

Zukünftiges Füll- und Entleersystem für Schleusen mittlerer Fallhöhe

Dipl.-Ing. Bernhard Kemnitz, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

1 Grundsätzliches zu den Füll- und Entleersystemen für Schleusen bis 10 m Fallhöhe

Die Fachgruppe Hydraulik / Füllsystem für die Standardisierung von Schleusen setzt sich aus Experten des BMVBS, der WSV und teilweise auch der BAW zusammen und hat folgende Vorschläge für die Hauptergestaltung von Schleusen erarbeitet:

- Standard für Schleusen-Oberhäupter bis 10 m: Drucksegmenttor neuer Bauart,
- Standard für Schleusen-Unterhäupter bis 10 m: Stemmtor mit integrierten Schützen.

Hierbei handelt es sich um Endsysteme, bei welchen die Füllung und Entleerung vor Kopf durch die Tore erfolgen wird. Auf Bauwerksverbreiterungen durch Torumläufe, wie in Bild 1 erkennbar, oder Längskanäle soll künftig verzichtet werden. Ausnahmen davon werden nur noch bei größeren



Bild 1 a und b: Unterhaupt Schleuse Dörverden, Baugrube und Bauzustand (Quelle: NBA Hann.)

Kammerbreiten zugelassen werden, wie etwa an der Donauschleuse Kachlet mit 24 m Breite, die im Rahmen der z. Z. laufenden Grundinstandsetzung für die Füllung zwei hydraulisch optimierte kurze Torumläufe im Oberhaupt erhält.

Aus hydraulischer Sicht sind im Vergleich zu anderen bisher gebräuchlichen Verschlussarten das Drucksegmenttor und die Schütze im Stemmtor für den Vorkopfbetrieb einer Schleuse günstige Verschlussysteme. Gegenüber dem bisher bei langen Schleusen mit großer Fallhöhe eingesetzten Seitensystem mit Längskanälen in den Kammerwänden muss beim Endsystem eine erhebliche Verlängerung der Füll- und Entleerzeiten hingenommen werden, um die gleiche Sicherheit und Leichtigkeit für die geschleusten Schiffe gewährleisten zu können, denn beim Endsystem findet die

Längsverteilung des Füllwassers innerhalb der Kammer statt, was hier zu hohen Strömungsgeschwindigkeiten und Wasserspiegellängsgefällen führen kann. Für die Entleerung gilt Ähnliches.

Die Schleusen Bremen und Zeltingen sind mit verschiedenen Füllsystemen ausgestattet, besitzen annähernd ähnliche Kammerabmessungen und wurden in Modelluntersuchungen mit den gleichen Randbedingungen gefahren, so dass aus den Versuchsergebnissen in Tabelle 1 beispielhaft der Unterschied der Füllzeiten zwischen beiden Füllsystemen gezeigt werden kann.

Tabelle 1: Beispiel für Schleusenfüllzeiten bei End- und Seitensystem

Schleuse	Nutzlänge	Breite	Fallhöhe	Füllsystem	Füllzeit
Bremen	225 m	12,50 m	6,00 m	Endsystem mit Drucksegmenttor	16 min
Zeltingen II	210 m	12,50 m	6,00 m	Seitensystem mit Längskanälen	6 min

Bei der Bewertung der großen Differenz sollte beachtet werden, dass zum einen die hydraulische Füllzeit lediglich einen geringen Anteil an der Kreuzungsschleusungsdauer (in Zeltingen 56 min) hat und zum anderen insbesondere bei Kanalschleusen der maximale Schleusenzufluss meist begrenzt ist, so dass die Leistungsfähigkeit eines Seitensystems nicht voll genutzt werden kann.

2 Füllsystem Drucksegmenttor mit Energieumwandlung

2.1 Entstehung und Entwicklung

Das heute in zahlreichen WSV-Schleusen vorhandene Drucksegmentobertor, welches zum künftigen Standard erhoben wurde, ist in den 70-iger Jahren des letzten Jahrhunderts für den Ausbau der Saar zur Großschifffahrtsstraße entwickelt worden. Für die sechs neu zu bauenden Saarschleusen mit Fallhöhen zwischen 3,80 m und 14,50 m wurde ein Standardtor gesucht, welches folgende Anforderungen erfüllen sollte:

- Tor als oberer Kammerabschluss,
- Füllorgan für Schleusen mit geringer Fallhöhe,
- Steuerorgan für Kammerdurchfluss zur Hochwasserableitung,
- keine Aufbauten auf der Planie wg. Landschafts- und Hochwasserschutz,
- Überquerbarkeit für Schleusenpersonal.

Es kam nur ein Segmenttor in Frage, wobei noch zu klären war, ob Druck- oder Zugsegment. Die BAW erhielt von der WSD Südwest den Auftrag, mit Hilfe von Modellversuchen die Eignung der beiden Tortypen zu prüfen.

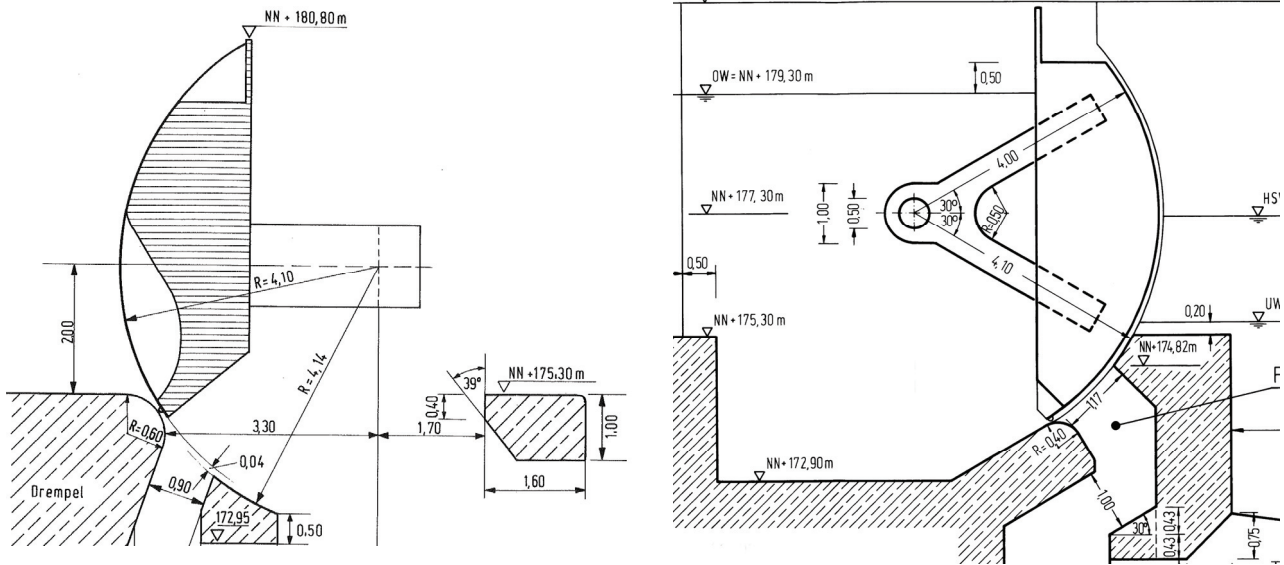


Bild 2 a und b: Ausgangsplanung für Drucksegment und Zugsegment

Die Untersuchungen im Maßstab 1:25 zeigten, dass die Strömungsverhältnisse während des Füllvorgangs beim Drucksegment deutlich günstiger waren als beim Zugsegment, welches durch eine ungünstige Strömungsführung im unteren Teil erheblichen instationären Druckbelastungen ausgesetzt war.

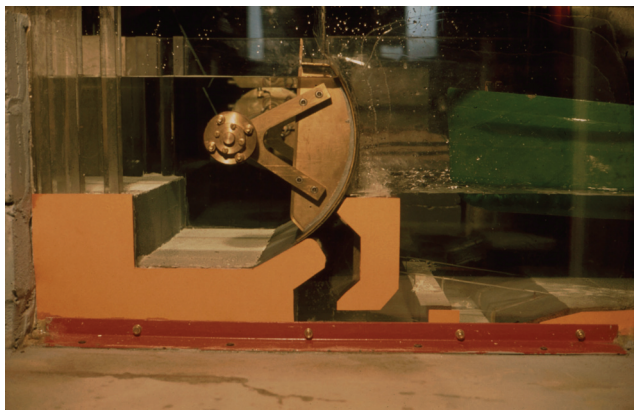
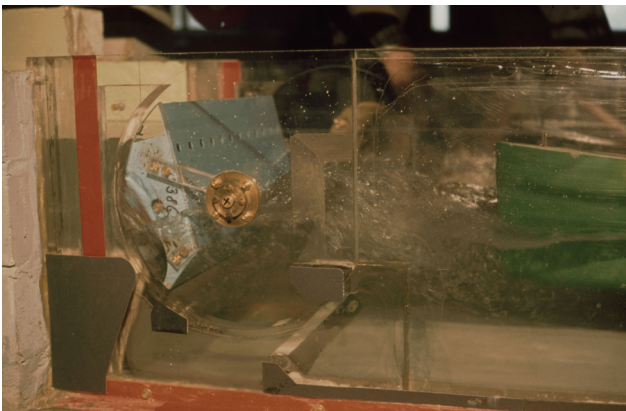


Bild 3 a und b: Versuchsmodelle von Drucksegment und Zugsegment

Bei der Fortführung der Modelluntersuchungen mit dem Drucksegment als Steuerorgan für die Hochwasserabfuhr durch die Schleusenammer zeigte sich eine deutliche Schwingungsanfängung des Torkörpers infolge der periodischen Ablösung des Überfallstrahls von der Rückwand. Variantenuntersuchungen mit verschiedenen Ausbildungen des oberen Segmentbereichs führten schließlich zur Anordnung einer Vielzahl von Öffnungen im oberen Teil der Torrückwand, welche den ursprünglich kompakten Überfallstrahl in zahlreiche Einzelstrahlen zerlegte. Um trotz der Öffnungen in der Rückwand das Stauziel halten zu können, wurde auf dem Torkörper eine kurze Stauwand angebracht.

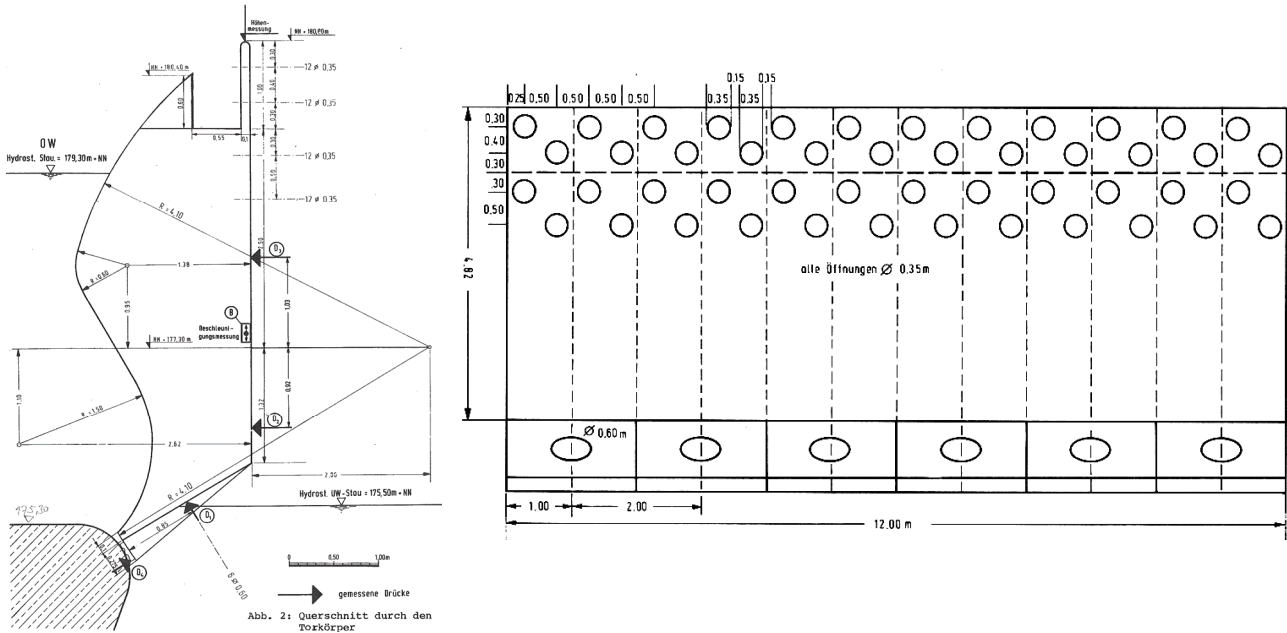


Bild 4 a und b: BAW-Ausführungsvorschlag für Drucksegmenttor, Querschnitt und Rückwand

Nach Fertigstellung der ersten neuen Saarschleuse, der Schleuse Lisdorf, wurden Naturuntersuchungen durchgeführt, um die Funktion des Drucksegmentobertores bei Füllung und Hochwasserabfuhr zu überprüfen. Es wurden an den in Bild 4a markierten Stellen Messaufnehmer in bzw. an der Torwand befestigt, um Drücke, Beschleunigung und Stellung des Drucksegments während eines Versuchs kontinuierlich messen zu können. Eine kurzzeitige Torvibration zu Beginn der Füllung konnte durch nachträgliche Anbringung einer Zahnleiste vor der Fußdichtung beseitigt werden.



Bild 5 a und b: Drucksegmenttor der Saarschleuse Lisdorf

Da am Anfang der Hochwasserversuche die planmäßige Hydraulikpumpe für den Torantrieb ausfiel, mussten die Untersuchungen mit der deutlich leistungsschwächeren Notpumpe und drastisch reduzierten Tordrehgeschwindigkeiten gefahren werden, was den Vorteil hatte, dass über den gesamten Tordrehbereich das Schwingungsverhalten des Torkörpers getestet werden konnte. Die Auswertung der Messergebnisse bestätigte, dass in keiner Torstellung - weder während der Querschnittsfreigabe noch beim Beenden des Kammerdurchflusses - eine Schwingungsgefahr bestand. Damit war das Drucksegmentobertor aus wasserbaulicher Sicht fertig entwickelt.



Bild 6: Hochwassersimulation an der Saarschleuse Lisdorf

Durch weitere Modelluntersuchungen zur Anpassung an verschiedene Fallhöhen oder lokale Zwangspunkte wurde die Energieumwandlung, bestehend aus Betonpfeilern und einer Gitterwand noch optimiert. Für die Schleuse Raffelberg mussten wegen der großen Drempeltiefe von 5,60 m die Torgeometrie verändert und durch Modellversuche gesicherte Bemessungsgrundlagen ermittelt werden. Bis heute sind 12 Schleusen mit Drucksegmenttor in Betrieb und haben sich bewährt, so dass man die Wahl des Drucksegments zum Obertorstandard als "best-practice"-Lösung bezeichnen darf.

2.1 Sparschleuse

Der kurz vor seiner Vollendung stehende Neubau der Schleuse Bolzum mit einer Nutzlänge von 139 m und einer max. Fallhöhe von 8,70 m ist mit einem Drucksegmenttor ausgestattet. Wegen der großen Fallhöhe und wegen der Absicht des NBA Hannover, den Anschluss für ein etwaiges

späteres Sparbecken vorzusehen, führte die BAW weitere Modelluntersuchungen durch. Das Füllsystem ermöglicht eine sichere Bergschleusung der Schiffe bei Füllzeiten zwischen 13 und 18 min je nach zulässigem Schleusenzufluss (37 oder 50 m³/s), Schiffstyp oder Schiffslage. Der Anschluss eines Sparbeckens ist ebenfalls problemlos über die seitliche Anbindung eines Sparbeckenkanals am Drempel mit Umlenk- und Verteilkanalsystem im Drempel machbar. Im Sparbeckenbetrieb liegen die Füllzeiten zwischen 13 und 15 min.

3 Entleersystem Stemmtorschütze mit Energieumwandlung

Dieses System ist sehr verbreitet, mehr als 100 Großschiffahrtsschleusen der WSV sind damit ausgestattet. Im Zusammenhang mit der Planung neuer Schleusen am DEK wird z.Z. ein in der Höhe anpassbares Standardstemmtor mit 2 Drucksegmentschützen (b * h = 2,40m * 0,80m) pro Flügel entwickelt. Die BAW erhielt kürzlich vom WNA Datteln den Auftrag, für die neuentwickelte Tor- und Schützgeometrie die bisher verwendete Energieumwandlung hinter dem Tor zu überprüfen und ggf. an die geänderten Verhältnisse anzupassen, um eine günstige Geschwindigkeitsverteilung der Entleerströmung in den unteren Vorhafen zu gewährleisten.

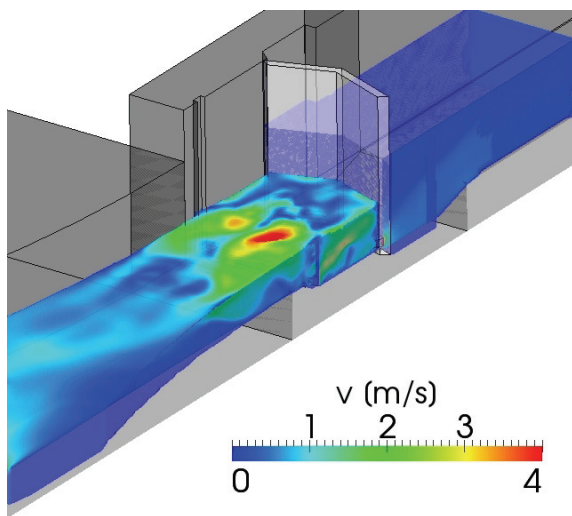


Bild 7: Numerisches Modell des Unterhauptes mit Geschwindigkeitsverteilung

starken Leitwänden und einem mittleren breiteren Leitblock. Durch diese Einbauten findet im Zusammenhang mit der senkrechten Tosbeckenrückwand eine günstige Energieumwandlung und Strömungsverteilung statt, so dass ein längsgerichteter, breiter Abflussstrahl mit gleichförmiger Geschwindigkeitsverteilung bei der Kammerentleerung erzeugt wird.

Auf der Grundlage der Ergebnisse einer numerischen Voruntersuchung wurden Varianten von Energieumwandlungseinrichtungen im 1,00 m tiefen Tosbecken hinter dem Stemmtor im physikalischen Modell untersucht, wobei zunächst der Ausgangszustand ohne Einbauten getestet wurde. Infolge der unzureichenden Energieumwandlung entwickelte sich hierbei ein kompakter Abflussstrahl, welcher in einem Winkel von etwa 30° und mit einer Strömungsgeschwindigkeit von bis zu 0,50 m/s den unteren Vorhafen durchquerte.

Die Modelluntersuchung weiterer Varianten zur Energieumwandlung führte schließlich zu Tosbeckeneinbauten aus achsparallelen 0,30 m

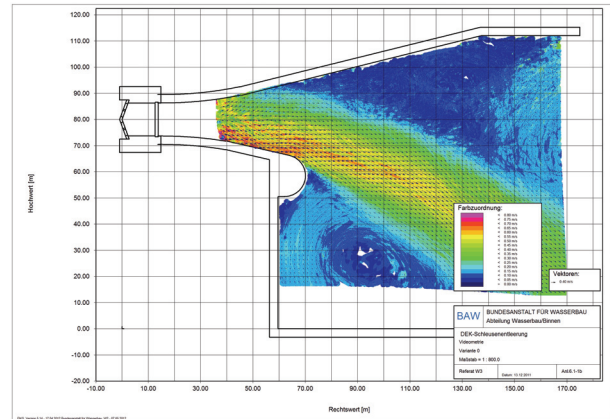


Bild 8 a und b: Ausgangszustand Energieumwandlung, Modell und Oberflächenströmung

Somit kann das Stemmtor mit Schützen zukünftig in hydraulisch optimierter Gestaltung als Standard in Schleusen Neubauten bis 10 m Fallhöhe eingebaut werden.

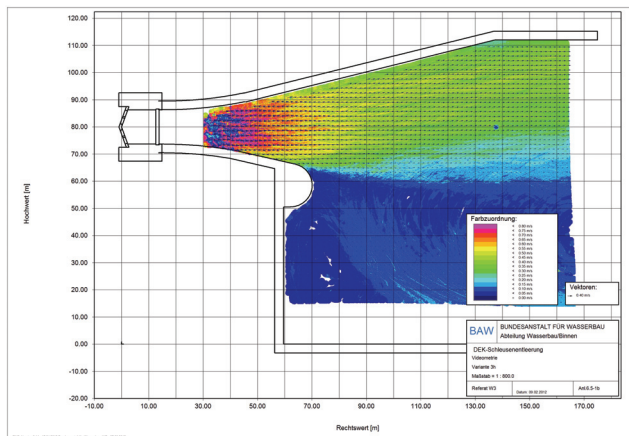


Bild 9 a und b: Ausführungsvorschlag für Energieumwandlung, Modell und Oberflächenströmung

4 Zusammenfassung

Mit dem neuen Standard, Drucksegmentobertor und Stemmuntertor mit Schützen, verfügt die WSV für den Schleusen Neubau über einfache, bewährte und robuste Systeme für die Füllung und Entleerung von Schleusen bis 10 m. Darüber hinaus kann das Drucksegment mit Drempele auch für Sparschleusen verwendet werden.

Allerdings muss bei diesen Vorkopfsystemen aus hydraulischen Gründen eine deutliche Verlängerung der Füll- und Entleerzeiten in Kauf genommen werden. Das sollte Anlass sein, das komplexe und schwierige Thema der maximal zulässigen Schiffskräfte während der Schleusung aufzugreifen. Dieses wäre ein schwieriges Unterfangen mit umfangreichen Natur- und Modelluntersuchungen, aber es könnte sich lohnen, den vermutlichen Spielraum für eine Erhöhung der Schiffsbelastungen zu nutzen, um die Schleusungsvorgänge zu beschleunigen, ohne die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs zu beeinträchtigen.

