Entwicklungen von konstruktiven, betontechnologischen und stahlbaulichen Aspekten bei hohen Schifffahrtsschleusen, dargestellt an der Schleuse Uelzen II



**Bild 1:** Schleusenanlage Uelzen

das Großmotorgüterschiff von bis zu 135 m Länge und der Schubverband mit zwei Leichtern und einer Länge von bis zu 185 m dominieren. Die Breite dieser Fahrzeuge beträgt 11,45 m, die Abladetiefe 2,80 m. Die Schleusenammer Uelzen II erhält daher eine nutzbare Breite von 12,50 m und eine nutzbare Kammerlänge von 190 m. Die Drempeltiefe von 4,00 m unter Normalwasserstand entspricht der Wassertiefe im anschließenden Kanalnetz. Unter Einbeziehung aller Bauwerksteile erhält die neue Schleuse eine Gesamtlänge vom 311,00 m und eine Gesamtbreite von 52,50 m. Die Hubhöhe beträgt 23,00 m, wobei die Gesamthöhe des Bauwerkes von seiner Gründungssohle bis zur Oberkante 36,50 m betragen wird.

Als wesentliche Baumassen sind zu nennen:

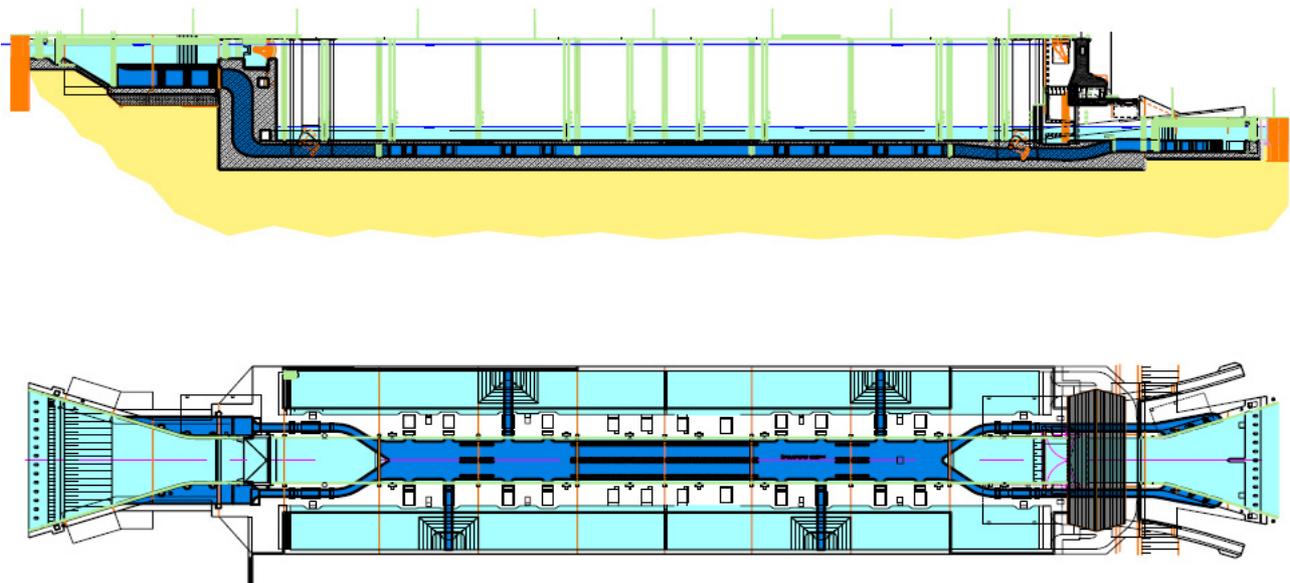
|                             |                          |
|-----------------------------|--------------------------|
| Stahlbeton                  | = 240.000 m <sup>3</sup> |
| Bewehrung                   | = 33.000 t               |
| Erd- und Nassbaggerarbeiten | = 550.000 m <sup>3</sup> |
| Stahlwasserbau              | = 1400 t                 |

### 3. Aufbau der Schleuse Uelzen II

Im Einlaufbereich verjüngt sich der Anschluss zum Oberen Vorhafen im Verhältnis 1:3 auf die Kammerbreite von 12,50 m. Die Kanalsole wird über eine geneigte Ebene auf die Höhe der seitlichen Längskanaleinläufe hinabgezogen. An den Einlaufbereich schließt das Oberhaupt an. Sein Drempel lässt eine Einfahrtiefe von 4 m zu. Das Oberhaupt enthält die Aussparungen für das Obertor und die Vorrichtungen zum Setzen eines Revisionsverschlusses zum Trockenlegen des Torraumes. Die Schleusenammer selbst ist mit ihrer nutzbaren Länge von 190 m und einer Breite von 12,5 m das Kernstück der Anlage. (Bild 2) Längskanäle verbinden das unterhalb der Kammersole verlaufende Grundlaufsystem mit den Ein- und Auslaufbauwerken. Insgesamt vier Längskanalverschlüsse regeln den Wasseraustausch zu den Kanalhaltungen. Die zugehörigen Antriebe sind in Räumen neben jedem Verschluss untergebracht. Der Zugang zu den Antriebsräumen wird durch einen Verbindungsgang geschaffen, der jeweils seitlich der Kammer vom Ober- zum Unterhaupt führt. Im Unterschied zur bestehenden Schleuse werden die Sparbecken beidseitig übereinander und geschlossen angeordnet. Die gewählte Konstruktion ermöglicht zudem die Integration einer vierten Sparbeckenebene, so dass nun je Schließung rd. 70 % Wasserentlastung aus der oberen Kanalhaltung eingespart werden kann. Die Sparbecken sind über Zulaufkanäle mit dem Grundlaufsystem verbunden. Das Unterhaupt schließt die Kammer durch eine oben liegende Betonwand (Maske) und dem unten liegenden Untertor ab. An das Unterhaupt schließt sich das Auslaufbauwerk mit dem Tosbecken und der Ausfahrt aus der Kammer zum Unterwasser an. Dieses Bauwerksteil wird von einer Unterhauptbrücke überspannt.

### 4. Schleusenkonstruktion

Der neuartige Planungsansatz für Schleusen ist, durchgängig kompakte Massivbauwerke mit einer statisch einfachen (ebenen) Konstruktion zu schaffen. Dabei sind als Grundlage bewährten Schleusenkonstruktionen zu wählen.



**Bild 2:** Längsschnitt und Draufsicht der Schleuse Uelzen II

## Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen (1)

Entwicklungen von konstruktiven, betontechnologischen und stahlbaulichen Aspekten bei hohen Schifffahrtsschleusen, dargestellt an der Schleuse Uelzen II

Bei der neuen Schleuse Uelzen II wird die Kammer analog zu den hohen Schleusen am Main-Donau-Kanal im Querschnitt symmetrisch als U-förmiger, massiver Stahlbetonrahmen ausgeführt, gestützt durch eine hohe seitliche Anschüttung. Die Grundlaufdecke ist so ausgebildet, dass sie für die Lastabtragung des U-Rahmens keine Funktion erhält. Dies ermöglicht ein einfaches statisch bestimmtes System. Die Steifigkeit der Sohle des U-Rahmens ist in Längsrichtung abgestuft. An die sehr massiven und querverformungsbehinderten steifen Häupter schließt die Kammer zunächst mit einer 8 m dicken Sohle an, in der die Längskanäle geführt werden. Erst darauf folgen die Kammerelemente mit einer Sohlstärke von 3,25 m, in denen der Grundlauf angeordnet ist. Durch diese Abstufung sollen große Unterschiede im Querverformungsverhalten der Bauteile vermieden werden.

Durch die beidseitige Anordnung der Sparbecken an die Schleusenkammer in Geschossbauweise wird in Bezug auf die Wechsellastbeanspruchung eine günstigere Gründungssituation und durch das seitliche Rahmentragwerk der Sparbecken eine verbesserte Aussteifung der Kammerwände erreicht. Außerdem ermöglicht die gedrungene Konstruktion eine geschlossene Geometrie der Baugrube und bietet durch die kurzen Zulaufverbindungen Vorteile bei der Hydraulik.

### 5. Neues hydraulisches System

Bei der Schleuse Uelzen II stellt ein Längskanalsystem mit Grundkanal und Fülldüsen die Verbindung zwischen dem Oberen Vorhafen, der Kammer und dem Unteren Vorhafen her (Bild 2). Beginnend im Einlaufbauwerk sind dazu seitlich des Oberhauptes zwei große Fallschächte als Längskanäle angeordnet. Diese münden in den Grundkanal (Druckkammer) unterhalb der Kammersohle. Die Befüllung der Schleusenkammer aus dem Grundkanal erfolgt über 336 Fülldüsen in der Grundkanaldecke im Bereiche der Viertelpunkte sowie in der Kammermitte. Am Ende des Grundkanals zweigen wiederum zwei Längskanäle ab, die in ein vertieftes Tosbecken im Unteren Vorhafen münden. Zulaufkanäle verbinden die einzelnen Sparbeckenebenen mit dem Grundlaufsystem in den äußeren Viertelpunkten. Der

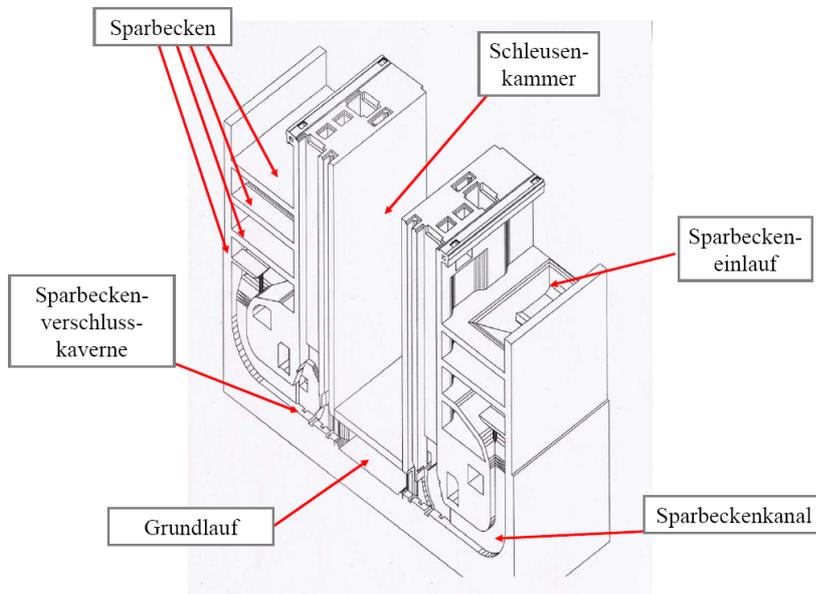


Bild 3: 3D- Ansicht eines Regelblockes

Zu- und Abfluss wird mit insgesamt 16 doppelt kehrenden Schützen geregelt. Die Befüllung der Schleusenkammer erfolgt im Normalbetrieb zu 70 % über die vier Sparbecken und zu 30 % aus dem Oberen Vorhafen. Die 3D-Ansicht eines Regelblockes veranschaulicht das komplexe Gesamtsystem (Bild 3).

Bei der Festlegung dieses hydraulischen Systems wurde einerseits auf bewährte Systeme zurückgegriffen, andererseits aber auch neue Elemente entwickelt. So bestehen das Ein- und Auslaufbauwerk aus einer Kombination der entsprechenden Bauteile der hohen Schleusen am Main-Donau-Kanal und Uelzen I. Die Befüllung der Kammer über Fülldüsen ist neueren Schleusen nachempfunden. Bei der Geschossbauweise der Sparbecken konnte auf ältere bewährte Anlagen wie die Schachtschleuse in Minden und die Schleuse Andern zurückgegriffen werden. Zur Untersuchung der hydraulischen Gesamtwirkung und Bestätigung der Leistungsfähigkeit dieses neuartigen hydraulischen Systems einer Schleuse mit kurzen Zuläufen zu übereinander angeordneten Sparbecken wurde bei der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe ein hydraulisches Modell im Maßstab 1:20 errichtet und erfolgreich getestet. Im Ergebnis ist die neue Schleuse mit einem Zeitbedarf für eine reguläre Wasserentleerung von ca. 16 min vergleichbar schnell und damit genauso leistungsfähig wie die Schleuse Uelzen I. Mit einer Fallgeschwindigkeit von rd. 1,4 m/min ist sie eine der schnellsten Schleusen Europas.

### 6. Tendenzen im Massivbau

#### 6.1 Bauweise, Fugen

Nach den Vorgaben in der Normung der DIN 19703 sind an Schleusen Bauwerksraumfugen in Abständen von 15 m herzustellen. Die Schäden an der Schleuse Uelzen I haben gezeigt, dass Raumfugen die wesentlichen Schwachstellen einer Konstruktion darstellen, verbunden mit einem erheblichen Schadenspotential. Auch wegen der besseren geometrischen Verträglichkeit zu den Anforderungen des hydraulischen Systems im Inneren der Schleuse wurde in der Planung das Grundmaß der Kammerlamellen auf 25 m erweitert.

Weiterhin wurde wegen der technischen Vorteile das Bauwerk bis ca. 16 m oberhalb der Bauwerkssohle ohne Raumfuge erstellt (teilmonolithische Bauweise). Damit wird erreicht, dass die Schleuse im Grundwasser keine Fugen aufweist. Diese Konstruktion bewirkt außerdem im Baugrund eine stetige und flache Setzungsmulde. Verkantungen der Bauwerksteile sind nicht möglich, Verdrehungen deutlich reduziert.

Durch den Entfall der Fugen im Einflussbereich des Grundwassers werden potentielle Fehlstellen, die bei einer Fugenbandleckage zum Bodenzug und ggf. zum Versagen des Bauwerkes führen könnten, ausgeschlossen.

In den aufgehenden Schleusenbauteilen nehmen Temperaturwechselbeanspruchung und Schwindverkürzung zu.

## Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen (1)

Entwicklungen von konstruktiven, betontechnologischen und stahlbaulichen Aspekten bei hohen Schifffahrtsschleusen, dargestellt an der Schleuse Uelzen II

Um die daraus resultierenden Zwangsbeanspruchung zu beherrschen, wird dort eine Fugenteilung von 25 m beibehalten. Die durch die Konstruktion der Sohle verringerten Verformungen bewirken, dass die verbleibenden Fugenbänder für kleinere Dehnungswege ausgelegt und fest eingebaut werden können. Auf die unterhaltungsaufwendigen geflanschten Fugenbandkonstruktionen kann komplett verzichtet werden.

Nachdem die teilmonolithische Bauweise technologisch beherrschbar ist, erscheint aus heutiger Sicht grundsätzlich auch eine vollständig monolithische, d.h. raumfugenlose Bauweise realisierbar. Neben den technischen Vorteilen muss für eine derartige Konstruktion je nach den Randbedingungen des Projekts auch der wirtschaftliche Vorteil nachgewiesen werden. Dabei sind insbesondere die Bewehrungsgehalte der fugenbehafteten und der fugenlosen Bauweise maßgebend.

In den verbleibenden wasserdruckbeanspruchten Fugen werden heute grundsätzlich bei allen Schleusenbauten 2 Dichtungsbänder hintereinander angeordnet, da ein Versagen bzw. eine Fehlstelle von Fugenbändern Leckagen mit erheblichen Folgeschäden aus Unterspülungen, Setzungen, Verkantungen hervorrufen kann. Im Übergang zu den „leichteren“ Bauwerksteilen wie Einlaufbauwerk oder Auslaufbauwerk werden die Elastomere i.d.R. nach Abschluss der Primärsetzungen des Massivbauwerkes in den Zweitbeton eingebaut.

Das Basismaterial der Dichtungsfugenbänder ist hochwertiger Kautschuk, die Anforderungen der DIN 7865 müssen erfüllt sein. An den Enden des Elastomers sind Blechstreifen einvulkanisiert, womit ein wasserundurchlässiger Haftverbund an den Beton erreicht wird.

### 6.2 Stahlbetonarbeiten

Die Betonarbeiten einer massiven Schleuse erstrecken sich über einen langen Zeitraum. Zur Entlastung des Umfeldes von Betonfahrzeugen für die großen Betonmengen sind auf der Baustelle örtliche Betonmischanlage vorgeschrieben. Diese Anforderung hat bei großen Betonagemengen neben den positiven Auswirkungen auf die Umwelt auch ökonomische Vorteile. Da sich die Schleusenbaustelle „naturgemäß“ an einer Wasserstraße befindet, werden die Betonzuschläge - wie auch alle sonstigen wesentlichen Massen - per Schiff zur Baustelle transportiert. Mit der Vor-Ort-Herstellung des Betons kann die Qualität des Baustoffs besser und schneller überwacht und gesteuert werden.

Den Transport des in der Ortbetonmischanlage hergestellten Betons hin zur Einbaustelle wählt der Unternehmer nach seiner Erfahrung und Verantwortung (z.B. LKW-Zwischentransport und Übergabe an den Einbauort mittels Pumpwagen mit Ausleger oder Pumpleitung von der Ortbetonmischanlage direkt zur Einbaustelle). Der Beton ist in Lagen von etwa 50 cm Höhe einzubauen und durch Innenrüttler zu verdichten.

Bei der Qualitätssicherung des Betons gelten die Grundlagen der geltenden Betonnormen einschließlich der im Verkehrswasserbau für den Neubau von Betonbauwerken maßgeblichen ZTV-W LB 215. Bezüglich der Dauerhaftigkeitsanforderungen wird u.a. unterschieden in Bauteile ohne Frostbeanspruchung (Sohle), Bauteile mit Frostbeanspruchung und hohem Widerstand gegen mechanische Einwirkungen (Kammerwand) oder mit Frost-Tausalzbeanspruchung (Schleu-

senwandplanie). Der jeweils dafür erforderliche Beton wird üblicher Weise innerhalb des gesamten Bauteils verwendet, obwohl die Anforderung i.d.R. nur im oberflächennahen Bauteilbereich erforderlich ist. Diese Bauweise führte in der Vergangenheit oftmals zu Konflikten mit einer weiteren Anforderung an den Beton für massige Bauteile, nämlich die Begrenzung der Abbindewärme (Hydratationswärme) des Betons im jungen Alter. Ziel dabei ist die Minimierung von Zwangsspannungen und der ggf. daraus resultierenden Risse oder eine Optimierung der Bewehrung. Die Anforderungen an die Betonzusammensetzung zur Minimierung der Wärmeentwicklung und zur Optimierung bestimmter Dauerhaftigkeitseigenschaften des Betons sind zumindest teilweise gegensätzlich, beispielsweise bei Zementart und Zementgehalt.

Zumindest in Teilbereichen wurde für die Schleuse Uelzen II eine Entkopplung der Dauerhaftigkeits- und der Hydratationswärmeproblematik angestrebt. In bestimmten Bereichen ist durch eine Auflösung in Rand- und Kernbeton eine zonierte Bauweise zur Anwendung gekommen (Bild 4). Der Randbereich ist ein Beton mit den erforderlichen Dauerhaftigkeitseigenschaften, im Kernbereich wurde ein Beton verwendet, bei dem ein größerer Anteil Zement durch Flugasche aus der Kraftwerksfiltration ersetzt ist. Rand- und Kernbeton wurden dabei in Lagen frisch in frisch eingebaut. Unterschiedliche Konsistenzen und Tönungen, bedingt durch die unterschiedlichen Zemente bzw. Zementanteile, lassen sich beide Rezepturen sehr gut beim Einbau unterscheiden.

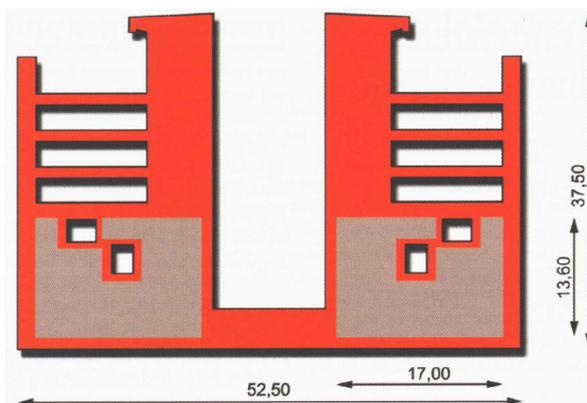


Bild 4: zonierte Bauweise mit Rand- und Kernbeton

Für den im Verkehrswasserbau wesentlichen Dauerhaftigkeitsaspekt des Betonfrostwiderstandes wird ein spezieller Nachweis nach dem CIF/CDF-Verfahren gefordert. Die technischen und vertraglichen Grundlagen hierfür schaffen die ZTV-W LB 219. Beim Projekt Uelzen II erwies sich der Kammerwandbeton unter Verwendung von  $270 \text{ kg/m}^3$  CEM II/BS und Luftporenbildner dazu völlig unkritisch.

Für die Wasserundurchlässigkeit und die Dauerhaftigkeit von massiven Wasserbauwerken ist es notwendig, die Rissbreiten zu begrenzen. In den ZTV-W LB 215 wird dafür der Rechenwert  $w_{\text{cal}} = 0,25 \text{ mm}$  vorgegeben. Eine wesentliche risserzeugende Einwirkung ist die Dehnungsbehinderung bei Abfließen der Hydratationswärme, der frühe Zwang. Die Zwangsbeanspruchung zu diesem Zeitpunkt ist häufig maßgeblich für die Bemessung. Hierfür sind besondere Untersuchungen und numerische Nachweise zu führen.

## Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen (1)

Entwicklungen von konstruktiven, betontechnologischen und stahlbaulichen Aspekten bei hohen Schifffahrtsschleusen, dargestellt an der Schleuse Uelzen II

Als Ergebnis der Bemessung wurde in der 3,75 m dicken Sohlplatte der Schleuse Uelzen II eine Bewehrung von 8 Lagen oben und 5 Lagen unten  $\varnothing 28$  alle 12,5 cm eingebaut. In den aufgehenden Kammerwänden und den Sparbeckenwänden waren i.d.R. 2 Lagen  $\varnothing 28$ ,  $e = 12,5$  cm erforderlich. Insgesamt wurden für die Gesamtkubatur von 240.000 m<sup>3</sup> Beton rd. 33.000 t Stahl benötigt, entsprechend einem Bewehrungsgehalt von 137,5 kg/m<sup>3</sup> (Bild 5). Die wesentlichen Gründe für die hohen Bewehrungsmengen sind die hohen Anforderungen der Gebrauchstauglichkeit, der Dauerhaftigkeit und der Mindestbewehrung. Der Bewehrungsgehalt wäre bei einer fugenbehafteten Bauweise des Sohlbe-



Bild 5: Bewehrungsarbeiten

reichs in gleicher Größenordnung erforderlich gewesen.

### 7. Ausrüstung der Schleuse Uelzen II und ableitbare Tendenzen

#### 7.1 Stahlwasserbau und maschinentechnische Anlagen

Das Obertor der Schleuse Uelzen II ist ein Zugsegment und wird mit einem beidseitigen elektro-mechanischen Kompakt-Antrieb bewegt. Als Untertor kommt als neuar-

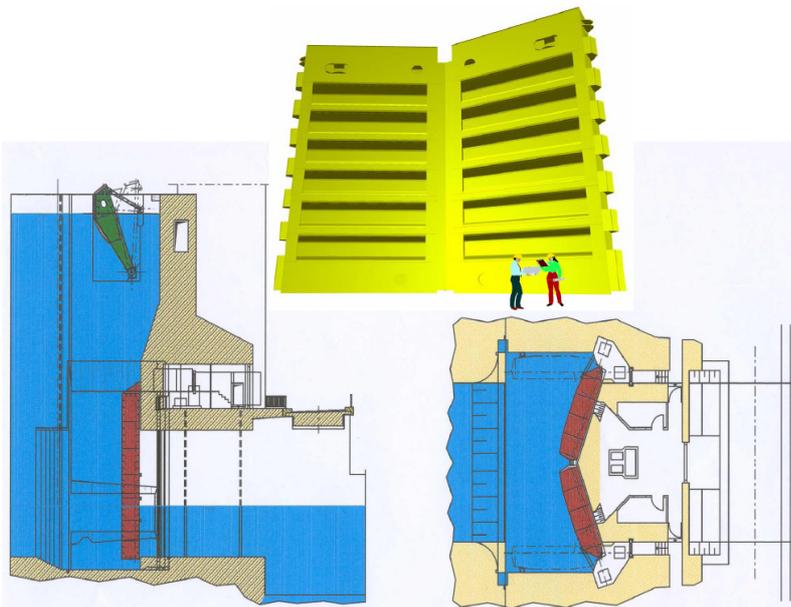


Bild 6: Untertor als überstautes Stemmtor mit Kopfdichtung

tiges Verschlusssystem ein überstautes Stemmtor mit Kopfdichtung zum Einsatz (Bild 6). Der Antrieb dieses Verschlusses erfolgt ebenfalls mit Hilfe elektro-mechanischer Kompakt-Antriebe mittig aus einem Antriebsraum innerhalb der Querwand des Unterhauptes.

Die Längskanalverschlüsse in den Schützlamellen des Ober- und Unterhauptes sind Zugsegmente. Sie liegen in den Längskanälen am Ober- und Unterhaupt. Auch diese Verschlüsse werden mit Hilfe elektro-mechanischer Kompakt-Antriebe bewegt. Segmentverschlüsse mit einem gleichartigen Antrieb sind auch in den Sparbeckenzuläufen als Sparbeckenverschlüsse gewählt worden. Sie wirken bei gefüllter Kammer als Drucksegment, bei gefüllten Sparbecken als Zugsegment.

Längskanal- und Sparbeckenrevisionsverschlüsse sind einfache Gleittafeln. Als Revisionsverschlüsse für die Tore dienen Dammbalken. Die 16 Schwimmpoller erhalten eine Ausführung entsprechend der DIN 19703. Zusätzlich sind für die Sportschifffahrt gesonderte Schwimmpoller installiert.

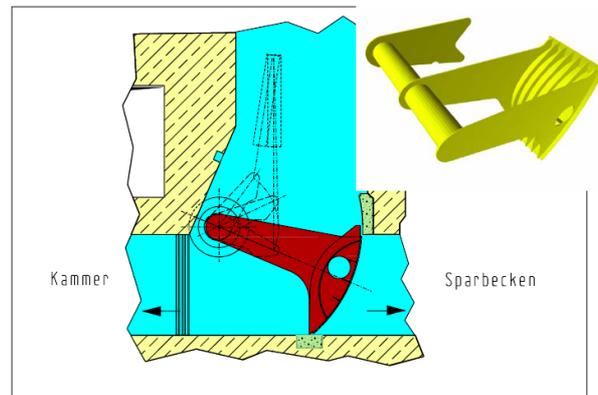


Bild 7: Sparbeckenverschluss, wechselseitig belastet

Das Grundkonzept bei der Planung der Stahlwasserbauelemente der Schleuse Uelzen II bestand darin, Bauelemente weitestgehend zu vereinheitlichen und dabei auf bewährte und wirtschaftliche Komponenten zurückzugreifen. Das Drucksegmenttor hat sich bei anderen Schleusen in Deutschland bewährt. Als Untertor wurde das klassische Stemmtor gewählt, das als Falwerk deutliche betriebliche Vorteile hat. Mit dem Überstau des Untertores wird in Uelzen allerdings ein neuer Weg beschritten. Als tiefe Schütze haben sich Segmentverschlüsse sehr gut bewährt. Da die Sparbeckenverschlüsse wechselseitig belastet werden, sind diese in Uelzen erstmalig doppeltkehrend ausgebildet (Bild 7). Diesen neuartigen Einsatz hatte die Bundesanstalt für Wasserbau zuvor intensiv in einem Modell untersucht. Mit der Wahl der o.g. Verschlussarten gelingt es, durchgängig drehende Elemente zu integrieren und auf die in der Unterhaltung sehr aufwändigen gleitenden und rollenden Verschlüsse zu verzichten. Auch die Konzeption für die Antriebe der Betriebsverschlüsse sieht eine Vereinheitlichung und eine Vereinfachung vor. Elektromechanische Kompaktantriebe bilden hierfür den Grundstein. Damit gelingt

es sogar, die Antriebsanforderungen aller Verschlüsse nur durch einen Antriebstyp zu erfüllen, was zu einer fast absoluten Baugleichheit der Antriebe führt.

In der Regel sind diese Stahlwasserbauten aus unlegiertem Stahl (Baustahl) hergestellt, jedoch kommen aus Gründen des Korrosionsschutzes und daraus folgend auch an speziellen Konstruktionsteilen nichtrostende Stähle (Niro) zum Einsatz. Durch den verstärkten Einsatz von nichtrostendem Stahl und dessen Kombination mit unlegiertem Stahl kommt es aber an Stahlwasserbaukonstruktionen vermehrt zu Schäden infolge elektrochemischer Korrosion. Auf Grund dieser Schäden wird in einem Merkblatt *Einsatz von nichtrostendem Stahl im Stahlwasserbau* der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, empfohlen, den Einsatz von nichtrostenden Stählen generell zu minimieren bzw. zu vermeiden. Bei unvermeidbarer Verwendung von nichtrostendem Stahl ist dessen Fläche gering zu halten und soweit möglich zu beschichten. Der direkte Kontakt zwischen unlegiertem und nichtrostendem Stahl ist generell zu vermeiden. Das gilt insbesondere für die Verbindungsmittel. Schraubverbindungen aus nichtrostendem Stahl sind nicht mehr einzubauen. Statt dessen sollen Schrauben aus unlegiertem Stahl zum Einsatz gelangen, die grundsätzlich, wie auch das angrenzende Bauteil, fachgerecht zu beschichten sind. Lauf-, Schleif- und Dichtungsflächen müssen allerdings wegen ihrer besonderen Belastung auch weiterhin aus nichtrostendem Stahl hergestellt werden. Diese sollten jedoch zusätzlich beschichtet werden.

Für den erweiterten Korrosionsschutz können auch aktive Maßnahmen geeignet sein (Kathodischer Korrosionsschutz (KKS) als Opferanoden oder mit Fremdstrom). Der KKS schützt die Flächen am unlegierten Stahl, an denen Schadstellen an der Beschichtung entstanden sind.

### 7.2 Allgemeine Ausrüstung für die Schifffahrt

Für die übrige Ausrüstung der Schleusen stellt die DIN 19703 die Grundlage dar. Bei hohen Schleusen werden die Leitern im Kammerbereich in Nischen rechtwinklig zur Kammerwand angebracht. Die Leitern stehen damit nicht mehr im Kammerquerschnitt. Der Aufstieg ist dadurch sicherer möglich und es soll so verhindert werden, dass Sportboote und Berufsschifffahrt die Leitern beim Schleusen als Festmacher benutzen. Die Nischen dienen auch als Einbaubereich für möglicherweise zusätzlich erforderliche aufzusetzende Fugenbänder.

### 7.3 Elektro- und Steuerungstechnik

Die Versorgung aller Anlagenteile einer Schleuse mit elektrischer Energie muss redundant erfolgen. Zur Aufrechterhaltung eines Notbetriebes bei Netzausfall ist am Hauptverteiler der Anschluss eines - ggf. mobilen - Notstromaggregates vorzusehen. Die wichtigsten Anlagenteile sind an eine Unabhängige Stromversorgung (USV) angeschlossen, um die notwendigsten Schließungsvorgänge im Falle eines Netzausfalles vornehmen zu können.

Für die Steuerung der Anlagenteile eignen sich die modernen Schaltsysteme aus dem allgemeinen Anlagenbau. Besondere Anforderungen an Schleusen bestehen insbesondere hinsichtlich des Schutzniveaus gegen Feuchtigkeit.

### 7.4 Schleusenleitzentrale und betriebliche Einrichtungen

Auf ein Schleusenbetriebsgebäude im Nahbereich der Schleusenammer kann grundsätzlich verzichtet werden, weil die moderne Steuerungs- und Leittechnik - in Analogie zur Flugsicherung oder zur Leittechnik bei der Deutschen Bahn - eine Beobachtung und Steuerung des Verkehrs auch aus einer abgewandten Position heraus ermöglicht. Die Schleusenvorgänge werden durch Videokameras so überwacht, dass eine direkte Einsichtnahme in die Kammer und in die Vorhäfen entbehrlich ist.

Daher wird die Steuerung von Doppelschleusenanlagen künftig nur noch von einem Bedienstand aus erfolgen. Bei weniger belasteten Schleusen ist eine Fernbedienung von einer Revierzentrale aus vorgesehen. Im Fall einer nur geringen Schiffsfrequenz erfolgt eine Selbstbedienung der Schleuse durch die Schifffahrt mit Fernüberwachung. In der Schleusenwarte müssen neben dem Steuerpult und der Monitorüberwachung auch Einrichtungen und Techniken für die sonstigen Betriebserfordernisse zur Verfügung gestellt werden. Dazu zählen insbesondere die Zentralsteuerung, die Nachrichtentechnik, Feuermelde- und Löschtechnik, Klimatechnik und Sozialbereiche für das Betriebspersonal. Auch weniger belastete Schleusen benötigen eine technisch gleichwertige, qualitativ weniger aufwendige Leitstelle, da diese Anlagen ggf. auch Vor-Ort gesteuert werden müssen.

Für die Ausbildung des Leitstandes und der sonstigen betrieblichen Einrichtungen und Räume sind neben den grundsätzlichen hochbaulichen und gestalterischen Aspekten besonders die Anforderungen des Brandschutzes zu berücksichtigen. Dieses gilt sowohl für den passiven als auch für den organisatorischen Schutz. Die Maßnahmen sollten durch ein Brandschutzgutachten belegt und mit der örtlichen Feuerwehr abgestimmt sein. Schleusenbetriebsgebäude bzw. Leitstände sind außerdem behindertengerecht zu gestalten.

### 7.5 Sicherheits- und Gesundheitsschutz

Die Schleusenanlagen müssen für den Benutzer (die Schifffahrt) und den Bediener sowie die an der Anlage arbeitenden Personen sicher entworfen und gebaut sein. Es ist dabei zu beachten, dass sowohl beim Schließungsprozess als auch beim Betrieb und der Wartung der Anlagen Sachen und vor allem Personen nicht zu Schaden kommen. Neben der Analyse der besonderen Gefahrensituationen für die Benutzer, die von einer Schleuse als Gesamtanlage ausgehen, kommt bei der Risikoeinschätzung der von Anlagenteilen ausgehenden Gefahren insbesondere die Maschinenrichtlinie der EU (Richtlinie 98/37/EG) zur Anwendung. Dadurch wird die Einhaltung EU-weit harmonisierter Forderungen an die Sicherheit und Gesundheit von Personen und Sachen gewährleistet.

## 8. Entwicklungen bei Gründungen, Baugruben- und Bodenkonzeption

Mit einer kompakten, fugenlosen Konstruktion, insbesondere im Sohlbereich, wird die Schleusenammer durchgehend gegründet. Kleinräumige Inhomogenitäten im Baugrund werden dadurch ausgeglichen. Infolgedessen sind einheitliche Setzungen über das gesamte Bauwerk zu erwarten.

## Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen (1)

Entwicklungen von konstruktiven, betontechnologischen und stahlbaulichen Aspekten bei hohen Schiffahrtsschleusen, dargestellt an der Schleuse Uelzen II

Für die Bauaufgabe der Schleuse Uelzen II waren die anstehenden Sande als nicht bettungsempfindlich einzustufen. Allerdings stellte hier das von der Schleuse I bekannte erheblich negativ wirkende Verformungsverhalten des Baugrundes aufgrund der hohen wechselnden Beanspruchungen besondere Anforderungen an die Konstruktion. Mit der Wahl einer durchgängigen Sohle und der beidseitigen Anordnung der Sparbecken auf einer gemeinsamen Gründungssohle mit der Kammer kommt die Schleusenkonstruktion dieser Randbedingung aus dem Baugrund bestmöglich nach.

Die grundsätzliche Aufgabe bei der Wahl des Baugrunderkonzeptes besteht darin, unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten eine Konstruktion auszuwählen, die den Einfluss der Baugrube auf die bestehende Nachbarbebauung wie Schleusenkammer, Dämme usw. minimiert und den Grundwasserhaushalt während der Bauphase so gering wie möglich beeinträchtigt. Der Verbau ist daher insbesondere bei tiefen Baugruben verformungsarm auszubilden, wozu i.d.R. nur aufwändige Verbaulösungen aus Schlitzwänden oder Bohrpfehlwänden mit entsprechender meist mehrlagiger Verankerungen geeignet sind. Auch ausgesteifte Lösungen sind denkbar. Diese stören den späteren Baubetrieb der Stahlbetonarbeiten nicht wesentlich. Ausgeschrieben wird i.d.R. die Wand-Sohle-Bauweise, wobei die Konstruktion einer steifen Sohle zur Stabilisierung des Fußpunktes der Verbauwand erforderlich wird. Sollte in der Tiefe der Gründungssohle eine dichtende Bodenschicht oder sogar Fels anstehen, ist zu untersuchen, ob die vertikalen Verbauwände in diese dichtend einbinden können und somit auf die dichtende und aussteifende Sohle verzichtet werden kann.

Beim Projekt Uelzen II erfolgte aufgrund eines Sondervorschlages die vertikale Stützung und Dichtung der Baugrube über eine Schlitzwandeneinfassung und eine daran anschließende mitteltief liegende horizontale Düsenstrahlsohle als untere Dichtung. Die Lastabtragung der Schlitzwände erfolgte über eine 2-lagige Innenaussteifung. Die dritte untere Aussteifungslage bildete die Düsenstrahlsohle. Die Auftriebskräfte, die auf die Sohlendichtung wirkten, wurden über spezielle GEWI-Verankerungen abgetragen (Bild 8).

Der Geländesprung zum Oberen Vorhafen musste besonders gesichert werden. Insgesamt war dort ein Geländesprung von 36 m Höhe durch einen steifen Verbau mit einer dreifach rückverankerte Bohrpfehl-

wand abzufangen (Bild 9). Gegen möglichen Wasserdurchströmungen aus dem Oberen Kanalabschnitt waren im Damm spezielle Abdichtungen und Vorsorgemaßnahmen zum Abpumpen erforderlich.

Der gesamte Baugrubenaushub verblieb im Bereich der neuen Schleusenanlage und wurde überwiegend für die Dämme im Zuge der Erweiterung des oberen Vorhafens und als Anschüttung für die Schleuse verwendet. Die überschüssigen Bodenmassen sind im Rahmen einer ökologischen Ausgleichsmaßnahme östlich des oberen Vorhafens eingebaut worden.



Bild 9: Baugrubenverbau

### 9. Maßnahmen an den Vorhäfen

Ein neues Schleusenbauwerk benötigt Anschlüsse an die bestehenden Vorhäfen. Wegen des gesteigerten Raumbedarfs der neuen großen Schiffseinheiten und wegen des Verkehrszuwachses kann es erforderlich werden, die Vorhäfen auszubauen.

Der Obere Vorhafen der Schleuse Uelzen liegt in einer Dammstrecke (Bild 10), die Kanalsohle ist daher gedichtet. Für den Neubau der Schleuse II ergaben sich dadurch besondere bauliche Maßnahmen. Seitlich an den vorhandenen Kanaldamm ist aus den überschüssigen Bodenmassen der Baugrube eine Dammerweiterung hergestellt worden. Dort hinein wurden die Uferspundwände für die neuen zukünftigen Start- und Liegeplätze der Schiffe gestellt. Der Einbau der Dichtung und Sohlsicherung, bestehend aus 30 cm Tondichtung, einer Lage Geotextil und 60 cm Wasserbausteinen, erfolgte überwiegend im Trocken.

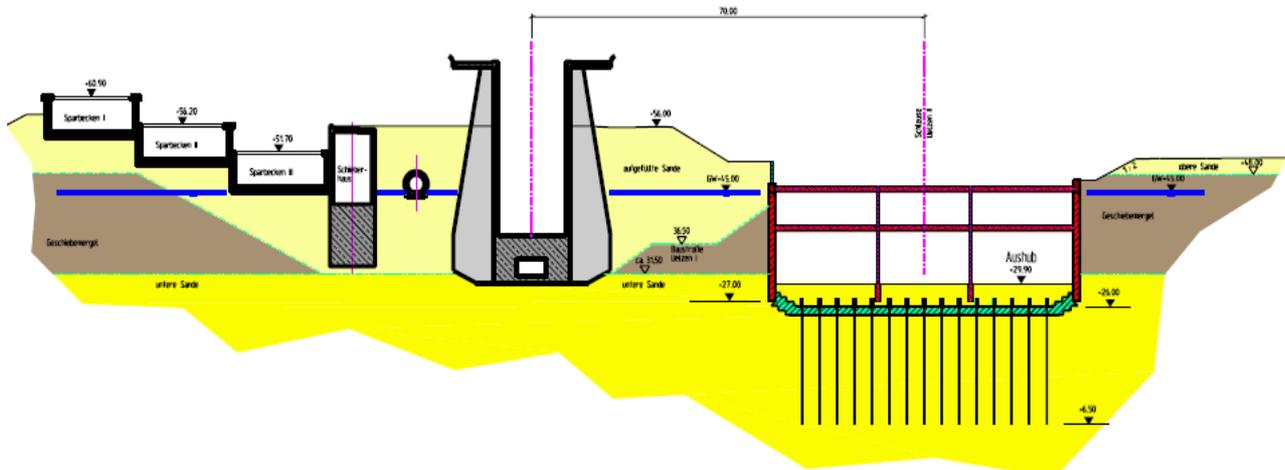


Bild 8: Baugrund und Baugrubenkonzept

## Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen (1)

Entwicklungen von konstruktiven, betontechnologischen und stahlbaulichen Aspekten bei hohen Schifffahrtsschleusen, dargestellt an der Schleuse Uelzen II

Der Untere Vorhafen liegt im Einschnitt, die Kanalsohle dort ist nicht gedichtet. Zusätzlicher Raumbedarf für nautische Manöver wird hier im Gegensatz zum Oberen Vorhafen nicht benötigt. Der Anschluss der Schleuse und die Anpassung des Unteren Vorhafens für das neue Schleusenbauwerk erfolgten entlang der neuen Vorhafelinie durch rückverankerte Spundwände für Start- und Liegeplätze. Nach dem Rammen der neuen Uferwand und deren Verankerung wurde der Aushub des Bodenkörpers teilweise unter Wasser mit anschließendem Einbau der Sohlensicherung im Nassen vorgenommen.



**Bild 10:** Oberer Vorhafen, Dammstrecke

Beim Ausbau der Vorhäfen sind auch kreuzende Bauwerke wie Brücken, Düker und Durchlässe zu beachten. Anpassungen oder Umbauten können erforderlich werden. Für die Vorhäfen der Schleuse Uelzen II waren ein Durchlass (Verlängerung und Verstärkung) und ein Düker mit seinen aufsteigenden Bauteilen betroffen.

### 10. Prognoseverfahren und Beweissicherung

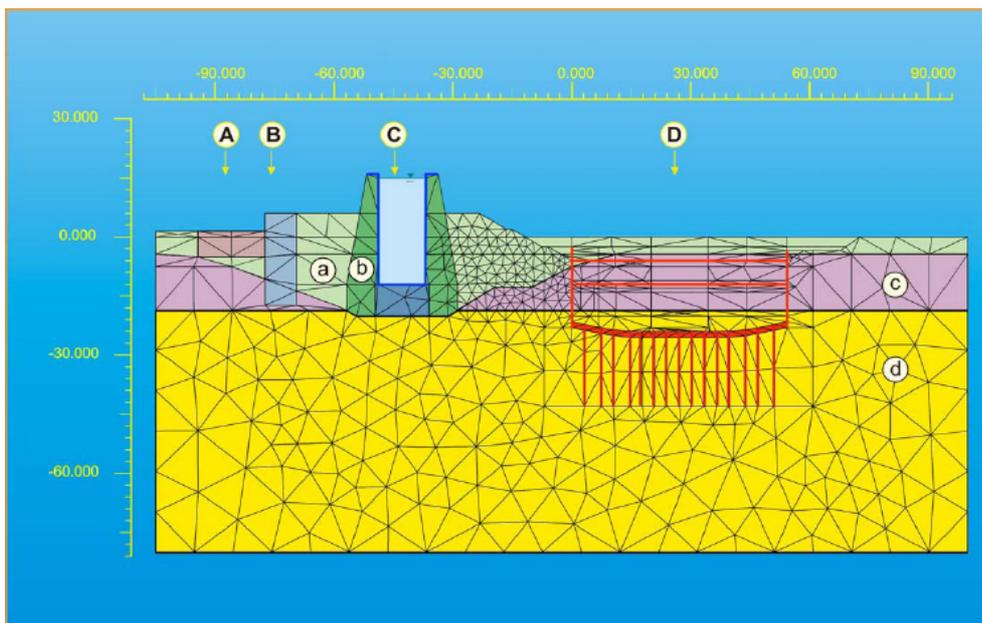
Bei komplexen Baubedingungen spielen die Wechselwirkungen der Baugrube und der zukünftigen Betriebszustände auf die umliegende Bebauung und das übrige Umfeld in Bezug auf die Geotechnik und den Natur-

schutz eine besondere Rolle. Daher sind im Rahmen der Planung zur Absicherung der Planungsergebnisse die Auswirkungen ausführlich auch mit Hilfe von computergestützten Verfahren zu prognostizieren und ggf. Grenzzustände für die zulässigen Werte festzulegen. Im Rahmen der baulichen Umsetzung sind dann die tatsächlichen Auswirkungen mit Hilfe von Messsystemen, die auch an der zu schützenden Anlage installiert sein sollten, zu erfassen, den Prognosedaten gegenüber zu stellen und ggf. Gegenmaßnahmen zu veranlassen.



**Bild 12:** Schleusenansicht kurz vor Inbetriebnahme

Für die Prognose der geotechnischen Auswirkungen des Neubaus der Schleuse Uelzen II wurde auf der Grundlage der gewählten Baukonstruktion und Bauabläufe durch die Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe, eine großräumige Finite-Elemente-Berechnung durchgeführt, die die Verformungen aus der Baumaßnahme und den späteren Betriebszuständen insbesondere für die benachbarte Schleuse I nachwies. Ebenfalls wurden auch für den Nachweis der Tragsicherheit der Einzelbauteile der Baugrube und der Schleuse selbst aufwändige FE-Berechnungen durchgeführt (Bild 11). Die Verformungen im Baugrund und an der Schleuse Uelzen I wurde mit Hilfe eines aufwändigen Messtechnischen Beweissicherungssystem erfasst und bewertet. In dieses System war auch die Dokumentation des Einflusses auf das Grundwasser integriert. Die Messergebnisse standen allen Baubeteiligten und Gutachtern online zur Verfügung. Die tatsächlich festgestellten Verformungen des Bodenkörpers und der zu schützenden Schleusenanlage Uelzen I lagen unterhalb der kritischen Werte, so dass die Schleuse ohne Veränderungen an der Konzeption erstellt werden konnte (Bild 12).



**Bild 11:** Ein Berechnungsmodell nach der Finiten-Elementen-Methode

## **Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen (1)**

Entwicklungen von konstruktiven, betontechnologischen und stahlbaulichen Aspekten bei hohen Schifffahrtsschleusen, dargestellt an der Schleuse Uelzen II

---

Die Einflüsse der Baumaßnahme auf den Naturhaushalt lassen sich mit Hilfe einheitlicher Bewertungsverfahren beurteilen und daraus ausgleichende Maßnahmen ableiten. Ob diese ihre prognostizierten Ziele erreichen, ist über eine Nachbilanzierung zu dokumentieren und zu bewerten.

### **Verfasser**

Dipl.-Ing. Thilo Wachholz  
Dezernat Neubau  
Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte  
Am Waterlooplatz 5, 30169 Hannover  
Tel.: 0511 9115 – 3171  
E-Mail: [thilo.wachholz@wsd-m.wsv.de](mailto:thilo.wachholz@wsd-m.wsv.de)

Dipl.-Ing. Winfried Reiner  
Dezernatsleiter Neubau  
Wasser- und Schifffahrtsdirektion Mitte  
Am Waterlooplatz 5, 30169 Hannover  
Tel.: 0511 9115 – 3170  
E-Mail: [winfried.reiner@wsd-m.wsv.de](mailto:winfried.reiner@wsd-m.wsv.de)

Dipl.-Ing. Dieter Eichler  
Amtsleiter  
Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals  
Nikolaistrasse 14/16, 30159 Hannover  
Tel.: 0511 9115 – 5000  
E-Mail: [dieter.eichler@nba-h.wsv.de](mailto:dieter.eichler@nba-h.wsv.de)

Dipl.-Ing. Joachim Saathoff  
SBL 5: Neubau Abstiegsbauwerke  
Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals  
Nikolaistrasse 14/16, 30159 Hannover  
Tel.: 0511 9115 – 5500  
E-Mail: [joachim.saathoff@nba-h.wsv.de](mailto:joachim.saathoff@nba-h.wsv.de)

Dipl.-Ing. Günter Schulz  
SBL 4: Neubau Abstiegsbauwerke  
Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals  
Nikolaistrasse 14/16, 30159 Hannover  
Tel.: 0511 9115 – 5400  
E-Mail: [günter.schulz@nba-h.wsv.de](mailto:günter.schulz@nba-h.wsv.de)

Dipl.-Ing. Thomas Hesse  
SB 4: Neubau Abstiegsbauwerke  
Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals  
Nikolaistrasse 14/16, 30159 Hannover  
Tel.: 0511 9115 – 5410  
E-Mail: [thomas.hesse@nba-h.wsv.de](mailto:thomas.hesse@nba-h.wsv.de)