

Sparschleuse Lüneburg – Technische Lösungsansätze für den Neubau der höchsten Sparschleuse der Welt

Dipl.-Ing. Matthias Lutz (Bundesanstalt für Wasserbau)

Florian Korytko, M.Sc. (Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals in Hannover – Projektgruppe Schleuse Lüneburg)



Bild 1: Modell der neuen Schleuse neben dem bestehenden Schiffshebewerk

Zur Verbesserung der gegenwärtigen Verkehrssituation am Elbe-Seiten-Kanal soll bei Lüneburg zukünftig der vorgezogene Ersatzneubau einer Schiffsschleuse in Stahlbetonbauweise beitragen. Das dortige, 1976 in Betrieb gestellte Schiffshebewerk verfügt mit seiner nutzbaren Trogabmessung von 100 m Länge nicht über die erforderliche Größe, um Großmotorgüterschiffe (110 m) und Schubverbände mit 135 bis 185 m Länge zu befördern. Die neue Schleuse soll mit einer nutzbaren Kammerlänge von über 225 m auch für diese Schiffstypen und Verbände passierbar sein. Sie dient damit der besseren Anbindung der Seehäfen an das Hinterland und zur Engpassbeseitigung am bestehenden Schiffshebewerk.

Für ein Wasserbauwerk in dieser Größenordnung mit gleichzeitiger Sparbeckenanordnung gibt es weltweit keine vergleichbare Ausführung. Die enorme Fallhöhe des nahezu frei stehenden Bauwerks mit 38 m Hubhöhe und die damit einhergehenden, erheblichen Wasserdrücke sind mit herkömmlichen U-förmigen Tragsystemen nicht mehr realisierbar und erfordern aus statischer und hydraulischer Sicht neue technische Lösungsansätze, die derzeit in der BAW Karlsruhe und Hamburg in Zusammenarbeit mit dem NBA Hannover erarbeitet werden. Daneben sind auch Dauerhaftigkeitsaspekte sowie wesentliche herstellungstechnische, betriebliche und gestalterische Gesichtspunkte interdisziplinär zu berücksichtigen und aufeinander abzustimmen.

Randbedingungen

Der Neubau unterliegt durch die Nähe zum vorhandenen Schiffshebewerk strengen Randbedingungen: Da das bestehende Schiffshebewerk nur sehr geringe Verformungen toleriert, darf die neue Schleuse sowohl beim Bau, als auch während ihres Betriebs keine großen Hebungen, Setzungen oder Schiefstellungen erzeugen. So mussten der Einfluss der Baugrubenlage und deren konstruktive Gestaltung auf das Bestandsbauwerk intensiv untersucht und optimiert werden (Bild 2). Bereits durchgeführte Untersuchungen haben einen lichten Abstand von 60 m zwischen der neuen Schleuse und dem bestehenden Hebewerk ergeben. Eine zu tiefe Baugrube soll durch eine möglichst schlanke Schleusensohle vermieden werden.

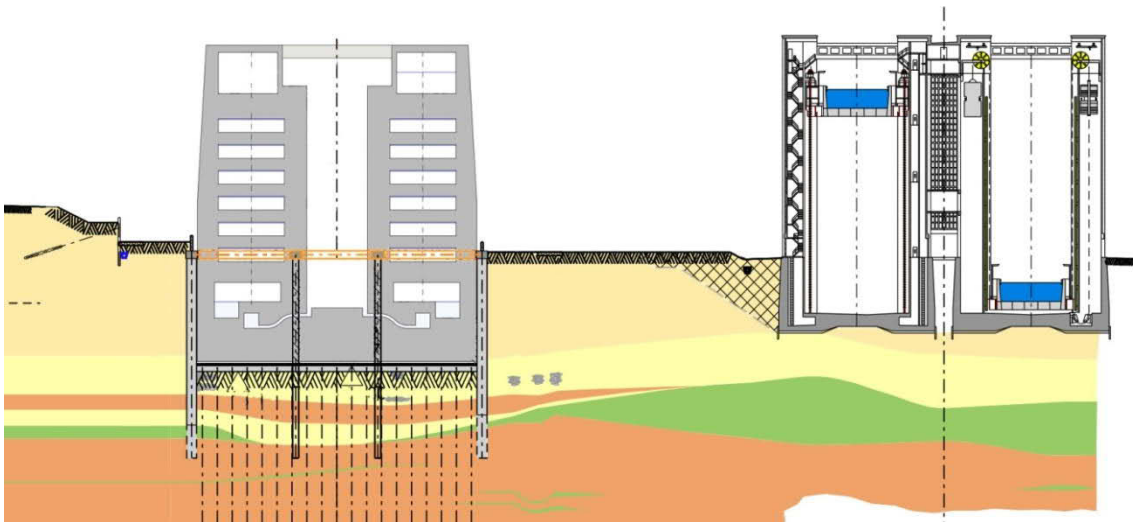


Bild 2: Querschnitt der neuen Schleuse neben dem Schiffshebewerk

Der parallele Betrieb des Schiffshebewerks setzt die Vermeidung von größeren Sunk- und Schwallerscheinungen bei Restfüllung und -entleerung voraus. Dies wird erreicht, indem Ausgleichsbecken oben und unten angeordnet werden (Bild 3). Dadurch muss deutlich weniger Wasser aus dem oberen Vorhafen entnommen bzw. in den unteren Vorhafen abgegeben werden. Die zusätzlich erforderlichen Becken sollen in das Bauwerk integriert werden, liegen geometrisch jedoch in Bereichen hoher Auslastung.

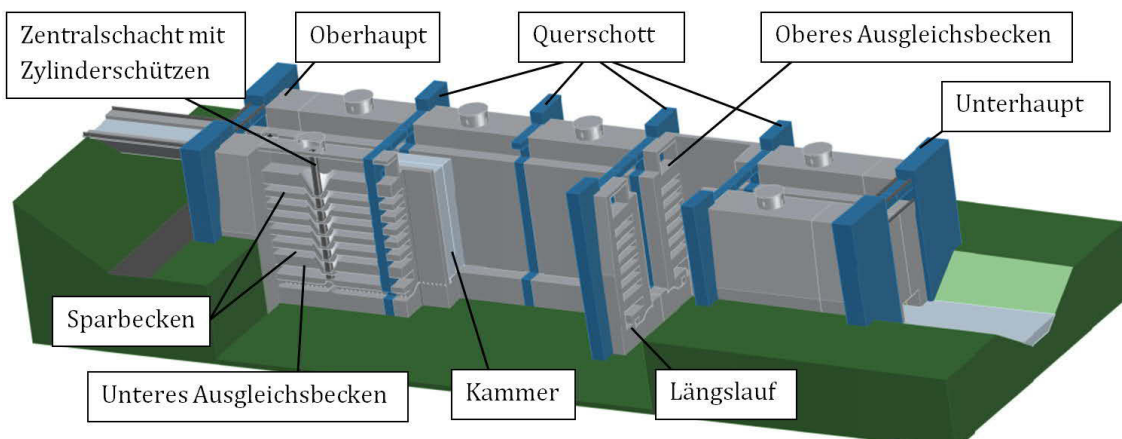


Bild 3: Dreidimensionale Darstellung des Bauwerks mit wesentlichen Tragwerks- und Konstruktionselementen

Lösungsansätze für die Tragwerkskonzeption

Die Wasserdruckkräfte in der Kammer, die das Bauwerk bei Schleusung auf Oberwasserstand horizontal auseinander drücken und vertikal in den Baugrund geleitet werden müssen, sind die maßgebenden Einwirkungen auf die Schleuse. Diese zyklisch auftretenden, ermüdungsrelevanten Kräfte wirken mit jedem Schleusungsvorgang in voller Höhe und müssen von der fast freistehenden Konstruktion aufgrund der fehlenden Erdanschüttung nahezu ohne seitliche Bettung aufgenommen werden.

Erste Voruntersuchungen des Neubauamts für den Ausbau des Mittellandkanals in Hannover (2010) formulierten bereits als Grundgedanken der Tragwerkskonzeption die Ausführung des Kammerquerschnitts als geschlossenen Rahmen mit symmetrisch angeordneten Sparbecken, der die gleichgerichteten Horizontalkräfte aus Wasserdruck durch die Sohle und durch Zugelemente an seiner Oberseite kurzschließt. Durch die in die Kammerwände integrierten Sparbecken und durch die gemeinsame Gründung auf einer Sohlplatte wird die Verteilung der Bodenpressungen vergleichmäßig und die infolge des Wasserstandswechsels in der Kammer hervorgerufene Schwellbeanspruchung reduziert.

Eine wesentliche Voraussetzung zur Erzielung eines dreidimensionalen Tragsystems ist die Ausführung der Schleuse als fugenloses Bauwerk. Wartungsintensive Blockfugen werden hierdurch vermieden. Ferner kann so, wie im BAW-Gutachten zur statischen Machbarkeit (Bundesanstalt für Wasserbau, 2010) beschrieben, eine statische Anbindung der Häupter an die Kammer erfolgen, Setzungsdifferenzen vom Bauwerk besser ausgeglichen und die hohen Steifigkeiten der Sparbeckensohlen in Verbindung mit der Kammer- und Außenwand ausgenutzt werden.

Das Schließen der U-Rahmen und Kurzschließen der Horizontalkräfte erfolgt nach aktuellem Planungsstand über Riegel oberhalb des Lichtraumprofils der Schleuse. Hierfür werden vier Querschotte über die Schleusenlänge mit einem Abstand von ca. 50 m eingebaut, die die Sparbecken in fünf Kompartimente unterteilen. Während die Lasten in Querrichtung teilweise durch die Vierendeelwirkung der einzelnen Rahmen abgetragen werden, kann in Längsrichtung die Scheibentragwirkung der Sparbeckensohlen herangezogen werden, die sich wie Durchlaufträger auf die Schotte abstützen. In den Schotten wiederum werden die Horizontallasten konzentriert und in die Sohle und die Zugriegel eingeleitet.

Bei gefüllter Kammer müssen nach aktuellem Planungsstand ermüdungswirksame, zyklische Zugkräfte von bis zu 150 MN von den einzelnen Riegeln abgetragen werden.

Bei etwa 20 Schleusungen am Tag muss das Bauwerk für eine angestrebte Betriebszeit von gut 100 Jahren für 750.000 Lastspiele in allen Tragwerksbereichen ermüdungssicher konstruiert werden. Wird herkömmlicher Betonstahl mit großen Stabdurchmessern verwendet, reduziert sich die zulässige Spannungsschwingbreite auf Werte, die deutlich weniger als die Hälfte der Festigkeiten bei konstanten Beanspruchungen betragen. Da die Bewehrungsmengen maßgeblich durch die Ermüdungsnachweise bestimmt werden, kann in vielen Fällen daher die Betonstahlfestigkeit nicht voll ausgenutzt werden.

In diesem stark zug- und ermüdungsbeanspruchten Bauteil ist daher der Einsatz einer Vorspannung zum Erhalt der Steifigkeit, der Verminderung von Rissbildung sowie der Reduzierung der Ermüdungsbeanspruchung vorgesehen. Für vorgespannte Konstruktionen liegen wenige Erfahrungen hinsichtlich ihrer Robustheit bei Wasserbauwerken vor. Auch sind sehr hohe Vorspannkräfte aufgrund der massiven Bauteilabmessungen erforderlich. Daher werden den untersuchten Varianten Spannglieder ohne Verbund zugrunde gelegt, die grundsätzlich nachgespannt bzw. ausgetauscht werden können.

Die für die Bemessung zu berücksichtigende Beanspruchung aus Wasserdruck im Inneren von Bauteilen („Riss- und Porenwasserdruck“) führen aufgrund der hohen Drücke sowie der massiven Bauteilabmessungen zu großen zusätzlichen Bewehrungsmengen und können z. B. in der Sohle unter Berücksichtigung der geringen Ermüdungsfestigkeiten zu einer deutlichen Erhöhung der zusätzlich erforderlichen Bewehrungsmenge führen.

Hydraulisches System

Die wesentlichen hydraulischen Fragestellungen werden derzeit von der Abteilung Wasserbau der BAW untersucht und optimierte Lösungsvorschläge erarbeitet.

Das hydraulische System sieht in jedem Kompartiment mittig angeordnete Zentralschächte vor, die die Sparbeckenbefüllung und -entleerung, wie in Bild 4 dargestellt, mit Hilfe von übereinander liegenden Zylinderschützen gewährleisten. Dadurch ist nur eine sehr geringe Anzahl von strukturdurchdringenden und tragfähigkeitsmindernden Schächten erforderlich. Die vorliegenden Betriebserfahrungen mit Zylinderschützen in der WSV sind gut: So sind diese Systeme in Schleuse Minden seit 1914 und in Schleuse Anderten seit 1928 in Betrieb und mussten bis heute nicht getauscht werden. Bild 5 zeigt ein Modell des Zylinderschützes in Anderten.

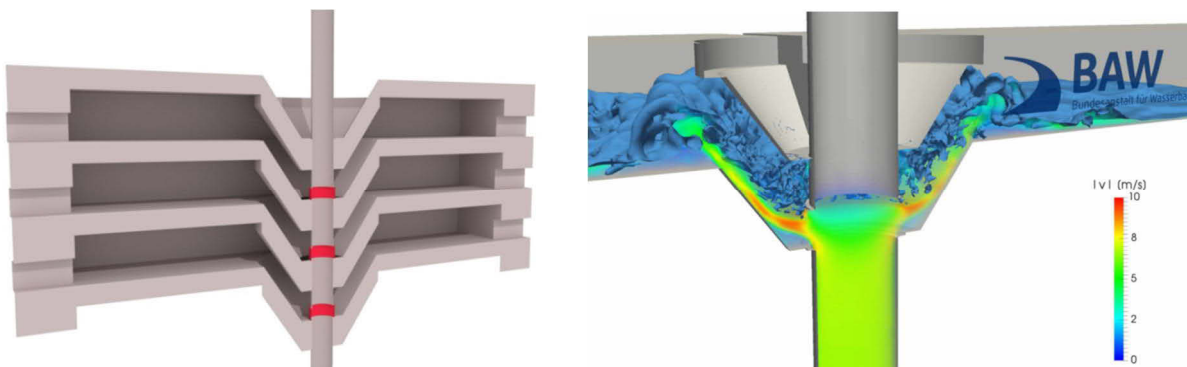


Bild 4: Anordnung der Zentralschächte, Einlauftrichter und Zylinderschütze (links)
Numerisch berechnete Geschwindigkeitsverteilung im Zentralschacht beim Füllvorgang (rechts)



Bild 5: Modell des Zylinderschützes der Schleuse Anderten

In Längsrichtung sorgen seitliche Kanäle für die Verteilung des Wassers zu den Befüllungsöffnungen im unteren Kammerwandbereich. Der Verzicht auf sonst übliche Grundlauf- bzw. Druckkanäle hat einerseits Vorteile für die Luftabscheidung und die Vermeidung von Lufteintrag und den damit verbundenen Kräften auf die Schiffe in die Kammer. Andererseits wird durch diese Ausführungsvariante die erforderliche kostenintensive Gründungstiefe des Bauwerks erheblich reduziert.

Ausblick

Derzeit werden weitere Untersuchungen und vorbereitende Maßnahmen durchgeführt. Im Laufe des Jahres ist die Beauftragung von Ingenieurbüros für die weitere Planung beabsichtigt. Die Zeitplanung sieht aktuell einen Baubeginn Mitte der 2020er Jahre und eine Fertigstellung Anfang der 2030er Jahre vor.

Quellen

- Neubauamt für den Ausbau des Mittellandkanals in Hannover (2010): Machbarkeitsstudie Bau einer Schleuse in Scharnebeck
- Bundesanstalt für Wasserbau (2010): Untersuchungen zur statischen Machbarkeit der Schiffschleuse Scharnebeck (BAW-Gutachten, A395 101 102 32).

Bildquellen

Bild 1: Modell der neuen Schleuse neben dem bestehenden Schiffshebewerk. Quelle: BAW, WSV

Bild 2: Querschnitt der neuen Schleuse neben dem Schiffshebewerk. Quelle: BAW

Bild 3: Dreidimensionale Darstellung des Bauwerks mit wesentlichen Tragwerks- und Konstruktionselementen. Quelle: BAW, WSV

Bild 4: Anordnung der Zentralschächte, Einlauftrichter und Zylinderschütze (links). Numerisch berechnete Geschwindigkeitsverteilung im Zentralschacht beim Füllvorgang (rechts). Quelle: BAW

Bild 5: Modell des Zylinderschützes der Schleuse Anderten. Quelle: BAW