

## Übersicht Originaldokumente

### Projekt: Schleuse Schwabenheim

Aus den Originaldokumenten wurden die für die Partielle Trockenlegung mit „Dammtafeln in Führungsschienen“ relevanten Seiten entnommen. Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Originaldokumente zum Projekt und zeigt auf, welche dieser Dokumente nachfolgend enthalten (e) oder nur teilweise enthalten (te) sind.

<b>Machbarkeitsstudie (Abschlussbericht)</b>			
<b>Prinzipielle Lösungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusenammerwänden</b>			
<b>Teildokument</b>	<b>Titel</b>	<b>e</b>	<b>te</b>
Machbarkeitsstudie (Abschlussbericht)	Prinzipielle Lösungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusenammerwänden		X
Anlage	Darstellung für mögliche temporäre partielle Wasserabschottungssysteme	X	

# **Prinzipielle Lösungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusenkammern**

Projektbericht

31.10.2014

Auftraggeber: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)  
Kußmaulstraße 17  
76187 Karlsruhe

Auftragnehmer: Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Technologie und Management im Baubetrieb (TMB)  
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Kfm. Shervin Haghsheno  
Am Fasanengarten  
76131 Karlsruhe

Projektbearbeiter: Dipl.-Ing. Nils Münzl  
Dr.-Ing. Heinrich Schlick  
M.Sc. Dominik Waleczko

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis .....	VIII
Abkürzungsverzeichnis .....	X
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>- 1 -</b>
<b>2 Aufgabenbeschreibung .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2.1 Schließungszeiten .....</b>	<b>- 3 -</b>
<b>2.2 Schleusen allgemein .....</b>	<b>- 4 -</b>
<b>2.3 Schleuse Schwabenheim .....</b>	<b>- 5 -</b>
<b>3 Systeme zur Trockenlegung von Wasserbauwerken .....</b>	<b>- 8 -</b>
<b>3.1 Partielle Trockenlegung und Abschottungssysteme in Schleusen .....</b>	<b>- 8 -</b>
3.1.1 Stautafeln auf Stützböcken .....	- 8 -
3.1.2 Stautafeln mit Einsteckpfosten .....	- 9 -
3.1.3 Einteilige Notverschlüsse, Gleit- und Rolldamntafeln .....	- 9 -
3.1.4 Einschwimbare Abschottungssysteme .....	- 12 -
3.1.5 Bogenförmige Abschottungssysteme .....	- 16 -
3.1.6 Abschottungssysteme für Wand- und Sohlflächen .....	- 17 -
<b>3.2 Partielle Trockenlegung und Abschottungssysteme in weiteren Bereichen .....</b>	<b>- 22 -</b>
3.2.1 Kofferdämme an Unterwasserbauteilen .....	- 22 -
3.2.2 Hochwasserschutzwände .....	- 25 -
3.2.3 Klappen- und Plattensysteme .....	- 27 -
3.2.4 Mobildämme .....	- 29 -
3.2.5 Trägergerüst mit Abdichtungsplane .....	- 34 -
<b>3.3 Abschließende Betrachtung der vorhandenen Systeme .....</b>	<b>- 35 -</b>
<b>4 Entwicklungskonzeption temporärer Wasserabschottungssysteme für Schleusen .....</b>	<b>- 38 -</b>
<b>4.1 Darstellung verschiedener Wasserabschottungssysteme .....</b>	<b>- 38 -</b>
4.1.1 System 1: Einschwenkbare Dammtafeln .....	- 38 -
4.1.2 System 2: Aufklappbare Dammtafeln .....	- 41 -
4.1.3 System 3: Horizontal verspannbare Dammtafeln .....	- 43 -

---

---

4.1.4	System 4: Verspannbares Doppeltor.....	- 45 -
4.1.5	System 5: Verspannbares Segmentbogentor.....	- 47 -
4.1.6	System 6: Gebogenes Schubtor .....	- 49 -
4.1.7	System 7: Ineinander verschiebliche Dammtafeln .....	- 51 -
4.1.8	System 8: Verspannbare Widerlager für Dammtafeln.....	- 53 -
4.1.9	System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen.....	- 55 -
4.1.10	System 10: Dammtafeln mit Schlauchdichtung.....	- 57 -
4.1.11	System 11: Einschwimbare Dammtafeln.....	- 59 -
4.2	Bewertung Entwicklungskonzepte .....	- 63 -
4.2.1	Kategorie: Ausschlussmerkmale.....	- 63 -
4.2.2	Kategorie: Funktionsfähigkeit .....	- 64 -
4.2.3	Kategorie: Qualität.....	- 65 -
4.2.4	Kategorie: Aufwand Vorplanung.....	- 67 -
4.2.5	Kategorie: Handhabung .....	- 68 -
4.3	Voraussetzungen an die Schleusenammer.....	- 73 -
5	Entwässerungsvorgang Schleusenabschnitte .....	- 74 -
5.1	Pumpenarten allgemein .....	- 74 -
5.1.1	Verdrängerpumpen .....	- 75 -
5.1.2	Strömungspumpen .....	- 76 -
5.2	Pumpenhydraulik.....	- 78 -
5.2.1	Pumpenkennlinie und Förderstrom.....	- 78 -
5.2.2	Förderhöhe.....	- 79 -
5.2.3	Druckhöhenverlust $h_v$ in geraden Rohrleitungen.....	- 80 -
5.2.4	Druckhöhenverlust $h_v$ für Armaturen und Formstücke.....	- 81 -
5.2.5	Anlagenkennlinie und Betriebspunkt.....	- 82 -
5.2.6	Kavitation und NPSH-Wert .....	- 83 -
5.2.7	Betriebsgrenzen und Dauerhaftigkeit .....	- 86 -
5.2.8	Mindestwasserstand.....	- 86 -
5.3	Übersicht Pumpen .....	- 86 -
5.3.1	Auswahl Verdrängerpumpen .....	- 87 -

---

---

5.3.2	Auswahl Kreiselpumpen.....	- 91 -
5.4	Variantenbetrachtung Schleusenentwässerung.....	- 98 -
5.4.1	Entwässerung: große Tauchmotorpumpen und große Pumpensümpfe/-gräben .....	- 99 -
5.4.2	Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und kleine Pumpensümpfe/-gräben.....	- 110 -
5.4.3	Entwässerung: große/kleine Tauchmotorpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben.....	- 118 -
5.4.4	Entwässerung: Saugpumpen und Saugfahrzeuge ohne Pumpensümpfe/-gräben.....	- 129 -
5.4.5	Bewertungsmatrix.....	- 141 -
6	Bauablaufplanung der temporären partiellen Trockenlegung.....	- 143 -
6.1	Allgemeines.....	- 143 -
6.2	Randbedingungen und Festlegung der Schleusenteilabschnittslängen.....	- 143 -
6.3	Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen .....	- 144 -
6.3.1	Konstruktionselemente und erforderliche Gerätschaften.....	- 144 -
6.3.2	Vorarbeiten und Baustelleinrichtung .....	- 155 -
6.3.3	Bauablaufplanung .....	- 163 -
6.3.4	Systembewertung.....	- 185 -
6.3.5	Optimierungsmöglichkeiten.....	- 187 -
6.4	Einschwimbare Dammtafeln .....	- 189 -
6.4.1	Konstruktionselemente und erforderliche Gerätschaften.....	- 190 -
6.4.2	Vorarbeiten und Baustelleneinrichtung .....	- 204 -
6.4.3	Bauablaufplanung .....	- 207 -
6.4.4	Systembewertung.....	- 218 -
6.4.5	Optimierungsmöglichkeiten.....	- 219 -
6.5	Arbeitssicherheit.....	- 220 -
6.5.1	Baustellensicherung hinsichtlich Gefährdungen nach außen und nach innen .....	- 220 -
6.5.2	Baustellensicherung hinsichtlich Gefährdungen innerhalb einer Baustelle.....	- 222 -
7	Fazit.....	- 224 -
	Literatur .....	- 225 -
	Anlage .....	- 232 -

---

# 1 Einleitung

Die Bundesrepublik Deutschland verfügt über eines der größten Wasserstraßennetze Europas. Nach BÖDEFELD, J. U. KLOÉ, K. (2011) stehen der Binnenschifffahrt insgesamt ca. 7350 km Flüsse und Kanäle zur Verfügung. Zur nationalen und innereuropäischen Transportgüterbeförderung trägt das Binnenschiff in Deutschland einen entscheidenden Anteil bei. Aktuelle Daten hierzu liefert u. a. der Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e. V. (vgl. BDB 2013).

Die Schiffbarkeit der bundesweiten Wasserstraßen wird durch zahlreiche Wasserbauwerke, wie z. B. Schleusen, gewährleistet. RESCHKE, T. (2011, S. 7) erläutert, dass der überwiegende Teil der Schiffsschleusen in Deutschland in den kommenden Jahren aufgrund ihrer Altersstruktur von mehr als 70 Jahren einer grundlegenden Instandsetzung der Häupter, der Kammerwände und -sohlen bedürfen. Konventionelle Instandsetzungsverfahren erfordern Kammersperrungen mit einer Dauer von 1/2 - 1 Jahr. Bei Instandsetzungsarbeiten an Einkammerschleusen führt dies zu einer Unterbrechung der Schifffahrt und einer Transportverlagerung auf andere Verkehrsmittel, wie z. B. Eisenbahn und LKW.

Instandsetzungsverfahren von Einkammerschleusen, bei denen sämtliche Instandsetzungsarbeiten „unter Betrieb“, also bei gleichzeitiger Aufrechterhaltung des Schiffsverkehrs, möglich sind, werden aktuell (weiter-)entwickelt und diskutiert. Die Instandsetzungstätigkeiten sollen hierbei in nächtlichen Schifffahrtspausen mit einer Dauer von 8 – 12 Stunden realisiert werden. In der jüngeren Vergangenheit wurden bereits Instandsetzungsarbeiten unter Betrieb über Wasserspiegellage an Kammerwänden nach diesem Modell durchgeführt bzw. geplant (vgl. u. a. BAW 2009, W+S 2009).

In RESCHKE, T. (2011, S. 7) werden Randbedingungen für die Instandsetzungsmaßnahmen unter Betrieb beschrieben:

- Sämtliche Arbeiten müssen innerhalb definierter (kurzer) Zeitfenster ausgeführt werden.
  - Die Baustelle ist zeitlich parallel zum Schleusenbetrieb einzurichten - ohne Beeinträchtigung des Schiffsverkehrs.
  - Während der Instandsetzungsarbeiten muss ein festgelegtes Lichtraumprofil für den Schifffahrtsverkehr zur Verfügung stehen.
  - Die Schifffahrt darf während der Instandsetzungsarbeiten nicht gefährdet werden.
-

Die folgende Gliederung zeigt das Vorgehen in dieser Arbeit. Sie hat zum Ziel, die formulierte Problemstellung, Zielsetzung und erfolgte Ausarbeitung systematisch und übersichtlich zu dokumentieren:

- Kapitel 1 führt, ausgehend von der allgemeinen Bedeutung der Binnenschifffahrt und dem Instandsetzungsbedarf von Schleusenanlagen, an die Problematik der mehrmonatigen Komplettsperre von Einkammerschleusen heran.
  - In Kapitel 2 wird die Aufgabenstellung hinsichtlich der temporären partiellen Trockenlegung von Schleusenanlagen bei Instandsetzungen unter Betrieb formuliert. Die zentralen Zielsetzungen der Arbeit werden definiert.
  - Kapitel 3 stellt die in dieser Arbeit benötigten allgemeinen Grundlagen und Randbedingungen der behandelten Schleusenanlagen bereit. Es wird dabei u. a. auf mögliche Schließungszeiten von Schleusenrevisionen, geometrische Abmessungen und zwingend einzuhaltende Faktoren hinsichtlich der Instandsetzung unter Betrieb und der damit verbundenen Trockenlegung eingegangen.
  - In Kapitel 4 werden, aufbauend auf einer nationalen und internationalen Literaturstudie und Marktrecherche, Wasserabschottungssysteme dargestellt, die bislang an Schleusen und in anderen Bereichen des Wasserbaus eingesetzt werden. Die verschiedenen Systeme werden bewertet und miteinander verglichen. Hierbei wird besonders auf die Übertragbarkeit der Systeme auf die temporäre partielle Trockenlegung von Schleusenanlagen eingegangen.
  - Adaptionen und Entwicklungskonzeptionen möglicher Wasserabschottungssysteme hinsichtlich einer temporären partiellen Trockenlegung sind in Kapitel 5 beschrieben. Es werden die Vor- und Nachteile u. a. des Systemaufbaus und der Funktionstauglichkeit behandelt. Anhand einer Bewertungsmatrix werden Systeme ausgewählt, die im Rahmen dieser Arbeit detaillierter untersucht werden.
  - Kapitel 6 dient der Vorstellung und Beschreibung verschiedener Pumpenarten und Entwässerungsvarianten. Auf Grundlage der gegebenen Randbedingungen einer temporären partiellen Trockenlegung und hinsichtlich eines optimierten Bauablaufs wird eine geeignete Entwässerungsvariante ausgewählt und bewertet.
  - Die Arbeit stellt in Kapitel 7 die detailliertere Untersuchung zweier ausgewählter Abschottungssysteme dar, deren Vorzüge und Probleme beurteilt werden. Es werden u. a. jeweils notwendige Konstruktionselemente, Vorarbeiten und ein möglicher Ablauf der temporären partiellen Trockenlegung dargestellt. Zusätzlich werden Hinweise zu Optimierungsmöglichkeiten der Systeme gegeben, um diese in zukünftigen Betrachtungen weiterentwickeln zu können.
-

## 2 Aufgabenbeschreibung

Gegenstand des vorliegenden Projektberichts ist die Erarbeitung und Gegenüberstellung von prinzipiellen Systemlösungen zur temporären Trockenlegung einzelner Teilbereiche von Schleusenkammern unter Berücksichtigung von technischen und baubetrieblichen Aspekten.

Zunächst sollen in einer nationalen und internationalen Literatur- und Marktrecherche bereits erfolgte Entwicklungen und Anwendungen zu kurzzeitigen partiellen Schleusentrockenlegungen und vergleichbaren Aufgabenstellungen hinsichtlich der Verwertbarkeit analysiert werden.

Auf dieser Basis sollen Vorschläge zu deren Adaption sowie Ideen prinzipieller Absperr- bzw. Trockenlegungssysteme erarbeitet werden. Hierbei sind die Vorgaben der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) hinsichtlich zu erwartender technischer und betriebsbedingter Rahmenbedingungen, erforderlicher Systemflexibilität und gegebener Zeitrestriktionen zu beachten.

Unter dem Gesichtspunkt der baubetrieblichen Realisierbarkeit sollen (soweit möglich) mindestens zwei vielversprechende Lösungen konzeptionell entwickelt und dargestellt werden.

Die BAW erarbeitet derzeit eine bundesweite Handlungsempfehlung „Instandsetzung unter Betrieb (IUB)“ zur Schleuseninstandsetzung. Darin soll ein sog. Modulbaukasten entwickelt werden, der Randbedingungen, prinzipielle Lösungsansätze und einzusetzende Bauverfahren definiert, um die Instandsetzung von Schleusenanlagen bundesweit möglichst einheitlich und damit wirtschaftlicher zu gestalten. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie sollen in diesen Modulbaukasten mit einfließen.

### 2.1 Schließungszeiten

Die partielle Trockenlegung und die Instandsetzungsarbeiten der Schleusenbauwerke sind unter Betrieb zu realisieren. Es sind dabei klar definierte Zeitfenster (vgl. ANH 2014 und BAW 2014) zu berücksichtigen, in denen die Schleusen für den Schifffahrtsverkehr kurzzeitig gesperrt sind.

Für die Umsetzung von Instandsetzungsmaßnahmen steht arbeitstäglich ein Zeitfenster von 12 Stunden zur Verfügung. Die erforderlichen Zeiten für das Installieren und Entfernen eines Abschottungssystems in der Schleuse sowie für das Trockenlegen und Fluten des Arbeitsabschnitts sind hierin bereits enthalten und sollen höchstens 4 Stunden betragen.

Für bestimmte Arbeitssituationen können im Einzelfall längere Sperrzeiten angesetzt werden, die mit den Wasserschifffahrtsämtern bzw. der Bundesanstalt für Wasserbau abgestimmt sein müssen. Im Rahmen des Pilotprojekts „Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Schwabenheim“

---

kann die genannte Schleuse maximal zweimal pro Quartal, jedoch maximal 12 mal im Zeitraum von drei Jahren, für insgesamt jeweils 60 Stunden oder für 4 – 6 Wochen pro Jahr gesperrt werden.

## 2.2 Schleusen allgemein

In ANH (2014) und BAW (2014) werden geometrische und technische Randbedingungen definiert, die bei der partiellen Trockenlegung von Schleusenabschnitten und Instandsetzungsarbeiten unter Betrieb zu berücksichtigen sind:

Der Wasserstand innerhalb der Schleuse befindet sich zu Beginn der partiellen Trockenlegung auf Unterwasserstand (UW). Das Schleusentor am Oberhaupt sowie sonstige Füll- und Entleerungsvorrichtungen sind abgesperrt. Die temporären Abschottungssysteme innerhalb der Schleuse müssen auch bei schwankenden Wasserständen einsetzbar sein. Es sind die Grenzstauhöhen von 2,00 m (Niedrigwasserstand, NW) bzw. 5,00 m (Hochwasserstand, HW) zu betrachten. Der planmäßige Unterwasserstand beträgt ca. 3,50 m (Mittelwasserstand, MW).

Die Länge des trocken zu legenden Arbeitsbereichs in der Schleuse ist möglichst flexibel zu halten, da aufgrund von unterschiedlichen Bauverfahren unterschiedlich lange Arbeitsabschnitte erforderlich sein können. Die Breite der Schleusenammer soll mit einem Durchschnittswert von 12,50 m angenommen werden. Eine Lösung der Abschottungssysteme mit variabler Breite von +/- 2,00 m sollte optional möglich sein, um den Einsatz auch in Schleusen mit abweichenden Breiten zu gewährleisten. Während der Bauzeit muss außerhalb der Schifffahrtssperren eine Lichtraumprofilbreite von mindestens 11,80 m vorgehalten werden. Das vertikale Lichtraumprofil ist nach Möglichkeit nicht einzuschränken. Insbesondere Einkragungen auf der Kammersohle können beim Befahren und Ausfahren der Schiffe aus der Schleusenammer zu Kollisionen mit den Schiffsrümpfen führen.

Konstruktionsbedingte Eingriffe in die Schleusenammerwände und –sohle (z. B. Abstützungen, Verankerungen etc.) und Anforderungen an den Beton sind zu minimieren und bei der Systemgestaltung der Abschottungssysteme zu berücksichtigen. Gegebenenfalls sind Hilfskonstruktionen vor Schiffsanprall zu schützen.

Hinsichtlich des Ein- und Ausbavorgangs der Abschottungssysteme sollen mindestens eine einschwimmbare (z. B. mithilfe eines Pontons o. ä.) und eine einhebbare Variante (z. B. Dammtafeln o. ä.) ausgearbeitet werden.

Der trockengelegte Schleusenammerbereich muss als Arbeitsraum für die Instandsetzungsarbeiten nutzbar sein (z. B. hinsichtlich des Lichtraumprofils, der Arbeitssicherheit, der benötigten Arbeitsgeräte etc.). Dies ist bei der Konzipierung der partiellen Trockenlegung zu berücksichtigen.

---

### **2.3 Schleuse Schwabenheim**

Die Schleusenanlage Schwabenheim ist eine Kanalstaustufe des Neckars auf der Höhe von Heidelberg-Wieblingen. Sie besteht aus zwei nebeneinanderliegenden Schleusenkammern aus den Jahren 1925 (linke Kammer, vgl. WSV 2011) bzw. 1955 (rechte Kammer, vgl. WSV 2011). Aufgrund ihrer Altersstruktur ist eine umfangreiche Grundinstandsetzung beider Kammern in den kommenden Jahren geplant. Dies schließt u. a. die Erneuerung der Ober- und Unterhäupter, den Austausch der Schleusentore und die Instandsetzung der Kammerwände und –sohle mit ein (vgl. BAW/ANH 2014, S. 39ff.). Insbesondere bei letztgenannten Arbeiten ist eine Instandsetzung unter Betrieb geplant. In diesem Zusammenhang sollen unter Leitung der BAW und des Amts für Neckarausbau Heidelberg (ANH) Teile des oben genannten Baukastens, wie z. B. die partielle temporäre Trockenlegung, an dieser sog. Musterschleuse in einem Pilotprojekt angewendet werden. Die Durchführung des Pilotprojekts beschränkt sich dabei allein auf die linke Kammer, während parallel die rechte Kammer der Schifffahrt zur Verfügung steht.

Nach WSV (2011) und WSV (2013b) besitzt die linke Schleusenkammer ein lichtetes Profil von ca. 109,00 m Länge und ca. 12,00 m Breite (vgl. Abb. 1 und Abb. 2). Kammerwände und –sohle sind in Massivbauweise errichtet. Die Hubhöhe beträgt ca. 8,70 m. Die Flutung und Entleerung der Schleusenkammer erfolgt über Torumläufe bzw. Toröffnungen.

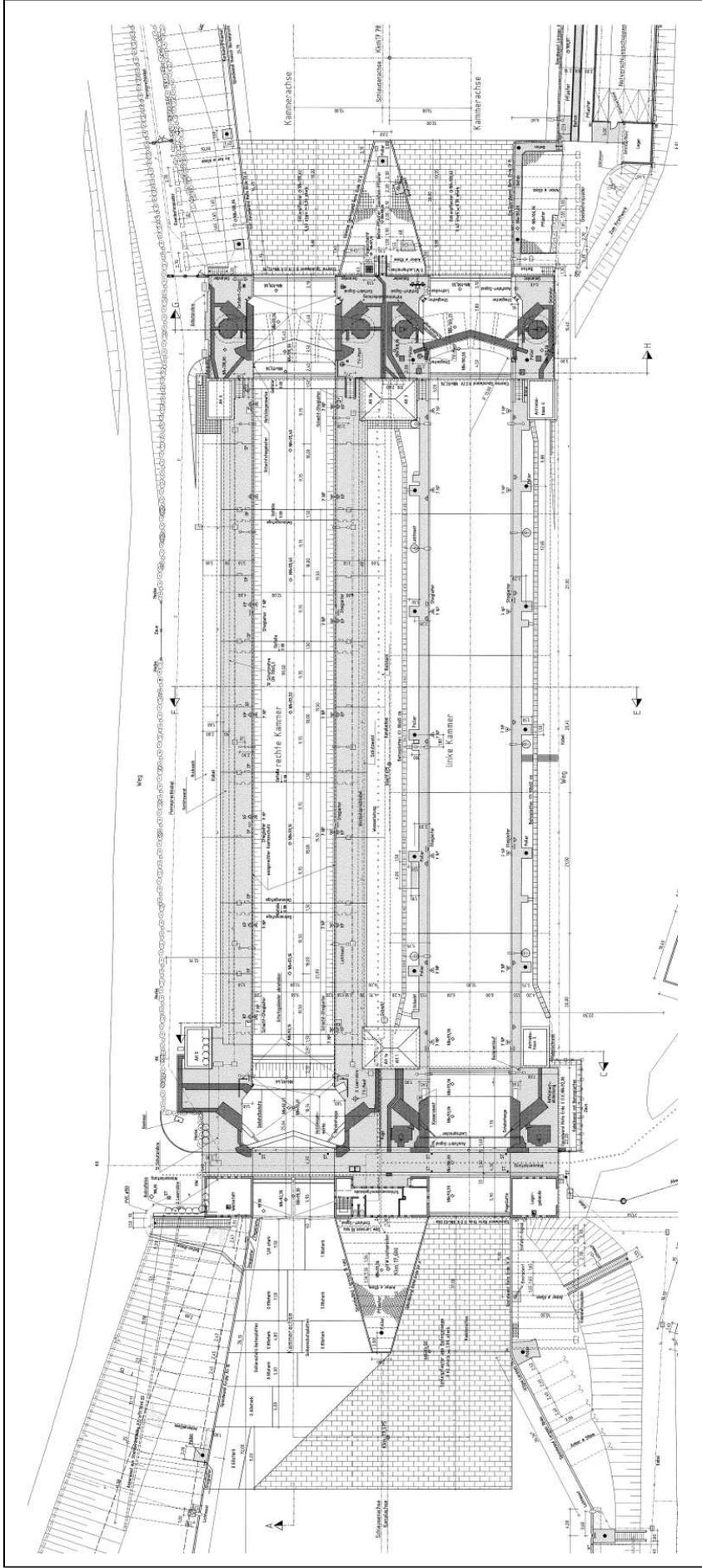


Abb. 1: Grundriss der Schleusenanlage Schwabenheim (aus ANH 2008)

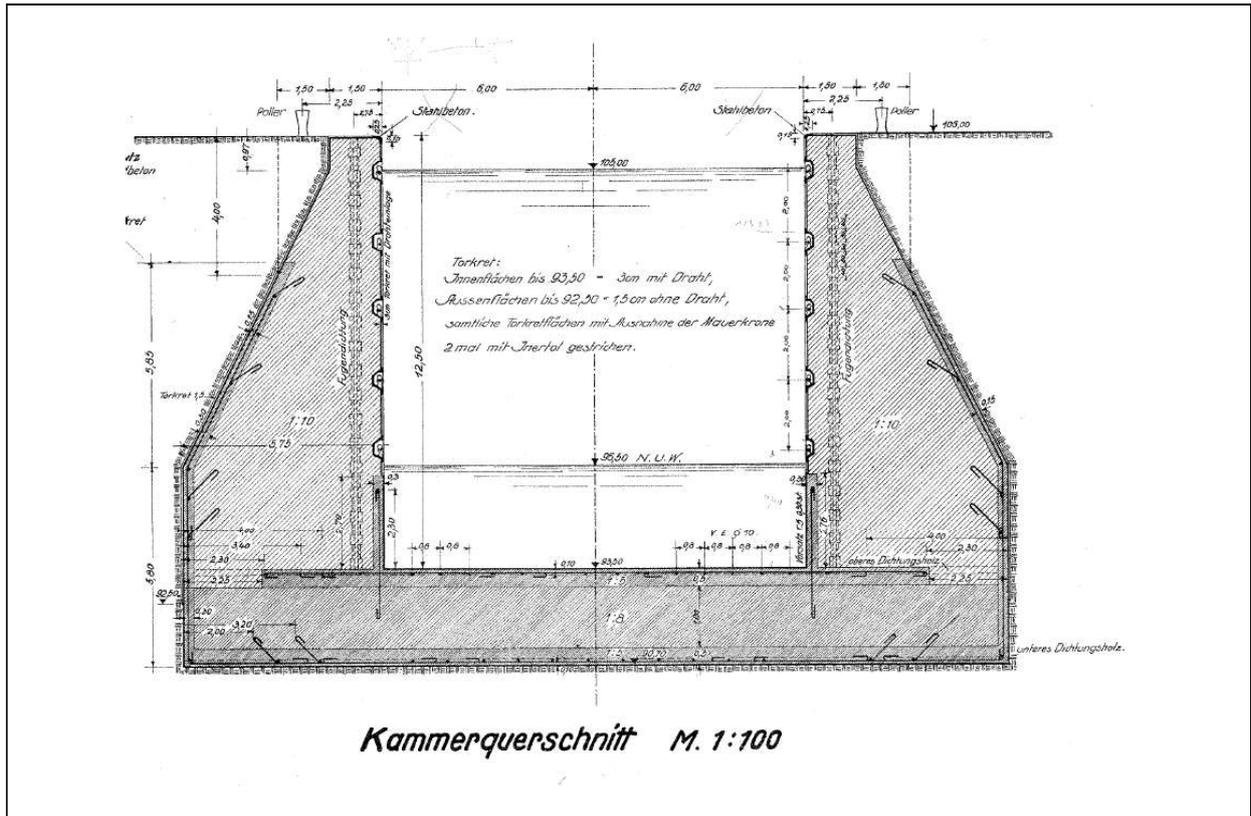


Abb. 2: Querschnitt der linken Schleusenkammer Schwabenheim (aus ANH 1931)

## **4 Entwicklungskonzeption temporärer Wasserabschottungssysteme für Schleusen**

In den folgenden Kapiteln werden eigene Ideen, Adaptionen und Weiterentwicklungen bestehender temporärer Wasserabschottungssysteme vorgestellt und bewertet. Hierzu werden jeweils die Vor- und Nachteile einander gegenübergestellt und diskutiert. Die beiden vielversprechendsten Systeme werden anhand einer Gesamtbewertungsmatrix ausgewählt. Sämtliche Entwurfsskizzen für mögliche temporäre partielle Wasserabschottungssysteme in diesem Kapitel sind in einer vergrößerten Darstellung in der Anlage hinterlegt.

### **4.1 Darstellung verschiedener Wasserabschottungssysteme**

#### **4.1.1 System 1: Einschwenkbare Dammtafeln**

Das nachfolgend dargestellte System orientiert sich an der in Kapitel 3.2.3 beschriebenen Hochwasserschutzklappe, die vor allem zum Abdichten von rechteckigen Öffnungen, wie z. B. Fenstern, eingesetzt wird. Es besteht aus einer Dammtafel, die über ein vertikales Gelenk in den abzudichtenden Raum geschwenkt werden kann. Das Gelenk ist fest an eine der beiden Kammerwände montiert (vgl. Abb. 33).

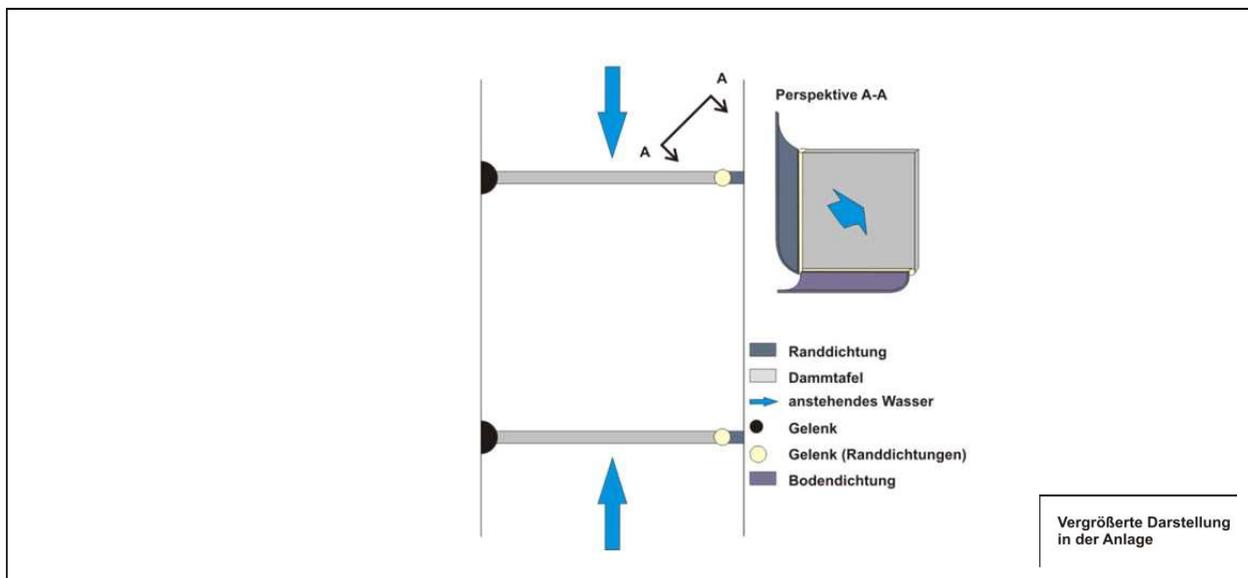
Die Abdichtung erfolgt bei den Hochwasserschutzklappen über eine Notendichtung, die an ein Widerlager herangedrückt wird. Für die Abdichtung einer Schleusenkammer sind jedoch im herkömmlichen Betriebszustand keine Widerlager in der Kammer vorhanden, welche genutzt werden können. Für den Fall, dass Widerlager an Kammersohle und -wänden vorinstalliert oder eingelassen werden, muss das hindernisfreie Einschwenken der Dammtafel gewährleistet werden. Ein dem Gelenk gegenüber liegendes Widerlager, das als Wandaussparung ausgeführt ist, muss analog Abb. 7 zwingend eine Keilform o. ä. aufweisen. Aufgrund der aufwendigen Vorarbeiten wird diese Ausführung der in der Wand integrierten Widerlager nicht weiter verfolgt.

Alternativ können Widerlager fest an der Kammerwandoberfläche installiert werden. Diese ragen allerdings in den Schleusenkammerquerschnitt und schränken das Lichtraumprofil unzulässig ein. Diese Ausführungsform wird demnach nicht weiter betrachtet.

Zur Abdichtung der Fugen an Kammersohle und der dem Gelenk gegenüberliegenden Kammerwand werden an der Dammtafel gelenkig gelagerte Lippendichtungen vorgeschlagen. Diese sollen, sowohl

durch Reibung an Kammersohle und Kammerwand, als auch durch den anstehenden Wasserdruck, die Kammer abdichten.

Während des Schleusenbetriebs ist die Dammtafel eingeklappt und liegt an der Kammerwand an. Für den Vorgang der partiellen Trockenlegung wird die Dammtafel über die vertikale Gelenkachse in die Kammer eingeschwenkt. Nach Beendigung der Instandsetzungsarbeiten wird das trockengelegte Segment wieder gefüllt und die Dammtafel an die gelenkseitige Kammerwand herangeschwenkt. Für das Ein- und Ausschwenken der Dammtafel könnte ein in der Wand integriertes hydraulisches System oder ein mechanisches Zugsystem eingesetzt werden. Die Installation einer Hydraulik erscheint aufgrund der Platzverhältnisse für diesen Fall technisch schwierig. Ein mechanisches Zugsystem wird stattdessen bevorzugt. Die Dammtafel könnte z. B. mithilfe eines Seilzugs in die gewünschte Position gezogen werden.



**Abb. 33:** System 1: Einschwenkbare Dammtafeln mit Lippendichtungen

Die Vor- und Nachteile dieses Systems werden in Tabelle 2 zusammengefasst. Ein wesentlicher Vorteil ist die relativ einfache Konstruktion der Dammtafel und des Gelenks. Hierfür sind Praxiserfahrungen vorhanden, die genutzt werden können. Wenige technische Elemente erleichtern außerdem Wartung und Ablauf.

Der wesentliche Nachteil dieser Konstruktion besteht in einer dauerhaften Einschränkung des Lichtraumprofils durch das Gelenk und der für den Instandsetzungszeitraum dauerhaft daran befestigten Dammtafel. Denkbar wäre, die Dammtafel erst unmittelbar vor der geplanten Trockenlegung in die Kammer einzuheben und mit dem Gelenk zu verbinden. Hierbei sind allerdings das relativ große Gewicht der Dammtafel und der (zeit-) aufwendige Montagevorgang zu beachten.

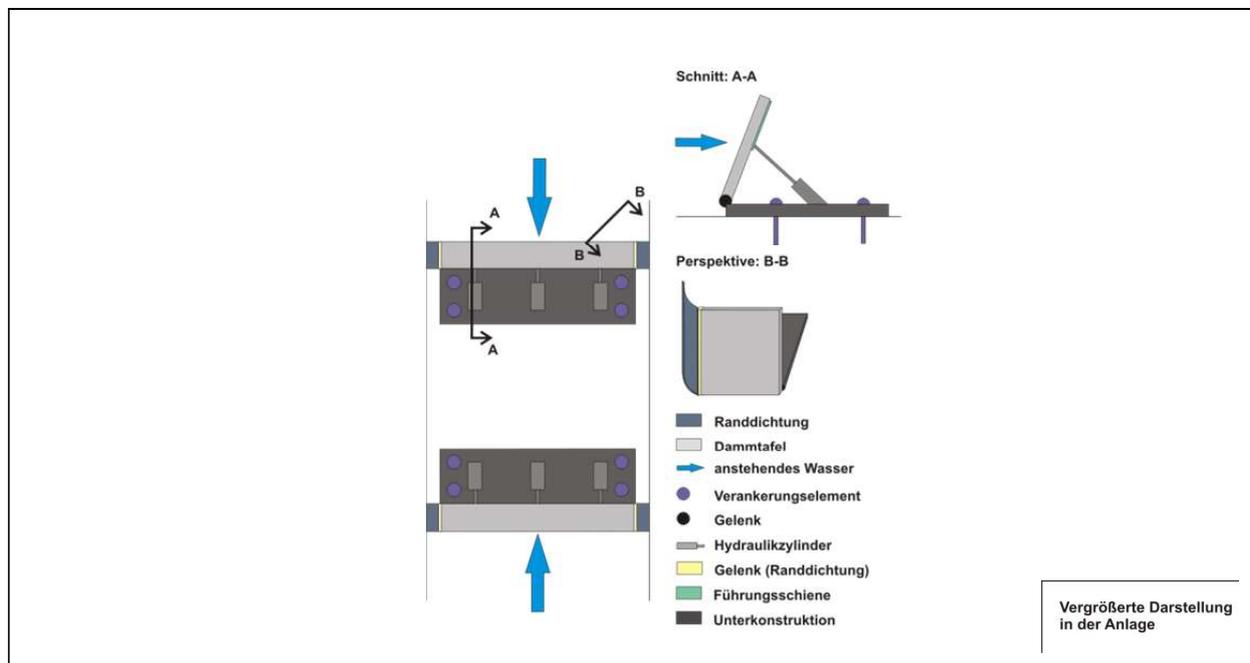
Die durch das einseitig anstehende Wasser verursachten Lasten erfordern ggf. zusätzliche Abstützungsmaßnahmen. Aufgrund der fehlenden Widerlager müssen die Lasten über die Dammtafel in das Gelenk abgetragen werden. Dies muss bei der Dimensionierung der Dammtafel und des Gelenks berücksichtigt werden, da durch den Wasserdruck eine große Momentenbelastung entsteht. Hinsichtlich der Dichtigkeitswirkung des Abschottungssystems müssen weitere Untersuchungen und Nachweise geführt werden. Besonders kritisch sind hierbei die Eckbereiche von Kammerwänden und -sohle zu betrachten.

**Tab. 2:** System 1: Vor- und Nachteile der einschwenkbaren Dammtafeln

<b>Vorteile:</b>	<b>Nachteile:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfaches Konstruktionsprinzip (Dammtafel, Gelenk)</li> <li>• Wenige technische Elemente, die beschädigt werden können</li> <li>• Einfaches Prinzip für Auf- und Abbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorarbeiten in der Schleusenkammer sind ggf. notwendig</li> <li>• Relativ hohes Gewicht der Dammtafel</li> <li>• Breitenunterschiede in der Kammer können nur marginal ausgeglichen werden</li> <li>• Seilzugsystem erzeugt Wartungs- und Einrichtungsaufwand</li> <li>• Eingeschränkte Mobilität des Systems: vorab Festlegung der trocken zu legenden Abschnitte</li> <li>• Einschränkung Lichtraumprofil</li> <li>• Schwenkvorgang: Verdrängung großer Wassermassen</li> <li>• Ggf. zusätzliche Vorkehrungen für Lastabtrag erforderlich</li> <li>• Abdichtung Eckbereiche fraglich</li> <li>• Funktionsfähigkeit Abdichtungssystem bisher noch nicht nachgewiesen</li> </ul>

### 4.1.2 System 2: Aufklappbare Dammtafeln

Grundsätzlich weist das System Ähnlichkeiten entsprechend der horizontal einschwenkbaren Dammtafel auf (vgl. Kap. 4.1.1). Die Dammtafel wird bei dem hier vorliegenden System jedoch über ein horizontales Gelenk gedreht. Die Drehachse ist hierbei an einer Unterkonstruktion auf der Schleusensohle montiert (vgl. Abb. 34). Es sind verschiedene Ausführungsvarianten denkbar. Für den Aufrichtvorgang der Tafel werden Hydraulikzylinder gewählt. Die Abdichtung zwischen der Dammtafel und den Kammerwänden soll analog zu System 1 über Lippendichtungen erreicht werden. Das horizontale Gelenk zwischen Dammtafel und Unterkonstruktion ist wasserdicht auszuführen. Die Unterkonstruktion selbst wird im Vorfeld der Instandsetzungsarbeiten mit Hilfe von Ankern im Altbeton befestigt.



**Abb. 34:** System 2: Aufklappbare Dammtafeln

Die Betrachtung der Vor- und Nachteile des Systems lassen einige Parallelen zu System 1 erkennen. Zusammengefasst werden diese Vor- und Nachteile in Tab. 3. Ein wesentlicher Nachteil ist hier ebenfalls die dauerhafte Einschränkung des Lichtraumprofils. In der Schleuse vorhandene Vouten in Eckbereichen von Kammerwänden und Kammersohle stellen für das dargestellte System ein Ausschlusskriterium dar. Analog zu System 1 besteht hier ebenfalls ein zusätzlicher Aufwand für die Konstruktion und Installation der Hydraulikzylinder am System. Jedoch dienen diese der Dammtafel zusätzlich als Abstützung. So kann ein Teil des Wasserdrucks über die Zylinder abgetragen werden. Der restliche Kraftanteil wird von der Dammtafel über das Gelenk in die Unterkonstruktion geleitet. Ein Seilsystem zur Aufrichtung der Dammtafel scheint wenig erfolgversprechend.

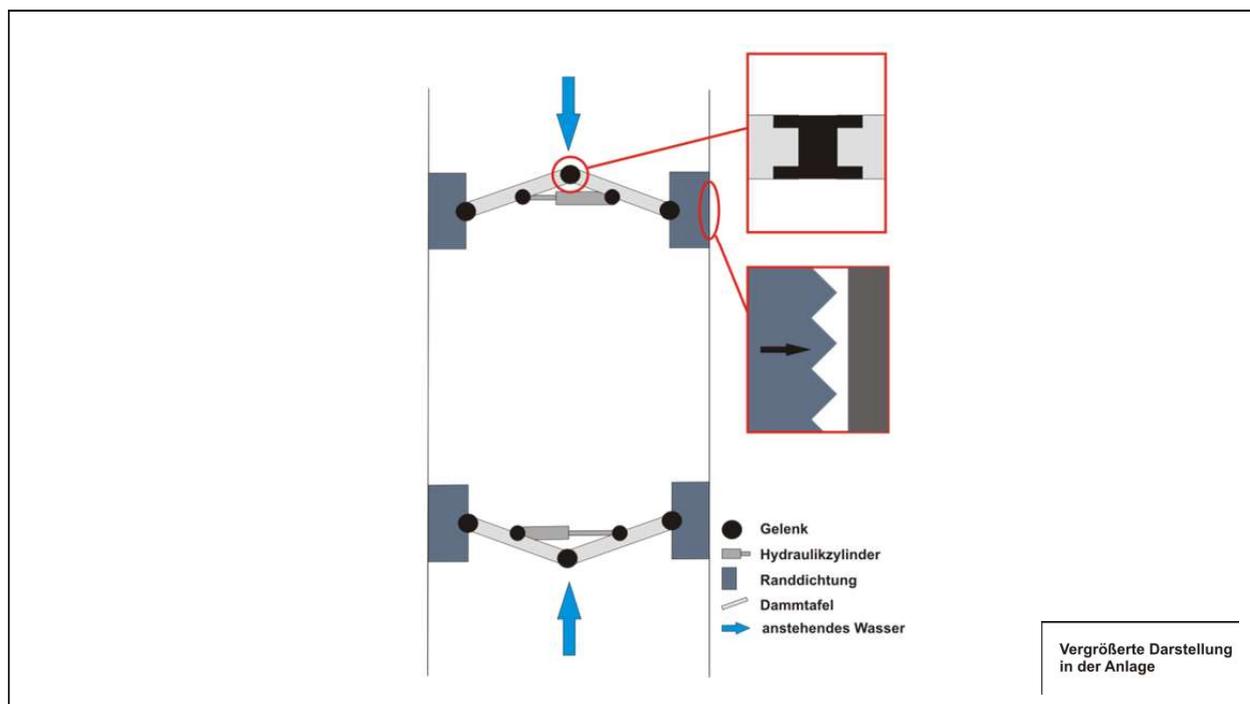
**Tab. 3:** System 2: Vor- und Nachteile der aufklappbaren Dammtafeln

<b>Vorteile:</b>	<b>Nachteile:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einfaches Konstruktionsprinzip</li> <li>• Horizontaler Kraftanteil kann über Hydraulikzylinder abgetragen werden</li> <li>• Konstruktion trägt Lasten nicht ausschließlich über Reibung ab</li> <li>• Einfaches Prinzip für Auf- und Abbau</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Vorarbeiten an der Schleusenkammer sind ggf. notwendig</li> <li>• Relativ hohes Gewicht der Dammtafel</li> <li>• Hydraulikzylinder: zusätzliches technisches Element, das beschädigt werden kann</li> <li>• Breitenunterschiede in der Kammer können nur marginal ausgeglichen werden</li> <li>• Vertikale Verbreiterung der Dammtafel nicht möglich</li> <li>• Eingeschränkte Mobilität des Systems: vorab Festlegung der trocken zu legenden Abschnitte</li> <li>• Einschränkung vertikales Lichtraumprofil</li> <li>• Aufklappvorgang: Verdrängung großer Wassermassen</li> <li>• Abdichtung Eckbereiche fraglich</li> <li>• Funktionsfähigkeit Abdichtungssystem bisher noch nicht nachgewiesen</li> </ul>

### 4.1.3 System 3: Horizontal verspannbare Dammtafeln

Das System besteht aus zwei Dammtafeln, die über ein vertikales Gelenk, z. B. aus Hartgummi, miteinander verbunden sind. Es wird zwischen den Kammerwänden mittels einer oder mehrerer an den Dammtafeln gelenkig gelagerter Hydraulikzylinder verspannt. Durch diesen Aufbau entsteht ein aufspannbarer Dreigelenkrahen. An den wandseitigen Enden der Dammtafeln sind Randdichtungen gelenkig angebracht. Diese müssen so beschaffen sein, dass mindestens geringe Unebenheiten der Kammerwandoberfläche ausgeglichen werden können. Zusätzlich müssen sie eine möglichst große Reibungsfläche aufweisen, um die anfallenden Lasten auf die Wand übertragen zu können. Der Aufbau des Systems ist in Abb. 35 dargestellt.

Im Gegensatz zu den vorgestellten Systemen 1 und 2 benötigen die horizontal verspannbaren Dammtafeln keine fest an der Kammerwand bzw.- sohle installierte Drehachse. Die Gelenkachse zwischen den beiden Dammtafeln ist in das System integriert. Die durch den Wasserdruck entstehende horizontale Kraft auf das Abschottungssystem wird über die Kammerwände abgeleitet. Durch die Schrägstellung der Dammtafeln kann die Kraft in eine wandsenkrechte und eine wandparallele Komponente aufgeteilt werden. Erstgenannte unterstützt die Verspannung durch die Hydraulikzylinder und kann direkt in Kammerwände eingeleitet werden. Die wandparallele Komponente kann ausschließlich über Reibung abgetragen werden. Die genaue Lastein- und -ableitung sollte in möglichen fortführenden Planungen vertieft betrachtet werden, um die Standsicherheit zu gewährleisten.



**Abb. 35:** System 3: Horizontal verspannbare Dammtafeln

Die Vor- und Nachteile dieses Systems sind in Tab. 4 aufgeführt. Es wird darauf hingewiesen, dass hinsichtlich einer schlechten Kammerwandqualität die Reibungskomponente ggf. nicht ausreicht, um die parallel zur Wand verlaufende Lastkomponente aufzunehmen. Die Standsicherheit des Abschottungssystems ist daher kammerspezifisch zu prüfen.

Die Abdichtung der Sohlenfuge über das Eigengewicht kann aufgrund der horizontalen Verspannung zu den Kammerwänden wirkungslos werden. Es kann in keinem Fall gewährleistet werden, dass das System vor dem Verspannvorgang komplett und zu 100 % dicht auf der Sohle abgesetzt werden kann. Aufgrund der horizontalen Systemverspannung ist eine Verschiebung in vertikale Richtung nicht mehr gegeben. Eine Fuge zwischen Dammtafel und Kammersohle kann daher die Folge sein. Eine Alternative für die Abdichtung der horizontalen Fuge könnte eine zusätzliche Hydraulikkomponente sein, mit der das System auch in vertikaler Richtung verspannt werden könnte. Es erscheint gegenwärtig allerdings fraglich, ob das Verhältnis von Nutzen zu Entwicklungs- und Herstellungsaufwand vertretbar ist.

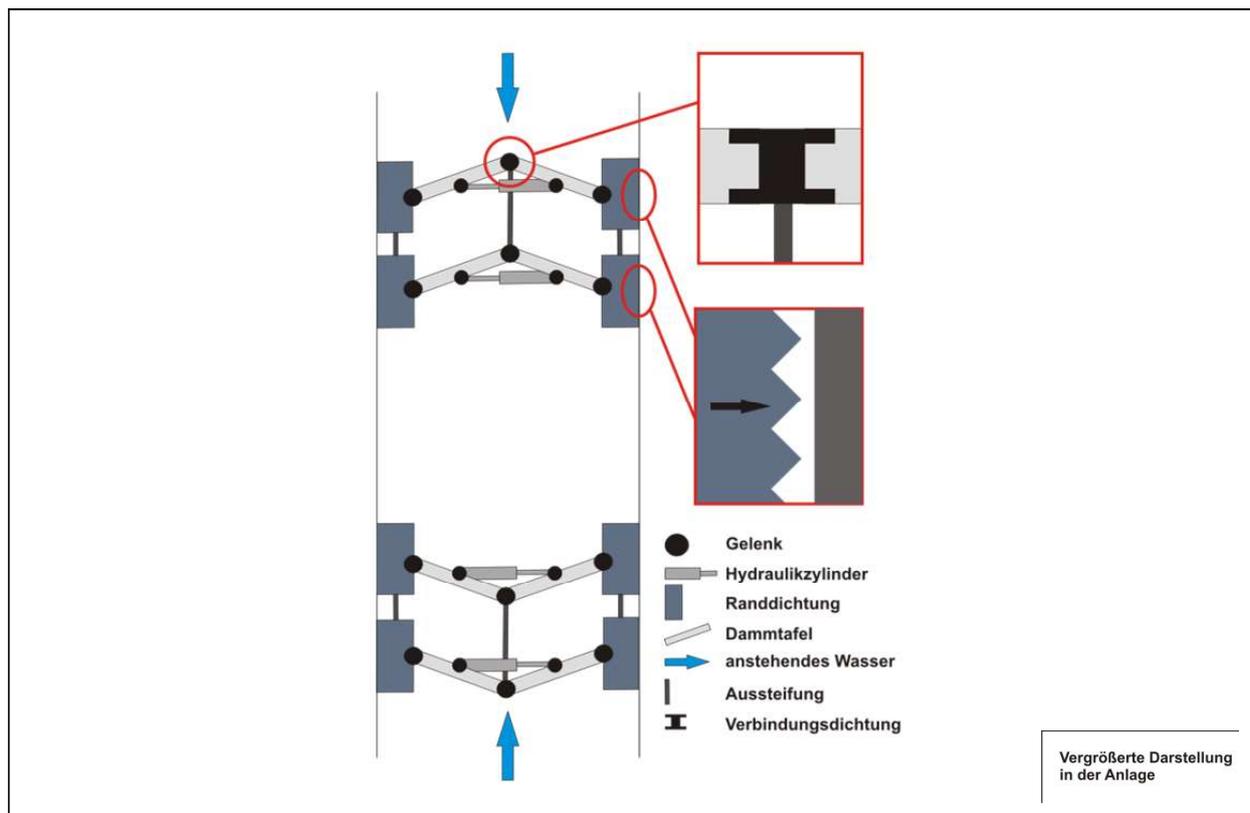
Die Installation des Systems scheint mittels Einheben oder Einschwimmen möglich. Zusätzlich ist das System mobil einsetzbar, da der Installationsort vor jeder partiellen Trockenlegung individuell festgelegt werden kann. Vorarbeiten innerhalb der Schleusenkammer sind nicht notwendig.

**Tab. 4:** System 3: Vor- und Nachteile der horizontal verspannbaren Dammtafeln

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Vorarbeiten in der Kammer erforderlich</li> <li>• Geringe Breitenunterschiede in der Kammer können ausgeglichen werden</li> <li>• Sowohl Einheben als auch Einschwimmen denkbar</li> <li>• System mobil einsetzbar</li> <li>• Keine Einschränkung des Lichtraumprofils</li> <li>• Einfaches Prinzip für Auf- und Abbau</li> <li>• Die zur Kammerwand senkrechte Kraftkomponente des Wasserdrucks unterstützt Verspannung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwendiges Konstruktionsprinzip aufgrund zahlreicher Gelenke</li> <li>• Relativ hohes Gewicht der Dammtafeln</li> <li>• Hydraulikzylinder: zusätzliches technisches Element, das beschädigt werden kann</li> <li>• Wandparalleler Lastabtrag ausschließlich über Reibung</li> <li>• Druckkraft bei schlechtem Altbetonmaterial evtl. zu hoch</li> <li>• Abdichtung der Sohlfuge technisch aufwendig bzw. fraglich</li> </ul>

#### 4.1.4 System 4: Verspannbares Doppeltor

Eine Weiterentwicklung von System 3 stellt das verspannbare Doppeltor dar (vgl. Abb. 36). Hierbei sind 2 identische Torsysteme aus Kap. 4.1.3 gelenkig miteinander verbunden. Analog zu System 3 werden die beiden Torsysteme mittels Hydraulikzylinder zwischen den Kammerwänden verspannt. Die Doppelausführung der Tore dient der günstigeren Lastaufteilung auf Konstruktion und Gelenke. Dadurch werden die zu erwartenden teils hohen Einzelbelastungen aus System 3 reduziert. Die Randdichtungen sind ebenfalls doppelt ausgeführt, was zu einer Erhöhung der Reibungsfläche führt.



**Abb. 36:** System 4: Verspannbares Doppeltor

Neben den in Kap. 4.1.3 genannten Eigenschaften, gibt es weitere systemspezifische Vor- und Nachteile. Negativ zu bewerten ist die Doppelausführung hinsichtlich des Gesamtgewichts der Konstruktion. Die Handhabung und Installation des Systems wird dadurch deutlich erschwert.

Ein Großteil des anstehenden Wassers wird durch das wasserseitige Tor zurückgehalten. Der Raum zwischen den beiden Toren könnte jedoch genutzt werden, um z. B. Pumpen für das Leckgewasser zu installieren ohne dabei in den Arbeitsraum einzugreifen. Eine Sohlendichtung könnte an dem Wasser abgewandten Tor nachträglich installiert werden. Weitere Vor- und Nachteile sind in Tab. 5 zusammengefasst.

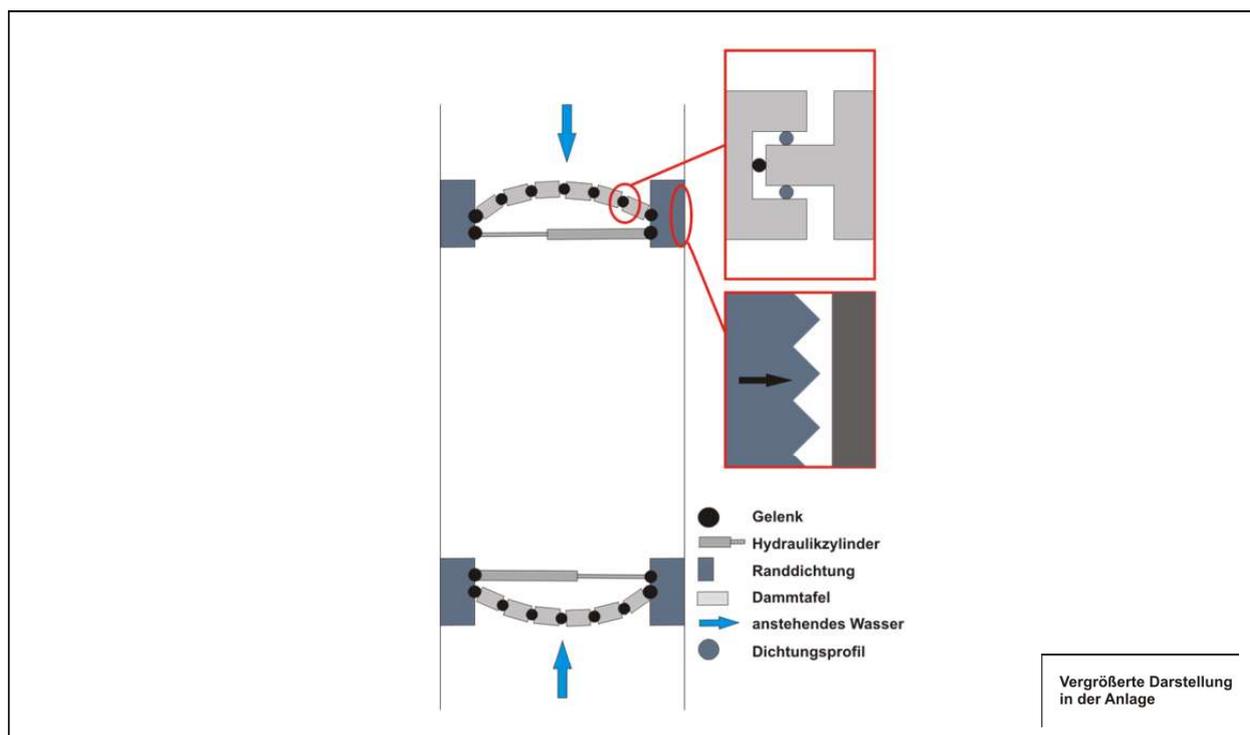
**Tab. 5:** System 4: Vor- und Nachteile des verspannbaren Doppeltors

<b>Vorteile:</b>	<b>Nachteile:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Vorarbeiten in der Kammer erforderlich</li> <li>• Geringe Breitenunterschiede in der Kammer können ausgeglichen werden</li> <li>• Torzwischenraum für Leckagewasserpumpen nutzbar</li> <li>• Sowohl Einheben als auch Einschwimmen denkbar</li> <li>• System mobil einsetzbar</li> <li>• Keine Einschränkung des Lichtraumprofils</li> <li>• Die zur Kammerwand senkrechte Kraftkomponente des Wasserdrucks unterstützt Verspannung</li> <li>• Vergrößerung der Reibungsfläche (zusätzliche Sicherheit)</li> <li>• Zusätzliche Dichtungsmaßnahmen an Sohle möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwendiges Konstruktionsprinzip aufgrund zahlreicher Gelenke</li> <li>• Relativ hohes Gewicht der Dammtafeln</li> <li>• Hydraulikzylinder: zusätzliches technisches Element, das beschädigt werden kann</li> <li>• Wandparalleler Lastabtrag ausschließlich über Reibung</li> <li>• Einhebevorgang aufwendiger im Vergleich zu System 3</li> <li>• Druckkraft bei schlechtem Altbetonmaterial evtl. zu hoch</li> <li>• Abdichtung der Sohlfuge technisch aufwendig bzw. fraglich</li> </ul>

#### 4.1.5 System 5: Verspannbares Segmentbogentor

Ein signifikanter Unterschied zu den bisher vorgestellten Systemen ist die Verwendung eines aus mehreren Segmenten bestehenden Tors. Das Gesamtsystem ist in Abb. 37 schematisch dargestellt. Im Vergleich zu den verspannbaren Tafellösungen (vgl. Kap. 4.1.3 und 4.1.4), bilden die zusammengesetzten Segmente keine Dreiecks-, sondern eine Bogenform. Das geringere Einzelgewicht der Segmente erleichtert den Transport auf die Baustelle und den Zusammenbau vor Ort. Untereinander sind diese über geeignete Gelenkdichtungen miteinander verbunden. Hydraulikzylinder verspannen das temporäre Wasserabschottungssystem analog zu System 3 und 4 in horizontaler Richtung gegen die Kammerwände.

Über die Bogentragwirkung kann ein Teil des anstehenden Wasserdrucks direkt in die Wand abgeleitet werden. Entsprechend System 3 und 4 wird auch durch die Bogenform der Wasserdruck in eine wandsenkrechte und -parallele Komponente aufgeteilt. Die wandsenkrechte Kraft kann bedingt durch die Bogentragform erheblich erhöht werden. Die Kräfte werden über Druck und Reibung an der Kammerwand abgetragen.



**Abb. 37:** System 5: Verspannbares Segmentbogentor

Die große Anzahl an abzudichtenden Fugen und Gelenken kann sich nachteilig auf die Gesamtdichtigkeit des Systems auswirken. Analog der verspannbaren Dammtafeln erscheint es

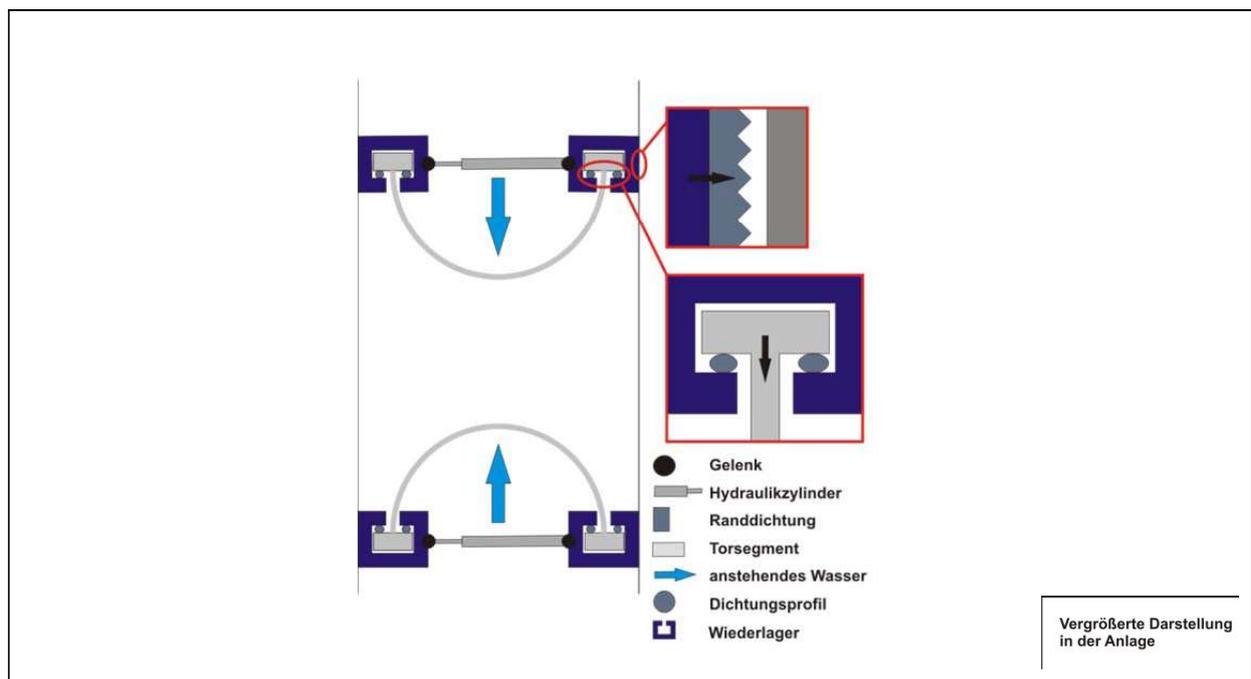
technisch schwierig die Abdichtung zur Kammersohle hin zu realisieren. Zusammenfassend sind die Vor- und Nachteile in Tab. 6 dargestellt.

**Tab. 6:** System 5: Vor- und Nachteile des verspannbaren Segmentbogentors

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Vorarbeiten in der Kammer erforderlich</li> <li>• Geringes Gewicht der Einzelsegmente</li> <li>• Geringe Breitenunterschiede in der Kammer können ausgeglichen werden</li> <li>• Sowohl Einheben als auch Einschwimmen denkbar</li> <li>• System mobil einsetzbar</li> <li>• Keine Einschränkung des Lichtraumprofils</li> <li>• Erhöhter Lastabtrag des Wasserdrucks über Kammerwände</li> <li>• Die zur Kammerwand senkrechte Kraftkomponente des Wasserdrucks unterstützt Verspannung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einzelsegmente sind in Vorarbeit miteinander zu verbinden</li> <li>• Aufwendiges Konstruktionsprinzip aufgrund zahlreicher Gelenke</li> <li>• Erhöhte Fugen- und Gelenkanzahl: Gefahr eines vergrößerten Volumens an Leckagewasser</li> <li>• Hydraulikzylinder: zusätzliches technisches Element, das beschädigt werden kann</li> <li>• Wandparalleler Lastabtrag ausschließlich über Reibung</li> <li>• Abdichtung der Sohlfuge technisch aufwendig bzw. fraglich</li> </ul>

#### 4.1.6 System 6: Gebogenes Schubtor

Diese Systemidee basiert auf dem bogenförmigen Abschottungssystem, das in Kap. 3.1.5 beschrieben ist. Der grundsätzliche Aufbau ist identisch zu dem dort beschriebenen System. Die Widerlager werden jedoch nicht fest in der Betonkammer installiert, sondern sollen mobil einsetzbar sein. Die örtliche Flexibilität des Systems erfordert Hydraulikzylinder, die die Widerlager gegen die jeweilige Kammerwand pressen. Das eigentliche Wasserabschottungssystem wird in Form eines Bogens ausgeführt. Dieser ist konkav zur wasseranstehenden Seite hin ausgebildet. Abb. 38 zeigt den Aufbau des Systems.



**Abb. 38:** System 6: Gebogenes Schubtor

Im Vorfeld der Entwässerung werden die Widerlager an die jeweilige Position der Schleusenkammer eingeschwommen oder eingehoben und mittels der Hydraulikzylinder horizontal gegen die Kammerwände verspannt. Anschließend werden die Bogentore in die Führungen der Widerlager eingehoben und bis auf die Sohle geführt.

Die konkave Bogenöffnung hat den Vorteil, dass der Wasserdruck vom Verschluss ausschließlich über Zug abgetragen wird. Dies ist für das Material Stahl günstiger als eine Druckbeanspruchung. Die Möglichkeit das Torsegment nach dem horizontalen Verspannen noch vertikal verschieben zu können würde die Entwicklung einer Sohlfugenabdichtung vereinfachen. Ebenfalls positiv zu beurteilen ist das geringere Gewicht des Torsegments.

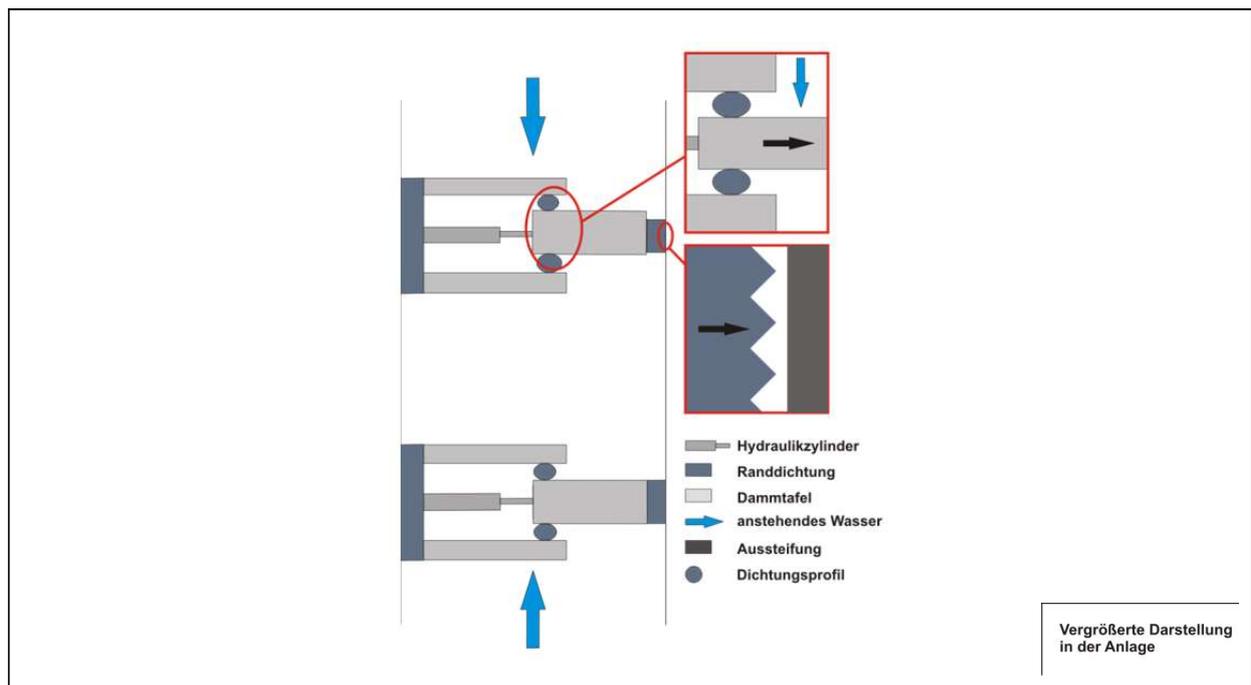
Neben dem Verspannen der Widerlager muss das Torsegment eingehoben werden, wodurch ein weiterer, möglicherweise zeitintensiver, Arbeitsschritt entsteht. Einhebevorgänge in Führungsschienen bergen immer die Gefahr der Verkantung. Eine Zusammenfassung der Vor- und Nachteile des gebogenen Schubtors ist in Tab. 7 dargestellt.

**Tab. 7:** System 6: Vor- und Nachteile des gebogenen Schubtors

<b>Vorteile:</b>	<b>Nachteile:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Vorarbeiten in der Kammer erforderlich</li> <li>• Geringeres Gewicht des Torsegments im Vergleich zu herkömmlichen Schottkonstruktionen</li> <li>• Geringe Breitenunterschiede können ausgeglichen werden</li> <li>• Einheben denkbar (ggf. auch Einschwimmen)</li> <li>• System mobil einsetzbar</li> <li>• Keine Einschränkung des Lichtraumprofils</li> <li>• Torsegment ausschließlich auf Zug beansprucht</li> <li>• Torsegment: Sohdichtung realisierbar durch vertikale Verschiebbarkeit nach dem horizontalen Verspannen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufwendiges Konstruktionsprinzip</li> <li>• Hydraulikzylinder: zusätzliches technisches Element, das beschädigt werden kann</li> <li>• Einstellen des Torsegments: zusätzlicher Arbeitsschritt</li> <li>• Verkanten des Tors beim Einhebevorgang in Widerlager möglich</li> <li>• Wandparalleler Lastabtrag ausschließlich über Reibung</li> <li>• Abdichtung der Sohlfuge und der Eckbereiche: gesonderte Betrachtung erforderlich</li> </ul>

#### 4.1.7 System 7: Ineinander verschiebliche Dammtafeln

Bei diesem System handelt es sich um 2 Dammtafeln, die ineinander verschieblich sind. In der außen gelegenen Hohltafel sind Hydraulikzylinder angeordnet, die die innen liegende Dammtafel verschieben können. Neben den Randdichtungen sind auch die Dammtafeln untereinander abzudichten. Dazu muss eine geeignete Abdichtung gewählt werden, die sowohl die Bewegung der Dammtafeln zueinander zulässt, als auch die benötigte Dichtigkeit gewährleistet. Der Aufbau des Systems ist in Abb. 39 dargestellt.



**Abb. 39:** System 7: Ineinander verschiebliche Dammtafeln

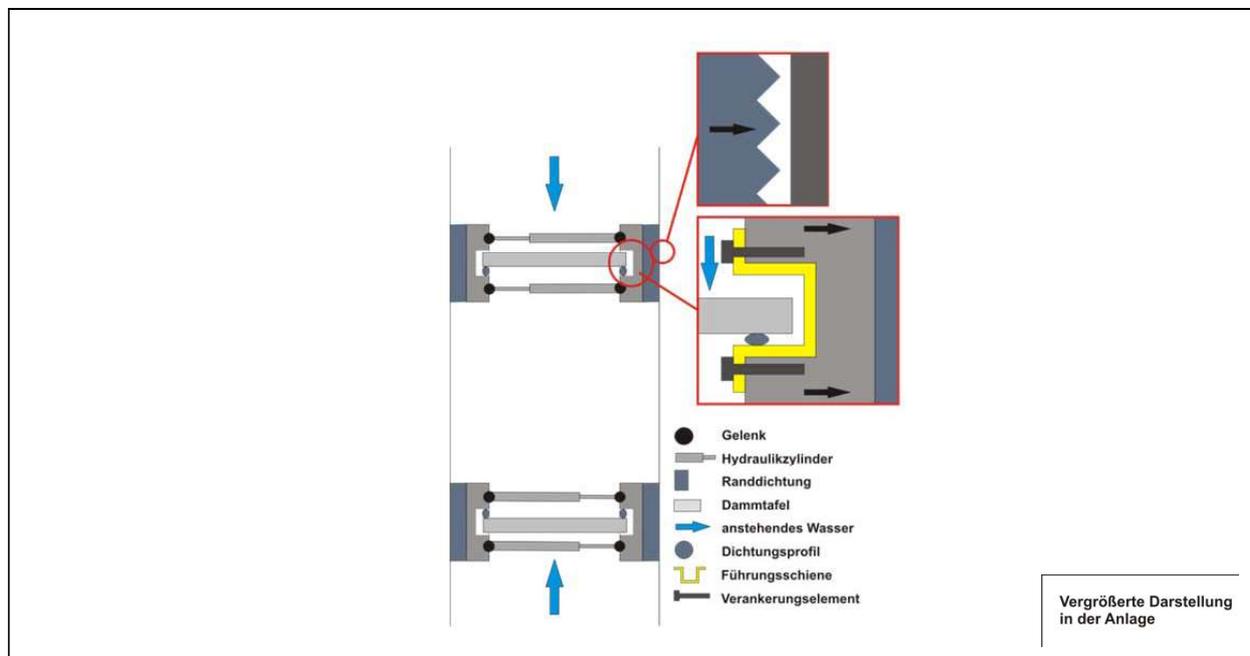
Tab. 8 stellt die Vor- und Nachteile der ineinander verschieblichen Dammtafeln gegenüber. Durch den gewählten Aufbau können verschiedene Kammerbreiten mit diesem System abgedeckt werden, ohne dafür aufwendige Umbaumaßnahmen vorzunehmen. Analog zu Kap. 4.1.3 bis 4.1.5, ist auch in diesem System die Abdichtung der Sohlfuge nicht abschließend geklärt.

**Tab. 8:** System 7: Vor- und Nachteile der ineinander verschieblichen Dammtafeln

<b>Vorteile:</b>	<b>Nachteile:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Keine Vorarbeiten in der Kammer erforderlich</li><li>• Geringe Breitenunterschiede können ausgeglichen werden</li><li>• Hydraulikzylinder befinden sich im geschützten Innenbereich der Dammtafel</li><li>• Sowohl Einheben als auch Einschwimmen denkbar</li><li>• System mobil einsetzbar</li><li>• Keine Einschränkung des Lichtraumprofils</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Aufwendiges Konstruktionsprinzip</li><li>• Relativ hohes Gewicht der Dammtafeln</li><li>• Hoher Materialaufwand</li><li>• Wandparalleler Lastabtrag ausschließlich über Reibung</li><li>• Keine Kraftkomponente neben den Hydraulikzylindern: alleiniger Lastabtrag durch Verspannung mittels Hydraulikzylinder</li><li>• Abdichtung zwischen den einzelnen Dammtafeln fraglich</li><li>• Abdichtung der Sohlfuge technisch aufwendig bzw. fraglich</li></ul>

#### 4.1.8 System 8: Verspannbare Widerlager für Dammtafeln

Ein ortsunabhängiges System kann mittels mobiler Widerlager konstruiert werden. Dargestellt ist der Aufbau des gesamten Systems in Abb. 40. Die Widerlager bestehen aus den Komponenten Führungsschiene und Randdichtungssystem. Mithilfe von Hydraulikzylindern können die Widerlager in horizontaler Richtung gegen die Kammerwand verspannt werden. Die Dammtafeln können anschließend in die Führungsschienen eingehoben werden. Alternativ zu einer Dammtafel können auch Dammbalken verwendet werden, die in den Führungsschienen aufeinandergesetzt werden. Entgegen System 7 kann die Dammtafel bzw. können die Dammbalken nach dem horizontalen Verspannen der Widerlager bis auf die Sohle herabgelassen werden. Eine Sohlabdichtung ist dadurch einfacher zu realisieren.



**Abb. 40:** System 8: Verspannbare Widerlager für Dammtafeln

Die Aufteilung des Abschottungssystems in mehrere Dammbalken hat ein geringeres Transportgewicht der einzelnen Segmente zur Folge. Außerdem kann die Gefahr der Verkantung in den Führungsschienen reduziert werden. Es ist jedoch zu beachten, dass mit steigender Segmentzahl auch die Anzahl der Arbeitsschritte und der abzudichtenden Fugen steigt. Für die Wasserundurchlässigkeit zwischen der Dammtafel und den Führungsschienen und zwischen den Segmenten untereinander existieren Dichtungskomponenten, die im Hochwasserschutz schon erfolgreich eingesetzt wurden. Durchaus vergleichbar sind Hochwasserschutzwände, welche in Kap. 3.2.2 genauer beschrieben sind. Diese müssen jedoch an die größeren Dimensionen eines

Wasserabschottungssystems für Schleusen angepasst werden. Eine Zusammenfassung der Vor- und Nachteile dieses Abschottungssystems wird in Tab. 9 aufgeführt.

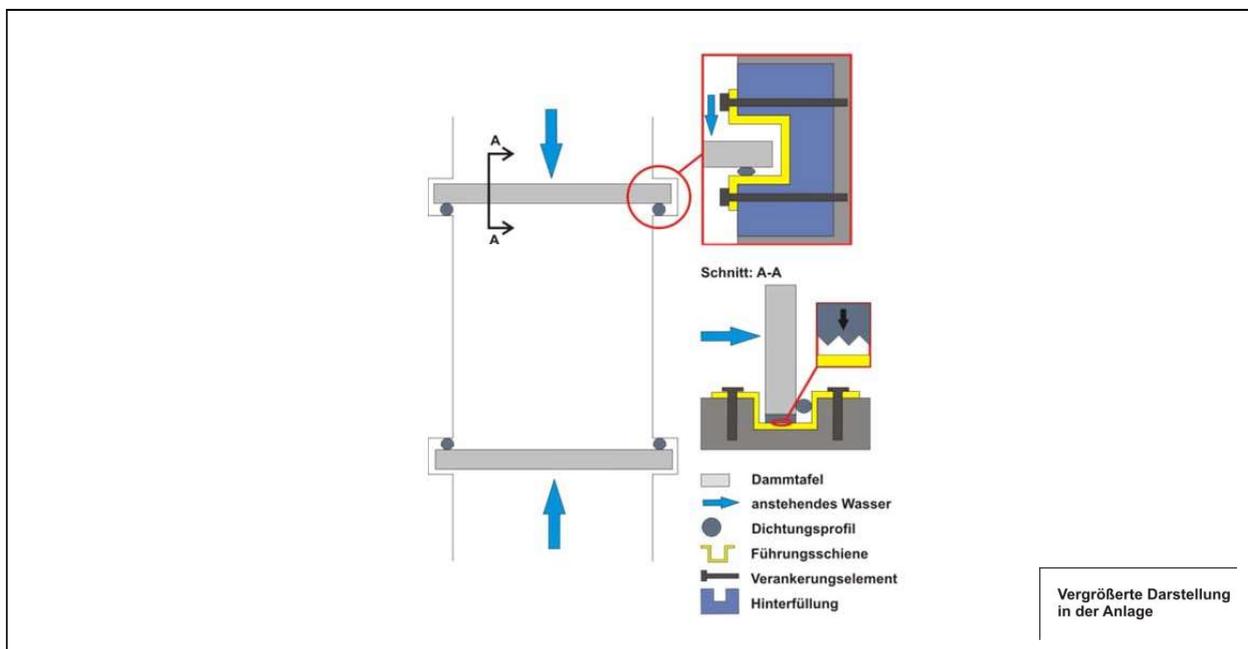
**Tab. 9:** System 8: Vor- und Nachteile der verspannbaren Widerlager für Dammtafeln

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Vorarbeiten in der Kammer erforderlich</li> <li>• Geringeres Gewicht der einzelnen Segmente</li> <li>• Kleine Breitenunterschiede können ausgeglichen werden</li> <li>• Sowohl Einheben als auch Einschwimmen denkbar</li> <li>• System mobil einsetzbar</li> <li>• Keine Einschränkung des Lichtraumprofils</li> <li>• Torsegment: vertikale Verschiebbarkeit des Torsegments nach dem horizontalen Verspannen möglich</li> <li>• kleinere Segmente: geringere Gefahr des Verkantens</li> <li>• Praxiserprobte Abdichtungen zwischen Dammtafeln und Führungsschienen bzw. Dammtafeln untereinander</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erhöhte Fugen- und Gelenkzahl: Gefahr eines vergrößerten Volumens an Leckagewasser</li> <li>• Hydraulikzylinder: zusätzliches technisches Element, das beschädigt werden kann</li> <li>• Einsatz größerer Segmente: Verkanten beim Einhebevorgang in Widerlager möglich</li> <li>• Einstellen der Torsegmente als zusätzlicher Arbeitsschritt</li> <li>• Keine Kraftkomponente neben den Hydraulikzylindern: alleiniger Lastabtrag durch Verspannung mittels Hydraulikzylinder</li> <li>• Wandparalleler Lastabtrag ausschließlich über Reibung</li> <li>• Abdichtung Eckbereiche fraglich</li> </ul>

#### 4.1.9 System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen

Grundsätzlich verfolgt System 9 das gleiche Prinzip wie System 8. Der Unterschied besteht in der festen Installation der Führungsschienen in den Kammerwänden und der Kammersohle, die im Vorfeld der Instandsetzungsarbeiten erfolgt. Die dauerhafte Einschränkung des Lichtraumprofils wird durch eine in die Kammerwand und –sohle gefräste Nische vermieden. In diese Nische werden Führungsschienen mithilfe einer Hinterfüllung eingebaut. Sowohl Führungsschienen als auch Hinterfüllung sind mit dem Altbeton zu verankern.

Die Führungsschienen dienen den Dammtafeln analog zu System 8 als Widerlager und Führung. Alternativ ist hier ebenfalls der Einsatz von mehreren Dammbalken anstatt einer einzigen Dammtafel möglich. Der Aufbau dieses Systems ist in Abb. 41 dargestellt.



**Abb. 41:** System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen

Vor- und Nachteile dieses Systems sind in Tab. 10 zusammengefasst. Positiv zu bewerten ist die Tatsache, dass Eckbereiche von Kammerwand und –sohle und Unebenheiten in der Kammerwand durch den Einbau der Führungsschienen egalisiert werden können. Das Dammtor bzw. die Dammbalken müssen im Gegensatz zu den Systemen 3 - 8 nicht horizontal verspannt werden. Ein günstigerer Lastabtrag erfolgt allein über die Widerlager in den Kammerwänden bzw. der Kammersohle. Führungsschienen können auch im Zuge der Instandsetzung in die neue Vorsatzschale integriert werden, sodass das System auch bei späteren Instandsetzungsmaßnahmen eingesetzt werden kann.

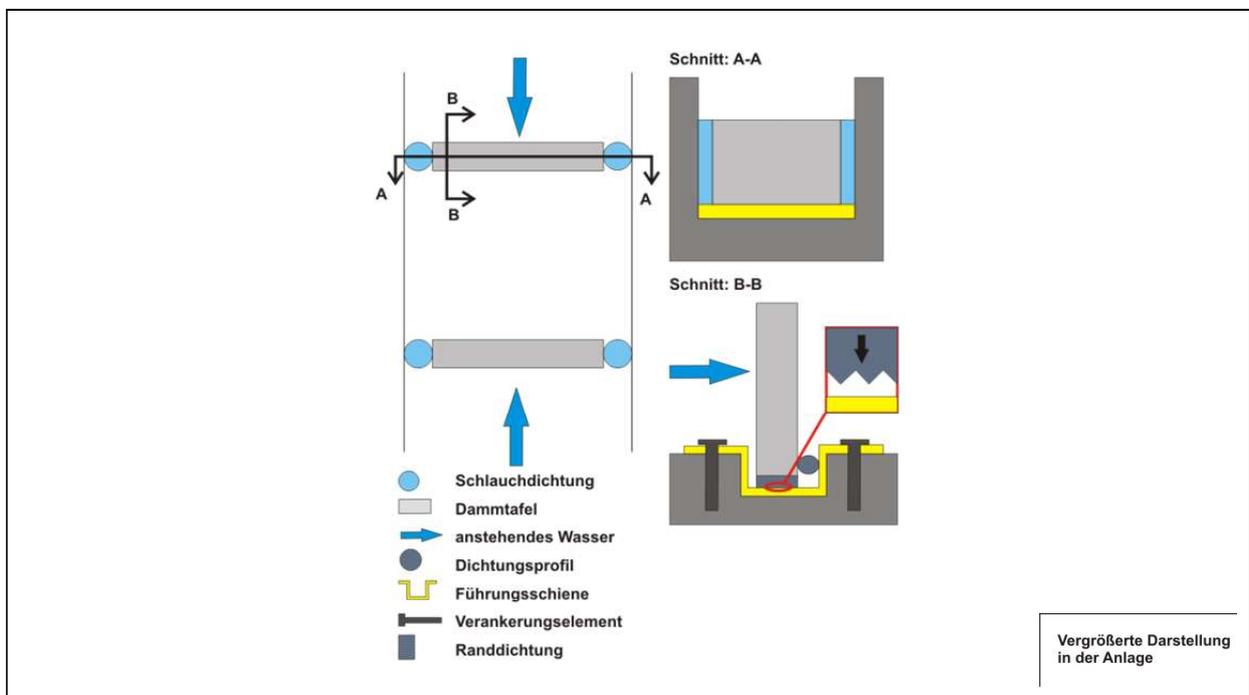
Vorarbeiten und eine damit zusammenhängende mehrtägige Schleusensperrung sind allerdings in Kauf zu nehmen. Die trocken zu legenden Bereiche können im Verlauf der Instandsetzung nicht variabel gehalten werden, sondern sind im Vorfeld festzulegen. Einer Verschmutzung der Führungsschienen im laufenden Betrieb kann durch Abdeckungen entgegengewirkt werden.

**Tab. 10:** System 9: Vor- und Nachteile der einhebbaren Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Geringeres Gewicht der Dammtafelsegmente</li> <li>• Unterschiede der Kammerbreiten werden durch das Fräsen der Nischen ausgeglichen</li> <li>• Keine Hydraulikzylinder notwendig</li> <li>• Geringer Wartungsaufwand</li> <li>• Führungsschienen können während der Instandsetzung in neue Vorsatzschale integriert werden; Nutzung für spätere partielle Trockenlegung möglich</li> <li>• Keine Einschränkung des Lichtraumprofils</li> <li>• Kleinere Dammtafelsegmente: geringere Gefahr des Verkantens</li> <li>• Arbeitsschritt ‚Verspannung‘ nicht notwendig, Zeitersparnis</li> <li>• Dammtafeln nutzen Widerlager zum Lastabtrag</li> <li>• Definierte Betonfestigkeit hinter den Führungsschienen durch Fräsen und Verguss</li> <li>• Eckbereiche können vollständig abgedichtet werden</li> <li>• Wasserdruck unterstützt Abdichtung</li> <li>• Praxiserprobtes Abdichtungssystem</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Einbau Führungsschienen: aufwendige Vorarbeiten und Schleusensperrung im Vorfeld notwendig</li> <li>• Eingeschränkte Mobilität des Systems: vorab Festlegung der trocken zu legenden Abschnitte</li> <li>• Erhöhte Fugenanzahl: Gefahr eines vergrößerten Volumens an Leckagewasser</li> <li>• Einsatz größerer Dammtafelsegmente: Verkanten beim Einhebevorgang in Widerlager möglich</li> <li>• Installation: ausschließlich Einheben möglich</li> </ul>

#### 4.1.10 System 10: Dammtafeln mit Schlauchdichtung

Schlauchsysteme sind aufgrund der bisher realisierbaren Einstauhöhen nicht alleine als Abdichtungssystem verwendbar. In diesem System werden Schlauchdichtungen mit Dammtafeln kombiniert, um ausreichende Stauhöhen zu realisieren. Die Dammtafel wird in eine in der Kammer sohle integrierte Schiene gestellt, die als Widerlager dient. Die wandseitigen Tafelkanten werden mit wasserbefüllbaren Schläuchen versehen. In diese wird nach dem Einstellen der Dammtafeln Wasser gepumpt. Die Schlauchdichtungen drücken sich im Zuge ihrer Volumenvergrößerung gegen die Kammerwände. Sie dienen sowohl als Dichtung, als auch als Reibungskomponente für den horizontalen Lastabtrag. Die Vorarbeiten für Nischenfräsungen fallen nur für die Sohlschiene an, für die Kammerwände entfällt dieser Vorgang. Eine mögliche Systemkombination ist in Abb. 42 dargestellt.



**Abb. 42:** System 10: Dammtafeln mit Schlauchdichtung

Ein grundlegendes Problem dieses Systems ist der Lastabtrag. Sohlseitig kann hierfür das Widerlager genutzt werden. Es erscheint jedoch fraglich, ob die Schlauchdichtungen für einen Abtrag durch Reibung ausreichen. Dies ist in möglichen weiteren Planungen zu prüfen. Gegebenenfalls ist ein zusätzliches Abdichtungssystem zu erarbeiten um alle Lasten aufzunehmen.

Zusätzlich ist die Erprobung des Abdichtungssystems in einem Testlauf vorzunehmen, da für die hier beschriebene Systemkombination keine vergleichbare Praxiserfahrung bekannt ist. Tab. 11 fasst die Vor- und Nachteile der Kombination aus Dammtafel und Schlauchsystem zusammen.

**Tab. 11:** System 10: Vor- und Nachteile der Dammtafeln mit Schlauchdichtung

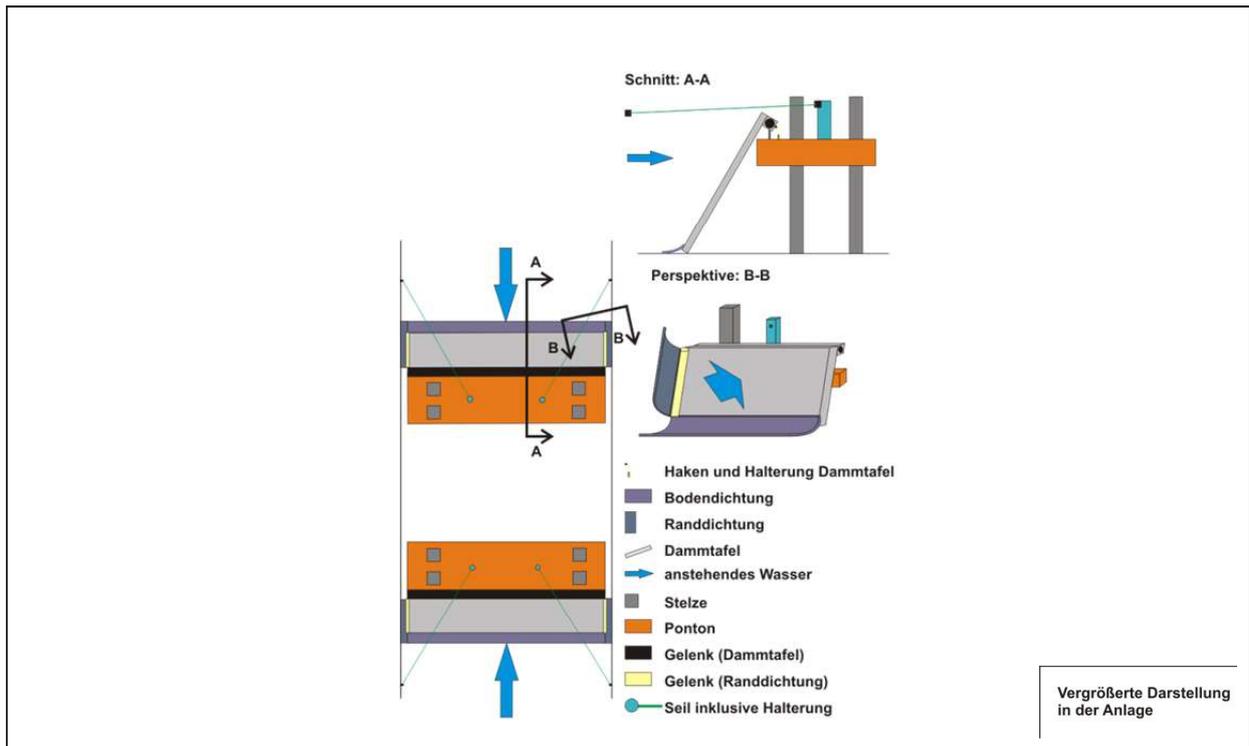
<b>Vorteile:</b>	<b>Nachteile:</b>
<ul style="list-style-type: none"><li>• Reduzierte Vorarbeiten im Vergleich zu System 9</li><li>• geringe Breitenunterschiede können ausgeglichen werden</li><li>• Keine Hydraulikzylinder notwendig</li><li>• Geringer Wartungsaufwand</li><li>• Keine Einschränkung des Lichtraumprofils</li><li>• Einheben denkbar (ggf. auch Einschwimmen)</li><li>• Eckbereiche können vollständig abgedichtet werden</li><li>• Geringe Anzahl abzudichtender Fugen</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Einbau Führungsschienen: aufwendige Vorarbeiten und Schleusensperrung im Vorfeld notwendig</li><li>• Erforderliche Entwicklung: Befestigung der Schlauchdichtung an der Dammtafel</li><li>• Eingeschränkte Mobilität des Systems: vorab Festlegung der trocken zu legenden Abschnitte</li><li>• Zusätzlicher Arbeitsschritt durch Füllen der Schlauchdichtungen</li><li>• Lastabtrag fraglich</li><li>• Funktionsfähigkeit der Abdichtung fraglich</li></ul>

#### **4.1.11 System 11: Einschwimbare Dammtafeln**

Die bisher vorgestellten Systeme basieren auf der Möglichkeit des Einhebens und des Einschwimmens. Im Folgenden wird ein Dammtafelsystem beschrieben, das durch die Befestigung an einem Stelzenponton durch Einschwimmen in die Schleusenkammer installiert werden kann, ohne Verwendung eines separaten Krans. In Abb. 43 ist der Aufbau des Systems schematisch dargestellt.

Zur statischen Sicherung werden die Stelzen des Pontons an der Abschottungsposition herabgelassen und der Ponton zusätzlich mit einem Seilsystem an dafür vorgesehenen Ankerpunkten in der Kammerwand vertäut. Die Seilanschlagpunkte auf der Pontonplattform sind als hydraulische Winden auszubilden. Die Seile können hierdurch jeweils vorgespannt werden, um ein Verrücken des Stelzenpontons nach der Trockenlegung zu vermeiden. Über die Seile kann nach dem Entwässerungsvorgang auch der Druck des anstehenden Wassers über Zugkräfte abgeleitet werden. Die Dammtafel ist an dem Ponton mittels einer horizontalen Gelenkachse befestigt. Hierdurch lässt sie sich in die Schleusenkammer eindrehen (Abdichtungszustand) bzw. herausdrehen (Transportzustand).

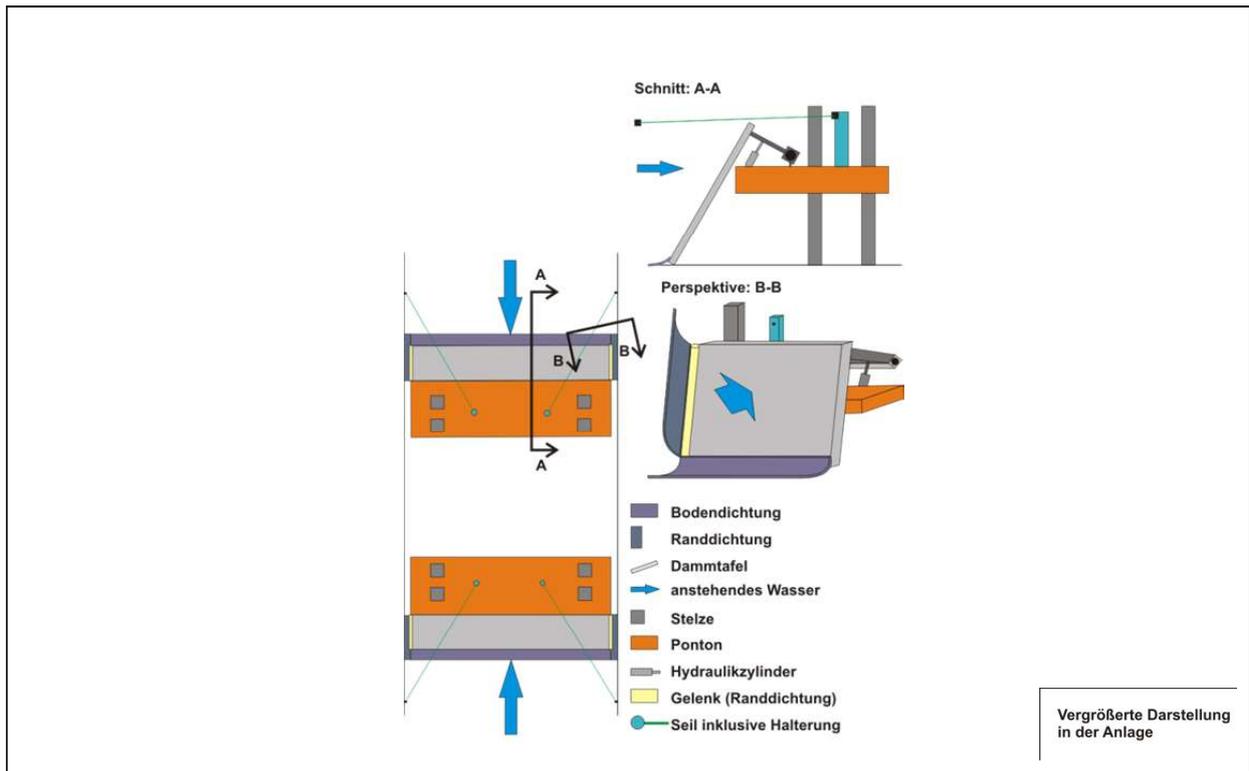
Im Transportzustand befindet sich die Dammtafel teilweise oder vollständig über dem Wasserspiegel. Gesichert wird dieser Zustand über ein sog. Haken-Ösen-System (s. dazu Abb. 43). Im Abdichtungszustand ist der Haken von der Öse gelöst und die Dammtafel liegt auf der Schleusensole auf. Für den Drehvorgang der Dammtafel wird ein Kran benötigt, der die Dammtafel heben oder senken kann. Für diesen Zweck sind Anschlagpunkte an der Dammtafel vorzusehen. Das Befestigen und Lösen des Kranhakens erfolgt z. B. durch Taucher. Alternativ ist in möglichen weiteren Überlegungen ein zusätzliches Hilfssystem zu entwickeln.



**Abb. 43:** System 11: Einschwimbare Dammtafeln; Drehmechanismus mittels Kran und Haken-Öse-System

Alternativ können der Drehvorgang und die Lagesicherung durch Hydraulikzylinder erfolgen. Eine beispielhafte Prinzipskizze der Aushebekonstruktion ist in Abb. 44 dargestellt. Der Einsatz von Tauchern ist hierbei nicht mehr notwendig, da die Hydraulikzylinder dauerhaft mit der Dammtafel verbunden sind. Die Arbeitsschritte „Befestigen“ und „Lösen“ des Kranhakens entfallen. Es ist allerdings zu beachten, dass die Technik der Hydraulikzylinder einen größeren Platzbedarf benötigt und ein größeres Gewicht verursacht als die Haken-Ösen-Lösung.

Auf dem Ponton könnten neben der Dammtafel auch andere Geräte wie z. B. Pumpen, Werkzeuge oder Arbeitsmaschinen eingeschwommen werden, die für die Instandsetzung benötigt werden.



**Abb. 44:** System 11: Einschwimbare Dammtafeln; Drehmechanismus mittels Hydraulikzylinder

Die Abdichtung an den Rändern kann z. B. über Lippendichtungen erfolgen. Durch den Wasserdruck werden die Dichtungen an Wände und Sohle gepresst und dichten so die Fugen ab. Es ist jedoch zu gewährleisten, dass im Transportzustand die Randdichtungen nicht an den Wänden entlangschleifen, um eine Beschädigung zu vermeiden. Dies kann gewährleistet werden, wenn die Lippendichtungen z. B. an einem feststellbaren Gelenk befestigt und im Transportzustand eingeklappt sind.

Tab. 12 fasst Vor- und Nachteile des Systems zusammen. Eine abschließende Bewertung der Funktionsfähigkeit dieses Systems ist erst durch weitergehende Analysen möglich. So ist u. a. die Abdichtung der Eckbereiche zwischen Sohle und Kammerwand eingehend zu untersuchen und ggf. eine Sonderlösung zu entwickeln. Auch der Transport der Dammtafel auf dem Ponton muss genauer beleuchtet werden.

Weiter muss die einseitige Gewichtsbelastung des Pontons durch die Dammtafel mithilfe ausgleichender Belastungssysteme kompensiert werden. Die Auswirkungen auf den Transport der Dammtafel und die Einschwimmgeschwindigkeit sind zu untersuchen.

Für den Fall, dass ein Teil der Dammtafel im Transportzustand nicht komplett aus dem Wasser herausgehoben werden kann, ist mit zusätzlichem Wasserwiderstand beim Ein- und Ausschwimmen zu rechnen. Die Folgen für Transportgeschwindigkeit und benötigte Transportleistung sind zu untersuchen.

Die durch das anstehende Wasser verursachte Last auf das Abschottungssystem kann durch die kraftschlüssige Verbindung zwischen Dammtafel und Ponton in die Stelzen und das Seilsystem weitergeleitet werden. An den Rändern der Dammtafel muss daher nicht zwingend eine kraftübertragende Verbindung zwischen Dammtafel und Kammerwand bzw. –sohle bestehen.

**Tab. 12:** System 11: Vor- und Nachteile der einschwimmbaren Dammtafeln

<b>Vorteile:</b>	<b>Nachteile:</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Keine Vorarbeiten in der Kammer erforderlich</li> <li>• geringe Breitenunterschiede können ausgeglichen werden</li> <li>• System mobil einsetzbar</li> <li>• Keine Einschränkung des Lichtraumprofils</li> <li>• Ggf. Transport der Pumpen auf dem Ponton</li> <li>• Drehmechanismus mittels Hydraulikzylinder: Zeitersparnis durch schnelles Heben und Senken der Dammtafel im Vergleich zu Drehmechanismus mittels Kran</li> <li>• Dichtungselemente nicht an Lastabtrag beteiligt</li> <li>• Geringe Anzahl abzudichtender Fugen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Außerhalb der Schleusenkammer sind Liegeplätze für 2 Pontons vorzusehen</li> <li>• kritische Gewichtsverteilung auf dem Ponton</li> <li>• Raum unterhalb des Pontons ist ebenfalls trockenulegen</li> <li>• Drehmechanismus mittels Hydraulikzylinder: mehr Platzbedarf durch Technik der Hydraulikzylinder</li> <li>• Drehmechanismus mittels Hydraulikzylinder: mehr Gewicht durch Hydraulikzylinder</li> <li>• Transportzustand Dammtafel: ggf. Bremswirkung</li> <li>• Abdichtung Eckbereiche fraglich</li> <li>• Abdichtungsmethode nicht praxiserprobt</li> </ul>

## 4.2 Bewertung Entwicklungskonzepte

Im Vorfeld einer Systemauswahl werden die vorgestellten Abschottungsvarianten miteinander verglichen und bewertet. Die in den Kap. 4.1.1 bis 4.1.11 aufgeführten Vor- und Nachteile der jeweiligen Konzepte fließen hierbei in eine Bewertungsmatrix ein, die in 5 Kategorien mit insgesamt 14 Kriterien strukturiert ist. Diese werden im Folgenden detailliert erläutert. Allen Kennzeichen liegt eine dreigliedrige Bewertungsskala zu Grunde:

	<b>Bewertung</b>	<b>Punkte</b>
Positiv	+	1
Bedingt	o	0,5
Negativ	-	0

Die 5 Kategorien und deren zugehörigen Kriterien werden je nach ihrer Bedeutung unterschiedlich gewichtet, wodurch Kriterien entsprechend stärker oder schwächer in die Gesamtbeurteilung eingehen. Es wurde dabei besonders darauf geachtet, welche Eigenschaften für die Sicherheit und die Machbarkeit des jeweiligen Systems wichtig sind (s. Tab. 13). Letztlich werden alle Systeme ohne Ausschlusskriterium nach Punkten in einer Rangliste bewertet. Zusätzlich wird die Information gegeben, ob ein System eingehoben/eingeschwommen werden kann oder ob hierfür weitergehende Untersuchung und Entwicklungstätigkeiten notwendig sind. Das Ergebnis soll dabei helfen, die geeignetste einhebbare und die geeignetste einschwimmbare Systemlösung zu ermitteln.

### 4.2.1 Kategorie: Ausschlussmerkmale

Die folgenden Ausschlusskriterien erhalten aufgrund ihrer außerordentlichen Bedeutung die höchste Gewichtung (4-fach). Gleichzeitig müssen diese zwingend eingehalten werden. Andernfalls wird das Abschottungskonzept aus der weiteren Wertung und Betrachtung ausgeschlossen.

#### **Lastabtrag/Sicherheit**

Dieses Kriterium bewertet die Sicherheit des statischen Systems. Der Wasserdruck und das Eigengewicht müssen sicher abgetragen werden. Es ist zwingend sicherzustellen, dass die Gefahr des Versagens ausgeschlossen werden kann und die Menschen innerhalb des trocken gelegten Schleusensegments nicht zu Schaden kommen. Sollte dies nicht gewährleistet sein, ist das System auszuschließen.

- + Die Lasten können sicher abgetragen werden.
- o Der Wasserdruck wird ausschließlich über Reibung zwischen System und Kammerwänden bzw. -sohle abgetragen. Es müssen zusätzliche Maßnahmen ergriffen werden.
- Der sichere Lastabtrag kann nicht gewährleistet werden.

### **Ein- und Ausbaugeschwindigkeit**

Das Kriterium bewertet die Ein- und Ausbaugeschwindigkeit der einzelnen Systeme. Die Bewertung beruht auf qualitativen Betrachtungen. Ein System kann von der weiteren Wertung ausgeschlossen werden, wenn davon auszugehen ist, dass die zeitliche Vorgabe von insgesamt 4 Stunden der temporären partiellen Trockenlegung nicht eingehalten werden kann.

- + Die Ein- und Ausbaugeschwindigkeit des Systems ist vergleichsweise hoch.
- o Die Ein- und Ausbaugeschwindigkeit des Systems ist vergleichsweise niedrig. Allerdings kann die zeitliche Vorgabe von 4 Stunden eingehalten werden.
- Die zeitliche Vorgabe von 4 Stunden kann nicht eingehalten werden.

## **4.2.2 Kategorie: Funktionsfähigkeit**

Die Funktionsfähigkeit des jeweiligen Systems muss durch die aufgeführten Kriterien eingehalten werden (Gewichtung: 3-fach).

### **Abdichtungssystem**

Dieses Kriterium berücksichtigt, ob bereits ein Dichtungssystem entwickelt wurde, welches für das betrachtete Abschottungssystem eingesetzt werden kann. Des Weiteren wird geprüft, ob die Abdichtung in allen Bereichen gewährleistet werden kann oder ob innerhalb des Schleusenquerschnitts Problembereiche existieren, deren Abdichtung erst entwickelt werden muss.

- + Es existiert ein Abdichtungssystem, das für das jeweilige System verwendet werden kann und erfolgsversprechend erscheint.
  - o Ein bereits bestehendes Dichtungssystem kann für den Einsatz des jeweiligen Abdichtungssystems angepasst werden. Die Dichtigkeit ist jedoch in Versuchen nachzuweisen.
  - Ein bereits bestehendes Dichtungssystem kann für den Einsatz des jeweiligen Abschottungssystems angepasst werden. Es existieren jedoch voraussichtlich Problembereiche, deren Abdichtung detaillierter zu untersuchen und zu entwickeln ist.
-

### **Auswirkungen auf den Betriebszustand der Schleuse**

Das Kriterium bewertet, ob das jeweilige Abschottungssystem den Betriebszustand der Schleuse möglicherweise einschränkt, z. B. durch eine dauerhafte Verkleinerung des Lichtraumprofils oder durch zusätzliche Kanten.

- + Der Betriebszustand der Schleuse wird nicht eingeschränkt.
- o Schiffe müssen vor zusätzlichen Kanten durch vorzusehende Stoßschutzprofile geschützt werden.
- Das Lichtraumprofil wird dauerhaft eingeschränkt.

### **4.2.3 Kategorie: Qualität**

Die Einhaltung der folgenden Kriterien verschafft den jeweiligen Systemen wesentliche Vorteile. Diese sind unabhängig von den vorgegebenen Randbedingungen einer Schleuseninstandsetzung (Gewichtung: 2-fach).

#### **Installationsaufwand**

Das Kriterium bewertet den nötigen Aufwand beim Auf- und Abbau des jeweiligen Systems. Hierbei werden sowohl die Anzahl und die Schwierigkeit der verschiedenen Arbeitsschritte berücksichtigt, als auch die Notwendigkeit hinsichtlich zusätzlich zu ergreifender Maßnahmen oder vorzuhaltender Spezialgeräte für den Auf- und Abbau. Dabei werden ausschließlich Geräte betrachtet, die aufgrund des Bauablaufs nicht ohnehin auf der Baustelle vorgehalten werden. So wird z. B. die Verwendung eines Hebezeugs in diesem Kriterium nicht berücksichtigt, da dieses aufgrund der Instandsetzungsarbeiten bereits auf der Baustelle vorhanden ist.

- + Das System kann in vergleichsweise wenigen Arbeitsschritten auf- und abgebaut werden. Es sind keine zusätzlichen Maßnahmen zu ergreifen oder Geräte vorzuhalten.
  - o Für den Auf- und Abbau sind vergleichsweise viele Arbeitsschritte notwendig. Es sind jedoch keine zusätzlichen Maßnahmen zu ergreifen oder Geräte vorzuhalten.
  - Für den Auf- und Abbau sind vergleichsweise viele Arbeitsschritte notwendig. Zusätzlich sind weitere Maßnahmen zu ergreifen und/oder Geräte vorzuhalten.
-

### **Wartungs- und Reparaturaufwand**

Das Kriterium berücksichtigt 2 Faktoren. Zum einen fließt die Anzahl der Fugen und Gelenke der jeweiligen Abschottungssysteme in die Bewertung mit ein. Zum anderen spielt der Technisierungsgrad der Systeme eine wichtige Rolle. Die Verwendung einer vergleichsweise hohen Anzahl an hydraulischen oder elektrischen Bauteilen führt zu einem erhöhten Wartungs- und Reparaturaufwand des jeweiligen Systems.

- + Das System besitzt eine vergleichsweise geringe Anzahl an Fugen und Gelenken. Der Technisierungsgrad ist gering.
- o Das System besitzt entweder eine vergleichsweise große Anzahl an Fugen und Gelenken oder weist einen erhöhten Technisierungsgrad auf.
- Das System besitzt sowohl eine vergleichsweise große Anzahl an Fugen und Gelenken und weist einen erhöhten Technisierungsgrad auf.

### **Variabilität in der Breite**

Das Kriterium bewertet die Fähigkeit des jeweiligen Systems, vorhandene Breitenunterschiede innerhalb der Kammer ohne größeren Aufwand auszugleichen. Nicht betrachtet werden evtl. vorhandene Bauwerksvouten, die im Anschlussbereich von Kammerwand und -sohle ausgebildet sein können. Dies stellt einen speziellen Instandsetzungsfall dar, auf den die Systeme individuell angepasst werden müssen.

- + Das System kann ein mittleres Spektrum an Breitenunterschieden allein durch seinen Aufbau ausgleichen.
- o Geringfügige Breitenunterschiede können durch den Systemaufbau ausgeglichen werden.
- Breitenunterschiede können nicht ausgeglichen werden.

### **Variabilität in der Höhe**

Dieses Kriterium bewertet den Aufbau des jeweiligen Abschottungssystems hinsichtlich der Anpassung an unterschiedliche Wasserstände oder ob das System möglicherweise im Vorfeld für den ungünstigsten Wasserstand konstruiert sein muss.

- + Der Aufbau des Systems kann sich an die unterschiedlichen Wasserstände anpassen.
  - o Durch vergleichsweise geringfügige Umbaumaßnahmen kann sich das System an die unterschiedlichen Wasserstände anpassen.
  - Die Dimensionierung des Systems erfolgt im Vorfeld hinsichtlich des ungünstigsten Wasserstands.
-

#### 4.2.4 Kategorie: Aufwand Vorplanung

Die Einhaltung der folgenden Kriterien verschafft den jeweiligen Systemen Vorteile. Die Nichteinhaltung kann durch intensive Vorplanungen abgeschwächt bzw. ausgeglichen werden (Gewichtung: 1-fach).

##### **Entwicklungsaufwand**

Ein bereits vorhandenes ähnliches System, das lediglich für die Anwendung in einer Schleusenkammer adaptiert werden muss, wird hinsichtlich des Entwicklungsaufwands positiv eingeschätzt. Eine komplette Neuentwicklung für die Realisierung eines Abschottungskonzepts erfordert hohe Entwicklungsressourcen und wird als nachteilig betrachtet.

- + Es existiert bereits ein System, das an den Schleuseneinsatz angepasst werden muss.
- o Es existiert bereits ein ähnliches System, das hinsichtlich des Schleuseneinsatzes adaptiert werden kann.
- Das Abschottungssystem muss neu entwickelt werden.

##### **Vorarbeiten Schleusenkammer**

Das Kriterium berücksichtigt mögliche Vorarbeiten innerhalb der Schleusenkammer, die den Schleusenbetrieb einschränken.

- + Es sind keine umfangreichen Vorarbeiten innerhalb der Schleusenkammer durchzuführen.
- o Es sind umfangreichere Vorarbeiten in der Schleusenkammer durchzuführen. Diese können innerhalb planmäßiger Instandsetzungszeitfenster realisiert werden.
- Es sind Vorarbeiten innerhalb der Schleusenkammer durchzuführen, die den Schleusenbetrieb beeinträchtigen.

##### **Konstruktionskomplexität**

Dieses Kriterium bewertet die Komplexität des Gesamtsystems, wie z. B. die Zusammensetzung aus vergleichsweise vielen/wenigen Bauteilen oder der Verwendung von Sonderanfertigungen/Standardbauteilen.

- + Das System besteht aus vergleichsweise wenigen Bauteilen und ist aus Standardelementen zusammengesetzt.
  - o Das System besteht entweder aus vergleichsweise vielen Bauteilen oder enthält Bauteile in Sonderausführung.
-

- Das System besteht aus vergleichsweise vielen Bauteilen und enthält Bauteile in Sonderausführung.

### **Mobilität und Flexibilität**

Dieses Kriterium bewertet die Mobilität und die Flexibilität des jeweiligen Systems hinsichtlich des Transportvorgangs zur und des Einsatzes innerhalb der Schleusenbaustelle. Es wird hierbei auch der Systemtransport von Schleuse zu Schleuse betrachtet. Die hohe Mobilität innerhalb der Schleusenbaustelle ist gegeben, wenn das trocken zu legende Schleusensegment vor jedem Instandsetzungszeitfenster neu gewählt werden kann. Das jeweilige System darf hierbei nicht von Vorinstallationen abhängig sein.

- + Das System lässt sich mit vergleichsweise geringem Aufwand von Schleuse zu Schleuse transportieren. Die Mobilität innerhalb der Schleusenammer ist gegeben.
- o Das System lässt sich entweder mit vergleichsweise geringem Aufwand von Schleuse zu Schleuse transportieren oder ist innerhalb der Schleusenammer mobil einsetzbar.
- Das jeweilige System verursacht einen vergleichsweise großen Transportaufwand und ist in der Schleusenammer nicht mobil einsetzbar.

### **4.2.5 Kategorie: Handhabung**

Die folgenden Kriterien sind sog. „weiche“ Kriterien, da sie für den grundsätzlichen Einsatz und die Machbarkeit der jeweiligen Abschottungssysteme eine untergeordnete Rolle spielen (Gewichtung: 1-fach). Für die Ausführungsplanung und den Bauablauf sind diese Kriterien heranzuziehen, da die Baustelleneinrichtung und die Arbeitsabläufe hierauf abgestimmt werden müssen.

#### **Gewicht**

In diesem Kriterium wird das Gewicht des Systems qualitativ bewertet.

- + Das Systemgewicht ist vergleichsweise gering.
  - o Das Systemgewicht ist schwerer als die mit ‚+‘ bewerteten Systeme und leichter als die mit ‚-‘ bewerteten Systeme.
  - Das Systemgewicht ist vergleichsweise hoch.
-

**Platzbedarf Lagerung**

Das Kriterium bewertet den Lagerplatzbedarf des Systems auf der Baustelle.

- + Das System kann auf relativ engem Raum gelagert werden.
  - o Der Lagerplatzbedarf des Systems ist größer als der mit ‚+‘ bewerteten Systeme und kleiner als der mit ‚-‘ bewerteten Systeme.
  - Der Lagerplatzbedarf des Systems ist vergleichsweise groß.
-

**Tab. 13:** Bewertungsmatrix der verschiedenen Abschottungssysteme

	System 1: Einschwimmbare Dammtafeln	System 2: Aufklappbare Dammtafeln	System 3: Horizontal verspannbare Dammtafeln	System 4: Verspannbares Doppeltor	System 5: Verspannbares Segmentbogentor	System 6: Gebogenes Schuttor	System 7: Ineinander verschiebbliche Dammtafeln	System 8: Verspannbare Widerlager für Dammtafeln	System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen	System 10: Dammtafeln mit Schlauchdichtung	System 11: Einschwimmbare Dammtafeln
Einheben											
Einschwimmen											
<b>Kategorie: Ausschlussmerkmale</b> (Wichtung: 4-fach)											
Lastabtrag/Sicherheit	o	+	o	o	o	o	o	o	+	-	+
Ein- und Ausbaugeschwindigkeit	+	+	+	+	+	o	+	o	+	o	+
<b>Kategorie: Funktionsfähigkeit</b> (Wichtung: 3-fach)											
Abdichtungssystem	o	o	o	o	o	+	o	+	+	-	o
Auswirkungen auf den Betriebszustand der Schleuse	-	-	+	+	+	+	+	+	o	o	+
<b>Kategorie: Qualität</b> (Wichtung: 2-fach)											
Installationsaufwand	+	+	+	+	+	o	+	o	+	-	+
Wartungs- und Reparaturaufwand	+	+	+	o	o	o	o	o	+	o	o
Variabilität in der Breite	-	-	+	+	+	+	+	+	+	o	o
Variabilität in der Höhe	-	-	-	-	-	+	-	+	+	-	+
<b>Kategorie: Aufwand Vorplanung</b> (Wichtung: 1-fach)											
Entwicklungsaufwand	o	o	-	-	-	o	-	-	+	-	-
Vorarbeiten Schleusenkammer	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	+
Konstruktionskomplexität	+	+	o	o	o	o	o	o	+	-	-
Mobilität und Flexibilität	-	-	+	+	+	+	+	+	-	-	o
<b>Kategorie: Handhabung</b> (Wichtung: 1-fach)											
Gewicht	-	-	o	-	+	+	-	+	+	o	-
Platzbedarf Lagerung	+	+	o	-	+	o	o	o	+	o	-
<b>Ergebnis: <math>\Sigma</math> Punkte</b>	<b>14</b>	<b>16</b>	<b>20</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>20,5</b>	<b>18,5</b>	<b>20</b>	<b>24,5</b>	<b>/ *</b>	<b>20</b>

 System kann eingehoben/ingeschwommen werden.

 Variante, in der das System eingehoben/ingeschwommen wird, kann voraussichtlich entwickelt werden.

 System kann nicht eingehoben/ingeschwommen werden.

\* System erfüllt mind. ein Ausschlusskriterium nicht und wird deshalb aus der Wertung genommen.

Mithilfe der in Tab. 13 abgebildeten Bewertungsmatrix kann eine Auswahl hinsichtlich der zwei vielversprechendsten Abschottungssysteme vorgenommen werden. Nach BAW (2014) sind hierbei jeweils ein einhebbares System und ein einschwimmbares System mithilfe eines Pontons detaillierter zu betrachten. Tab. 14 stellt die aus der Bewertungsmatrix resultierende Rangordnung der einhebbaren, einschwimmbaren und sonstigen Systeme dar.

**Tab. 14:** Rangordnung der Abschottungssysteme aus gewichteter Bewertung

Rang	Name	$\Sigma$ Punkte (aus Tab. 13)	Ein-/Ausbauart
1	System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen	24,5	Einheben
2	System 6: Gebogenes Schubtor	20,5	Einheben/(Einschwimmen)
3	System 11: Einschwimmbare Dammtafeln	20	Einschwimmen
	System 8: Verspannbare Widerlager für Dammtafeln	20	Einheben
	System 5: Verspannbares Segmentbogentor	20	Einheben/Einschwimmen
	System 3: Horizontal verspannbare Dammtafeln	20	Einheben/Einschwimmen
7	System 7: Ineinander verschiebliche Dammtafeln	18,5	Einheben/Einschwimmen
8	System 4: Verspannbares Doppeltor	18	(Einheben)/Einschwimmen
9	System 2: Aufklappbare Dammtafel	16	Hochklappen
10	System 1: Einschwenkbare Dammtafel	14	Einschwenken
11	System 10: Dammtafeln mit Schlauchdichtung	/ *	(Einheben/Einschwimmen)

\* System erfüllt mind. ein Ausschlusskriterium nicht und wird deshalb aus der Wertung genommen.

Aus der dargestellten Bewertungsmatrix (s. Tab. 13) und der Rangfolge (s. Tab. 14) lassen sich zwei wesentliche Ergebnisse ableiten:

1. Einhebbare Systeme:

Das „System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen“ erscheint im Gesamtvergleich aller Systeme und im Vergleich der einhebbaren Systeme am vielversprechendsten. Diese Abschottungsvariante wird daher im weiteren Projektverlauf detaillierter untersucht und hinsichtlich des Ablaufes dargestellt.

2. Einschwimbare Systeme:

Nach der Rangfolge in Tab. 14 liegt das „Gebogene Schubtor“ mit einem sehr knappen Vorteil (0,5 Punkte) auf Position 2. Für dieses System liegt allerdings kein unmittelbar realisierbares Einschwimmkonzept vor und wird vielmehr als einhebbares System auszuführen sein. Alle weiteren potentiell einschwimbaren Systeme liegen von der Gesamtpunktzahl im selben Wertebereich (18 – 20 Punkte). Grundsätzlich erscheint für alle diese Systeme ein Einschwimmen nach demselben Prinzip (mithilfe eines Pontons) sinnvoll. Aufgrund dieses Ergebnisses wird im weiteren Projektverlauf ein einschwimbbares System stellvertretend ausgewählt und der generelle Ablauf des Ein- und Ausschwimmvorgangs tiefergehend analysiert (neben den übrigen Vorgängen der temporären partiellen Trockenlegung). Hierfür wird das „System 11: Einschwimbare Dammtafeln“ (Position 3) herangezogen. Dieses kann so konzipiert werden, dass ein Einschwimmen ohne weiterführende Entwicklung möglich scheint. Das Kriterium Lastabtrag wird bei System 11 positiv bewertet, wodurch es einen starken Vorteil gegenüber vergleichbaren Systemen besitzt, die für das Einschwimmen möglicherweise ebenfalls infrage kommen könnten. Aufgrund des vergleichsweise geringeren Installationsaufwands erscheint es zweckmäßig die Dammtafel mit einem Hydrauliksystem auszustatten und auf das Haken-Ösen-System zu verzichten (vgl. Kap. 4.1.11).

### 4.3 Voraussetzungen an die Schleusenkammer

Die in Kap. 4.1 vorgestellten Abschottungssysteme sind nicht uneingeschränkt in jeder Schleuse einsetzbar. Es sind hinsichtlich der Verwendbarkeit einige wichtige Voraussetzungen und Randbedingungen zu berücksichtigen.

Kammerwände und –sohle müssen wasserdicht sein. Sollte dies nicht gewährleistet sein, besteht die Gefahr, dass anstehendes Grundwasser nach der Trockenlegung ungehindert in den Kammerraum eindringen kann. In diesem Fall sind dementsprechend Vorkehrungen zu treffen, um die Schleusenkammerwände und –sohle abzudichten oder das Wasser anderweitig fernzuhalten. Beispielhaft sind an dieser Stelle die Maßnahmen der Grundwasserabsenkung oder eines Injektionsverfahrens zu nennen.

Die Abschottungssysteme 9 und 10 dichten gegen die in den Kammerwänden und der Kammersohle integrierten Führungsschienen ab, während die Systeme 1 – 8 und 11 direkt gegen die Wand- und Sohloberfläche abdämmen. Für den Einsatz letztgenannter Systeme ist daher eine geeignete Oberflächenbeschaffenheit und -form Voraussetzung. Lippendichtprofile eignen sich z. B. für vergleichsweise glatte Oberflächen und passen sich nur marginal an Unebenheiten an. Größere Oberflächenausbrüche und –risse führen demzufolge zu einer unzureichenden Abdichtung mit erhöhtem Leckagewassereintrag in das trocken gelegte Schleusensegment.

Ebenfalls zu berücksichtigen ist bei diesen angesprochenen Systemen eine möglicherweise mangelhafte Abdichtung gegen Kammerwände aus Spundwandprofilen. Bei schräg eingestellten Dammtafeln (s. z. B. System 11) verläuft das entsprechende Abdichtungsprofil u. U. über mehrere Spundwandtäler. Diese Übergänge können nicht von den Abdichtungen, jedoch von evtl. im Vorfeld auf die Spundwandoberfläche aufzuschweißende Stahlplatten ausgeglichen werden.

Weicht die Kammerwandoberfläche vergleichsweise stark von der Vertikalen ab, ist der Einsatz der Systeme 1 – 8 und 10 - 11 ausgeschlossen. Die Dimensionierung einer Dammtafel muss i. d. R. an die geringste Schleusenbreite angepasst werden. Der Spalt zwischen Kammerwand und z. B. einer rechteckigen Dammtafel ist infolgedessen an verschiedenen Stellen unterschiedlich groß und kann ggf. nicht durch das Abdichtungsprofil ausgeglichen werden.

## 6 Bauablaufplanung der temporären partiellen Trockenlegung

### 6.1 Allgemeines

Im weiteren Verlauf dieser Arbeit werden, gemäß den Ergebnissen aus Kap. 4.2, folgende Systeme hinsichtlich technischer und zeitlicher Machbarkeit detaillierter untersucht:

- **System 9:** Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen (vgl. Kap. 4.1.9)
- **System 11:** Einschwimbare Dammtafeln (vgl. Kap. 4.1.11)

Hierzu werden jeweils Informationen aus den nachstehenden Bereichen zusammengefasst:

- Konstruktionselemente und erforderliche Gerätschaften
- Vorarbeiten und Baustelleneinrichtung
- Bauablaufplanung
- Systembewertung
- Optimierungsmöglichkeiten

Die durchgeführten Bewertungen der beiden Systeme stützen sich dabei sowohl auf Fachliteratur, als auch auf Erfahrungen und Rückmeldungen aus der Praxis.

### 6.2 Randbedingungen und Festlegung der Schleusenteilabschnittslängen

Der Wasserstand der Schleuse wird gemäß BAW (2014) nach dem Verlassen des letzten Schiffs vor der täglichen Schleusensperrung auf UW-Niveau abgesenkt. Im direkten Anschluss beginnt der Vorgang der temporären partiellen Trockenlegung.

Die innerhalb der Schleuse zu installierenden temporären Abschottungssysteme müssen auch bei schwankenden Wasserständen einsetzbar sein. Im Folgenden wird der ungünstigste Fall einer Grenzstauhöhe von 5,00 m als maximaler UW-Stand betrachtet (vgl. Kap. 2.2). Die weiteren Berechnungen und ermittelten Ablaufzeiten legen diesen Wert zu Grunde. Hiervon abweichende Wasserstände haben entsprechend veränderte Ergebnisse der Einzel- und Gesamtspielzeiten zur Folge. Mit Hilfe der verschiedenen Formeln (z. B. Gleichungen ( 9 ) - ( 12 )) und der entsprechenden Abmessungen können diese berücksichtigt und berechnet werden.

Die temporäre partielle Trockenlegung wird wesentlich von zwei Zielgrößen bestimmt:

- Möglichst große Längen der trocken zu legenden Schleusenabschnitte
- Maximal zur Verfügung stehende Gesamtdauer von 4 Stunden für Ein-/Ausbau der Abschottungssysteme, Entwässerung/Flutung der Schleusensegmente

Innerhalb dieses Spannungsfelds zeigt sich, unter zu Grunde Legung der in Kap. 5.4 getroffenen Annahmen und gewonnen Erkenntnisse und baupraktischer Überlegungen, eine trocken zu legende Schleusensegmentlänge von  $l_s = 35$  m als vertretbarer Kompromiss.

Das Trockenlegen des Schleusensegments wird grundlegend durch die Entwässerungszeit der Sohlbereiche beeinflusst. Hierbei können nur Saugfahrzeuge mit vergleichsweise niedrigen Fördervolumen zum Einsatz kommen. Hinsichtlich eines vielversprechenden Bauablaufs der Instandsetzungsarbeiten (u. a. Betonierblöcke) wird im Folgenden eine maximale Abtragsbreite von  $b_{At} = 15$  m angenommen. Die Gesamtdauer der Entwässerung kann grundsätzlich durch möglichst geringe Abtragsbreiten verkürzt werden.

Die Abtragtiefe  $x_{At}$  der instand zu setzenden Kammerwände und –sohle kann je nach Schleuse variieren. Dies ist abhängig vom Zustand des Wand- und Sohlmaterials und den daran gestellten Anforderungen. In vorliegendem Bericht wird in Anlehnung an bereits durchgeführte Instandsetzungsmaßnahmen an Schleusenkammerwänden und den bisherigen Planungen bezüglich der Pilotschleuse Schwabenheim eine mittlere Abtragtiefe von  $x_{At} = 0,5$  m angenommen. Hiervon abweichende Werte können veränderte Trockenlegungszeiten verursachen.

## **6.3 Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen**

### **6.3.1 Konstruktionselemente und erforderliche Gerätschaften**

Die Realisierung der temporären partiellen Trockenlegung mittels einhebbarer Dammtafeln erfordert eine differenzierte Betrachtung der einzelnen Konstruktionselemente und der dazu notwendigen Gerätschaften. Diese sind nachfolgend dargestellt.

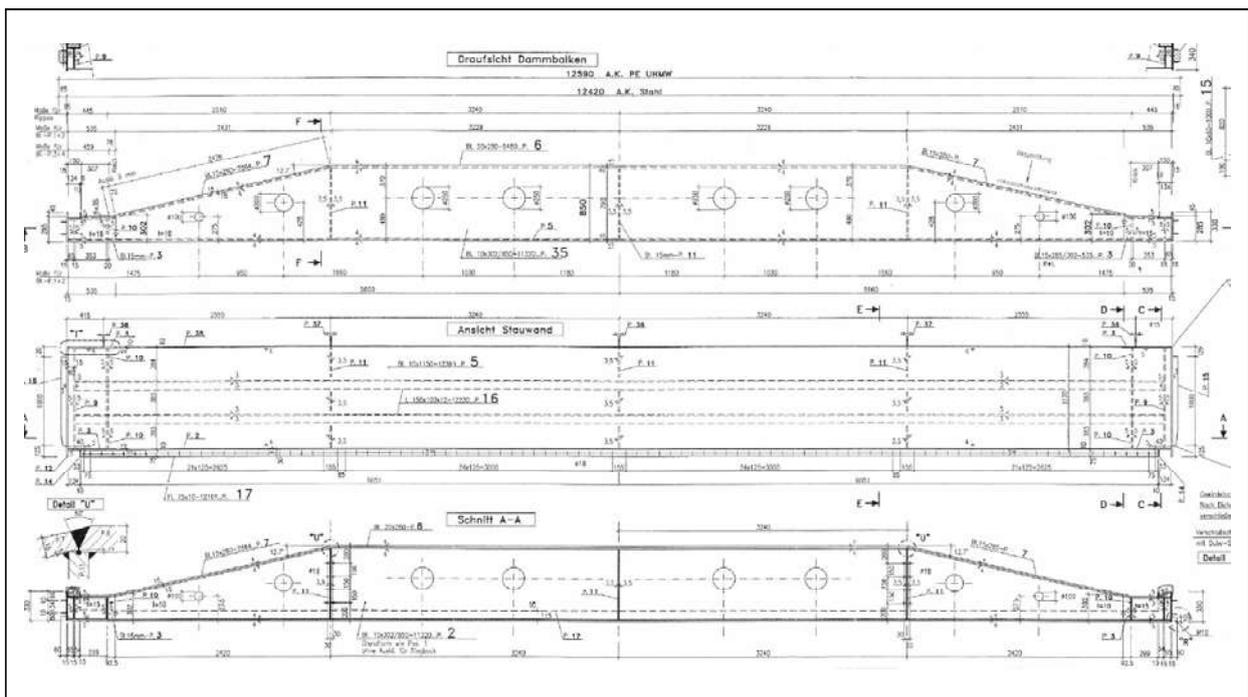
#### **Dammtafeln**

Für herkömmliche mehrtägige Trockenlegungen von Schleusenammern werden die ober- und unterwasserseitigen Revisionsverschlüsse genutzt. Diese bestehen i. d. R. aus sog. Dammbalken, die übereinandergesetzt den gesamten Kammerquerschnitt gegen anstehendes Wasser abdichten (vgl. Kap. 3.2.2). Der grundlegende Aufbau besteht aus wasserseitigen Stauwandblechen (Stahl), die

---

auf einer Aussteifungskonstruktion (Stahl) befestigt sind. Die Abdichtung der Dammbalken untereinander und der Dammbalken gegen Kammerwände und -sohle wird im Allgemeinen durch wasserbeständigen Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk (EPDM) gewährleistet. Geometrie und Konstruktion der Dammbalken können allerdings je nach Anforderung und Einsatzgebiet variieren.

In Abb. 76 ist beispielhaft die Konstruktion eines typischen Dammbalkens dargestellt. Die Zeichnung wurde von der Fa. Schmitt WSE GmbH (WSE 2000) mit Genehmigung des Wasser- und Schifffahrtsamts Trier zur Verfügung gestellt.



**Abb. 76:** Konstruktionszeichnung eines typischen Dammbalkens (Auszug aus WSE 2000)

Für einen zeitoptimierten Ablauf der temporären partiellen Trockenlegung erscheint es sinnvoll, das Abschottungssystem aus einer Dammtafel auszubilden, für die - im Gegensatz zu mehreren Dammbalken - nur ein einziger Einbebevorgang notwendig ist. Die Konstruktion der Dammtafel kann z. B. in Anlehnung an Abb. 76 erfolgen.

Die Dimension der Dammtafel ergibt sich aus der Geometrie der abzudichtenden Schleusenammer und dem anstehenden Wasserstand:

$$B_{DT} = B_{Schleuse} + 2 \cdot B_{KP}$$

Breite der Dammtafel

Nach BAW (2014) wird eine Kammerbreite von  $B_{Schleuse} = 12,50$  m vorausgesetzt (beachte: Kammerbreite Pilotschleuse Schwabenheim: 12,00 m). Zusätzlich sind die Breiten der Kopfpunkte der Wandaufleger  $B_{KP,Wand}$  zu berücksichtigen (z. B. 0,50 m in Anlehnung an WSE 2000).

$$H_{DT} = H_{Gr} + H_{KP} + H_{Freibord}$$

Höhe der Dammtafel

In BAW (2014) wird die maximale Grenzstauhöhe  $H_{Gr}$  mit 5,00 m (HW-Stand) angegeben. Zusätzlich ist die Höhe des Kopfpunktes des Sohlauflegers  $H_{KP}$  zu berücksichtigen (z. B. 0,50 m in Anlehnung an WSE 2000). Die Freibordhöhe  $H_{Freibord}$  bezeichnet den vertikalen Abstand zwischen Bemessungswasserstand und Dammtafeloberkante. Sie wird nach DIN 19712, S. 22ff. im Folgenden mit einem Wert von 0,20 m angesetzt.

$$T_{DT}$$

Tiefe der Dammtafel

Richtet sich nach statischen Randbedingungen und Konstruktionsausführung (z. B. 0,34 m bzw. 1,00 m in Anlehnung an WSE 2000)

$$m_{DT}$$

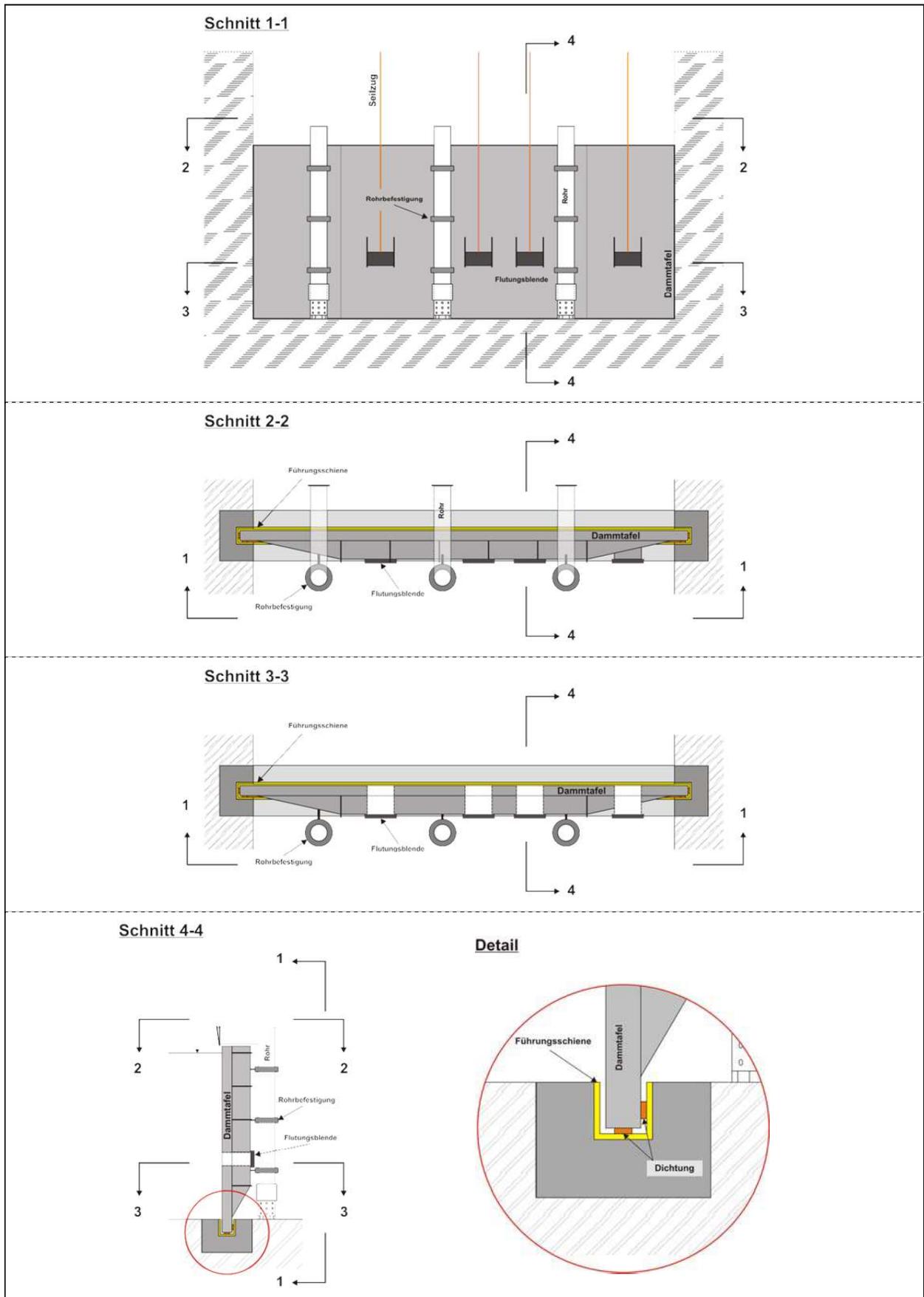
Masse der Dammtafel

Nach Erfahrungen und Angaben aus der Praxis ergeben sich für Dammtafeln mit den ungefähren Abmessungen von  $B_{DT} \times H_{DT} \times T_{DT} = 13,5 \text{ m} \times 5,70 \text{ m} \times 0,34$  bzw. 1,00 m ein Gesamtgewicht von ca.  $m_{DT} = 20 - 25$  t (vgl. z. B. KLEWA 2014, WSE 2000 und THYSSENKRUPP BAUTECHNIK GMBH 2014).

Die Grundkonstruktion der ober- und unterwasserseitigen Dammtafeln können identisch ausgeführt werden. Zusätzlich erscheint es zweckmäßig, die Saugrohre direkt an der unterwasserseitigen Dammtafel fest zu installieren, um weitere Bauablaufschritte (separate Ein- und Ausbebevorgänge der Rohre/Schläuche) zu vermeiden.

Die zuvor angegebenen Werte und Informationen stützen sich auf Angaben und Erfahrungswerte aus der Praxis (u. a. KLEWA 2014, THYSSENKRUPP BAUTECHNIK GMBH 2014). Grundsätzlich bleibt jedoch festzuhalten, dass Abschottungskonstruktionen im Wasserbau (wie z. B. Dammtafeln) immer eine individuelle Planung und Sonderanfertigung erfordern, um den gegebenen Randbedingungen Rechnung zu tragen. Die Ausbildung und Konstruktion der Dammtafeln ist mit jeweiligen Herstellern und Statikern individuell zu planen und ist nicht Gegenstand dieses Berichts. Eine mögliche Ausführungsskizze ist in Anlehnung an WSE (2000) in Abb. 77 dargestellt. Weitere Aufbauten und Konstruktionsarten anderer Hersteller sind ebenfalls möglich.

---



**Abb. 77:** Mögliche Ausführung der Dammtafel als Abschottungssystem der temporären partiellen Trockenlegung

Nach Beendigung der Instandsetzungsarbeiten erfolgt die Flutung des trocken gelegten Schleusensegments über vorzusehende Öffnungen in der unterwasserseitigen Dammtafel, da von Unterwasserseite kontinuierlich Wasser nachströmen kann - im Gegensatz zur Oberwasserseite. Die Öffnungen können z. B. als sog. Flutungsblenden ausgeführt werden, die über ein mechanisches System zu öffnen sind (z. B. mittels eines händisch zu bedienenden Seilwindensystems oder Öffnungsstangen). Die Ausbildung und Konstruktion der Flutungsblenden ist mit dem jeweiligen Hersteller individuell zu planen und ist nicht Gegenstand dieses Berichts.

Im Folgenden wird von mindestens 4 rechteckigen Flutungsblenden in der UW-Dammtafel ausgegangen. Es werden folgende Annahmen getroffen:

- a: Höhe der Flutungsblende: 0,20 m
- b: Breite der Flutungsblende: 0,40 m
- h<sub>1</sub>: Tiefe der Öffnungsoberkante: 3,00 m
- h<sub>2</sub>: Tiefe der Öffnungsunterkante: 3,20 m

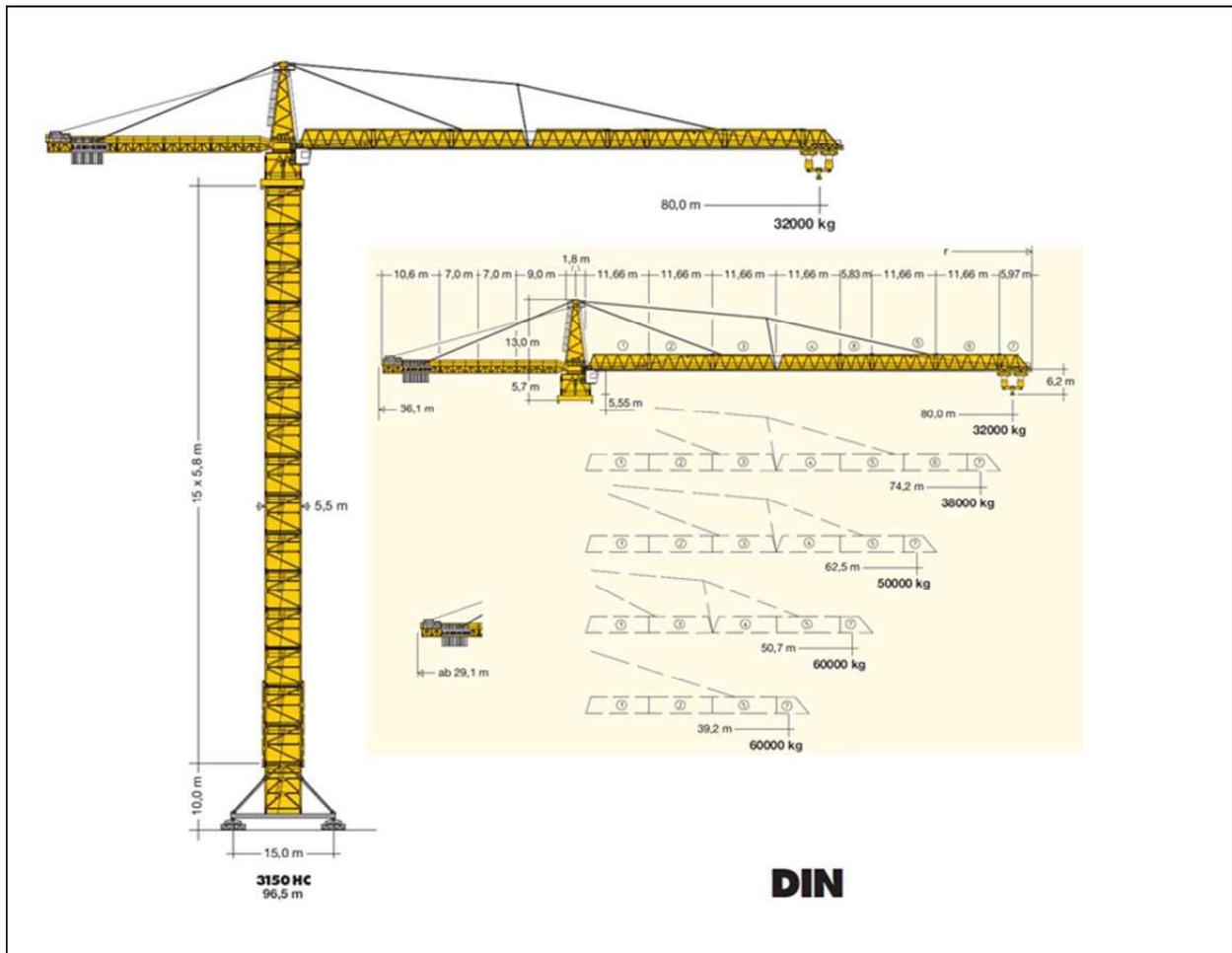
Abb. 78 zeigt eine mögliche Ausbildung der Flutungsblenden in der Dammtafel. Alternativ scheint es vorstellbar, den oberen Bereich der Dammtafel als Dammbalken auszuführen und mittels eines Schlossprinzips (ähnlich Schalungsschloss) an der Dammtafel an- und abzukoppeln. Der Dammbalken könnte zur Flutung des Schleusensegments mittels eines Krans von der Dammtafel gelöst und angehoben werden. Das anstehende Wasser würde demzufolge analog einem überströmten Wehr in das Schleusensegment fließen. Das einströmende Wasser kann jedoch vergleichsweise große Kräfte verursachen, die auf das Abschottungssystem und die Kammerwände und -sohle wirken können. Es ist daher zu prüfen, ob diese Variante statisch unbedenklich und hinsichtlich der durchgeführten Instandsetzungsmaßnahmen an der Kammeroberfläche sinnvoll erscheint.



**Abb. 78:** Öffnung der Flutungsblenden z. B. mittels Seilzugmechanismus

### Turmdrehkräne

Dammtafeln mit den oben genannten Abmessungen weisen jeweils ein Gesamtgewicht von ca. 20 – 25 t auf. Aufgrund dieses vergleichsweise hohen Gewichts ist der Einsatz sehr leistungsstarker Kräne erforderlich. Der Ein- und Ausbau und der damit verbundene Transport der Dammtafeln sollten hinsichtlich des vorgegebenen Zeitfensters der temporären partiellen Trockenlegung zeitlich parallel erfolgen. Es empfiehlt sich der Einsatz von 2 obendrehenden Turmkränen, deren Tragfähigkeit und Ausladung auf die Schleusengeometrie und die Eigenschaften der Dammtafel abgestimmt sind. Im Rahmen dieser Arbeit wird beispielhaft das Kranmodell „Liebherr Turmdrehkran 3150 HC 60“ genannt (LIEBHERR 2014). Vergleiche hierzu Abb. 79 und Kap.6.3.2.



**Abb. 79:** Obendrehender Turmkran Liebherr 3150 HC 60 (nach LIEBHERR 2014)

Die Turmhöhen der beiden Kräne sind unterschiedlich auszuführen, um eine gegenseitige Überschwenkung der jeweiligen Wirkbereiche der Kranausleger zu erlauben (hier: UW-TDK überschwenkt OW-TDK, vgl. auch Abb. 85). I.d.R. sind die heute auf dem Markt verfügbaren Turmdrehkräne mit elektronischen Anti-Kollisions-Steuerungen ausgestattet. Ein effektiver Arbeitsablauf und die Verminderung von zeitlichen und räumlichen Beeinträchtigungen der Kranarbeitswege kann hierdurch ermöglicht werden. Vorteilhaft zeigt sich auch die weitere Verwendung der Turmdrehkräne. Diese stehen zwischen dem Ein- und Ausbau der Dammtafeln vollständig für Transportvorgänge der Instandsetzungsarbeiten zur Verfügung.

Hinsichtlich der Krantragfähigkeit und des Transports der Dammtafeln ist alternativ auch der Einsatz von entsprechend konfigurierten Auto-, Raupenkränen denkbar. Raupenkräne benötigen jedoch eine vergleichsweise große befestigte Fahr- und Standfläche entlang des Bauwerks, die bei Schleusenbaustellen i. d. R. nicht zur Verfügung stehen. Darüber hinaus ist zu prüfen, ob die Tragfähigkeit der Schleusenplattform für die Befahrbarkeit von Raupenkränen entsprechender Größe ausreichend ist. Der Einsatz mehrerer Auto- oder Raupenkräne ist hinsichtlich parallel ablaufender

Transportvorgänge kritisch zu betrachten, da eine Überschwenkung der Ausleger nicht möglich ist. Die Verwendung dieser Kräne im weiteren Bauablauf, z. B. im Zuge von Transportvorgängen der Instandsetzungsarbeiten, wird als eingeschränkt betrachtet.

Untendrehende Turmkräne werden für die weiteren Betrachtungen nicht berücksichtigt. Diese benötigen aufgrund des am Kranfuß mitdrehenden Gegengewichts einen größeren Platzbedarf als obendrehende Turmkräne und eignen sich daher für das eingeschränkte Platzangebot einer Schleusenbaustelleneinrichtung nicht. Schnelleinsatzkräne scheidern aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Tragfähigkeit für den Transport der Dammtafeln ebenfalls aus.

### Anhängevorrichtung für Dammtafeln

Eine speziell angepasste Krananhängevorrichtung bietet die Möglichkeit eines schnellen Ein- und Ausklinkens und eines sicheren horizontalen Transports der Dammtafeln. Außerdem kann durch seitlich angebrachte Rollen die Einfädung und Führung der Dammtafeln in den Wandschienen unterstützt werden. Diverse Stahlwasserbauunternehmen bieten hierfür Individuallösungen an. Beispiele für Anhängervorrichtungen sind in Abb. 80 dargestellt. Es ist jedoch zu prüfen, ob sich der Einsatz mit den übrigen Kranarbeiten während der Instandsetzung vereinbaren lässt oder ob dazu zunächst ein zeitaufwendiges Umrüsten des Hebezeuges notwendig wird. In diesem Fall ist der Zeit- und Funktionsnutzen im Vergleich zum Umrüstungsaufwand sorgfältig abzuwägen.



**Abb. 80:** Beispiele für Anhängervorrichtung für Dammtafeln (links: nach SWB 2011; rechts: nach MUHR 2014)

### **Pumpensystem**

In Kap. 5.4 wurde eine ausführliche Beschreibung und Bewertung verschiedener Pumpenarten und Entwässerungsvarianten vorgenommen. Demzufolge stellt die Entwässerungsvariante 4 mit einer Kombination aus trocken selbstansaugenden Drehkolbenpumpen (Typ Börger XL 5300) und Saugfahrzeugen (Typ RSP ESE 32) den vielversprechendsten Ansatz zur Entwässerung eines Schleusensegments dar.

Vor dem Hintergrund der zeitlichen Vorgabe hinsichtlich der temporären partiellen Trockenlegung wird der Einsatz von 3 Drehkolbenpumpen des genannten oder eines vergleichbaren Pumpentyps notwendig. Zur Verbindung der Pumpen mit den Saugrohrleitungen im Schleusensegment ist, gemäß der Anzahl der Saugstutzen, eine entsprechende Anzahl an Verbindungsschläuchen mit DN 500 vorzuhalten.

Die Entwässerung der abgetragenen Sohlbereiche erfolgt mit 2 Saugfahrzeugen des genannten oder eines vergleichbaren Typs. Die Saugleistung ist mit mindestens  $105 \text{ m}^3/\text{h}$  vorzusehen. Es erscheint zweckmäßig die Saugfahrzeuge mit einer zugehörigen Schmutzwasserdruckpumpe auszustatten. Dies ermöglicht das Entwässern des Saugtanks parallel zum Saugvorgang (vgl. Kap. 5.4). Es sind Druckschläuche mit entsprechender Länge für das Ableiten des Wassers nach Unterwasser vorzuhalten.

### **Pumpenponton/-kahn mit installierten Drehkolbenpumpen**

Pontons oder Arbeitskähne sind zum Einschwimmen der Entwässerungspumpen nicht in Standardausführungen und Einheitsgrößen am Markt verfügbar. Diese Arbeitsgeräte werden i. d. R. gemäß den Anforderungen eines bestimmten Bauvorhabens konstruiert. Vor dem Hintergrund des dauerhaften und flexiblen Einsatzes eines Pumpenpontons/-kahn bietet sich die Neukonstruktion eines solchen an. Alternativ kann nur unter Kompromissen auf Pontons oder Arbeitskähne aus früheren Baumaßnahmen von an der Schleuseninstandsetzung beteiligten Wasserbaufirmen zurückgegriffen werden.

Die angegebenen Drehkolbenpumpen werden auf einem Traggerüst geliefert und können auf einem Ponton/Arbeitskahn fest installiert werden. Eine Prinzipskizze eines Pontons/Arbeitskahns mit den fest installierten Pumpen ist in Abb. 73 dargestellt. Es ist auf eine möglichst tiefe Installation des Pumpensystems auf dem Ponton/Arbeitskahn zu achten, sodass die Saugleitungen unmittelbar über das Abschottungssystem geführt werden können. Größere Saughöhen können u. U. zu erhöhter Kavitation und einem Abriss der Saugleistung führen (vgl. auch Kap. 5.4.4). Die Abmessungen und Konstruktionsauslegung des Pontons/Arbeitskahns erfolgen gemäß Statik und Ausführung des Herstellers bzw. der Wasserbaufirma.

**Leckagewasserabführung**

Tauchmotorpumpen entsprechender Größe und Anzahl (z. B. des Typs Mast T20) werden in Behelfspumpengraben an den Abschottungssystemen (UW und OW) gestellt, um das Leckagewasser nach Unter- bzw. Oberwasser zu leiten.

**Personenbeförderungskorb (Arbeitskorb)**

Zur Restwasserentleerung der Schleusensegmente ist der Einsatz von Personal innerhalb der Schleusensegmente notwendig (Führung Saugschlauch des Saugfahrzeugs, Inbetriebnahme Sauglanze der Drehkolbenpumpe). Das Personal kann mithilfe eines Personenbeförderungskorbs in die Schleusensegmente ein- und ausgehoben werden (s. Abb. 81).



**Abb. 81:** Beispiel eines Personenbeförderungskorbs (nach EICHINGER 2012)

### 6.3.2 Vorarbeiten und Baustelleneinrichtung

Die Baustelleneinrichtung (BE) umfasst alle technischen und versorgenden Einrichtungselemente einer Baustelle (z. B. Baustellenbüros, Strom- und Wasserversorgungsstationen etc.), die die Basis für einen störungsfreien und uneingeschränkten Bauablauf darstellen. Der Platzbedarf und die Gestaltung der Baustelleneinrichtung werden durch verschiedene Faktoren beeinflusst, wie z. B. Abmessungen der Baumaßnahme, Standortbedingungen und Bauzeit, Bauverfahren, Materialnachschub etc. (in Anlehnung an BAUER, H. 2007, S. 592f. und BLOCHMANN, G. et al. 2012, S. 8). Jede Baustellenörtlichkeit weist unterschiedliche Randbedingungen auf, für die keine uniforme Lösung angegeben werden kann. Vielmehr ist für jede Baumaßnahme eine spezifische Baustelleneinrichtungsplanung zu erarbeiten. Im Rahmen der Aufgabenstellung dieses Projekts soll die grundsätzliche Möglichkeit der temporären partiellen Trockenlegung von Schleusen im Allgemeinen untersucht werden. Spezifizierte Eigenschaften der Örtlichkeit und der Umgebungsbedingungen der Schleusen sind nicht Gegenstand der vorgegebenen Randbedingungen.

Die für die partielle Trockenlegung nötigen Geräte, Materialien und Vorhalteplätze stellen nur einen Teil der Gesamtbaustelle und Einrichtung dar. Der größere Anteil entfällt auf den baulichen Vorgang der Schleuseninstandsetzung. Erst mit der endgültigen Festlegung der Bauverfahren und -abläufe der Instandsetzungsmaßnahme kann daher, unter Berücksichtigung der benötigten Einsatzmittel und u. U. parallel ablaufender Bauabläufe der partiellen Trockenlegung, eine Gesamtbaustelleneinrichtungsplanung für das jeweilige Projekt ausgearbeitet werden.

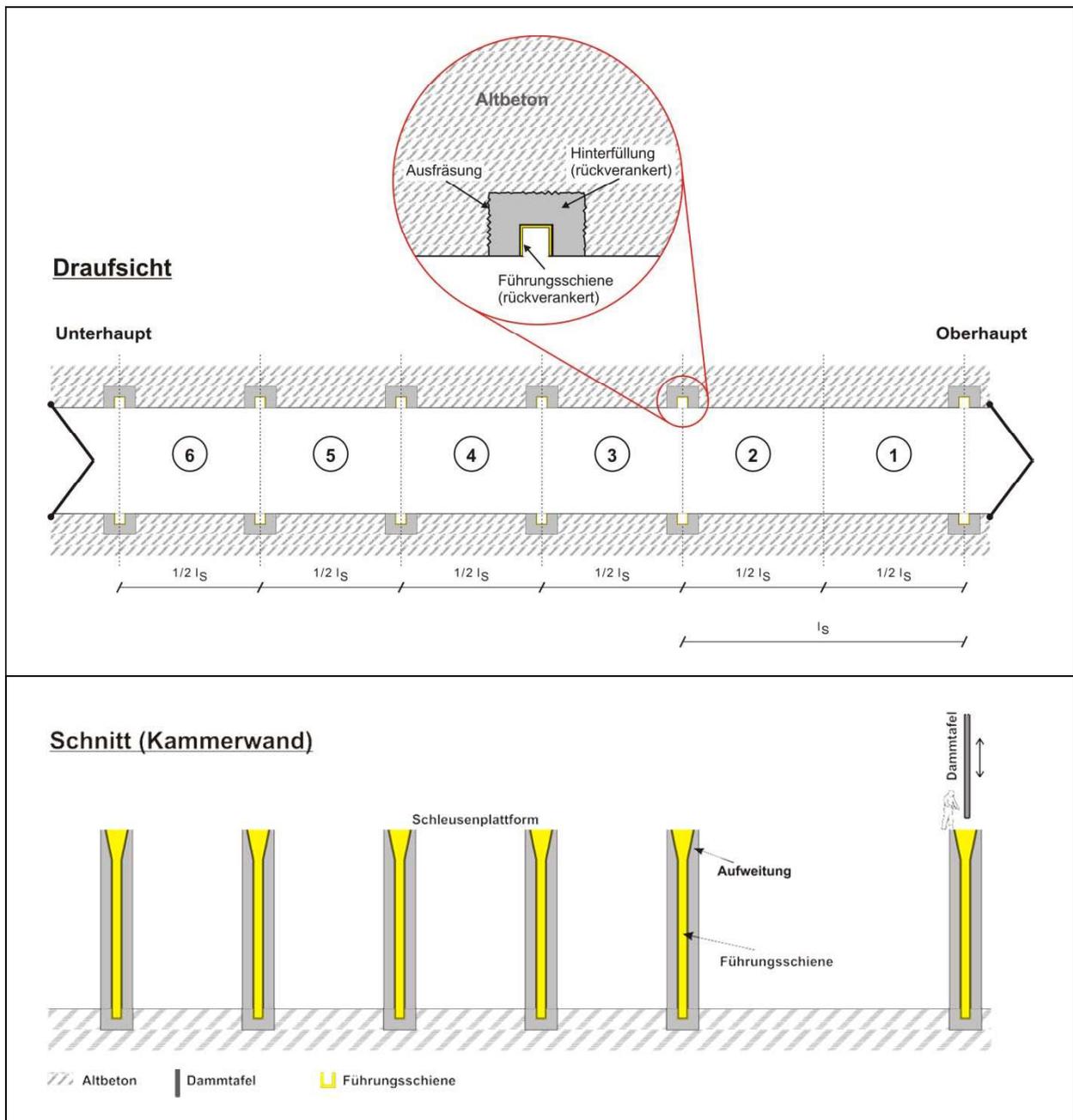
Nach BÖTTCHER, P. D. U. NEUENHAGEN, H. (1997, S. 204) ist die Planung einer Baustelleneinrichtung grundsätzlich nicht als starrer Prozess mit standardisierten Elementen zu betrachten. Vielmehr ist sie als ein Iterationsverfahren anzusehen, in das z. B. Veränderungen des Bauablaufs, Erweiterungen und zusätzliche Anforderungen an die Baustelle fortlaufend integriert werden müssen.

Es werden grundsätzliche Einrichtungselemente und bautechnische Informationen gegeben, die hinsichtlich der temporären partiellen Trockenlegung zu berücksichtigen sind. Diese werden, sofern hilfreich, beispielhaft an den örtlichen Gegebenheiten der Pilotschleuse Schwabenheim dargestellt. Baustelleneinrichtungen in Bezug auf die Schleuseninstandsetzung werden nicht berücksichtigt.

Die zur Baustelleneinrichtung gehörenden Elemente werden im Folgenden aufgeführt und gegebenenfalls erläutert. Die Vorarbeiten und Arbeitsvorgänge der Baustellenvorbereitung und -einrichtung können ohne Einschränkung bei laufendem Schleusenbetrieb durchgeführt werden. Ein möglicher Baustelleneinrichtungsplan für die Pilotschleuse Schwabenheim ist beispielhaft in Abb. 85 dargestellt.

### Einbau Führungsschienen für Dammtafeln

Im Rahmen der Instandsetzungsplanungen sind die Längen der trocken zu legenden Schleusensegmente und die jeweiligen Örtlichkeiten der Abschottungssysteme zu definieren. Infolge dieser Festlegungen sind im Vorfeld der eigentlichen Instandsetzungsarbeiten Wand- und Sohlnischen auszubrechen. In diese werden Führungsschienen mithilfe einer Hinterfüllung eingebaut. Führungsschienen und Hinterfüllung sind im Altbeton bzw. –material rückzuverankern. Es erscheint sinnvoll die Schienen im oberen Kammerwandbereich zu weiten, um den Einfädelvorgang der Dammtafeln zu vereinfachen (vgl. Abb. 82).



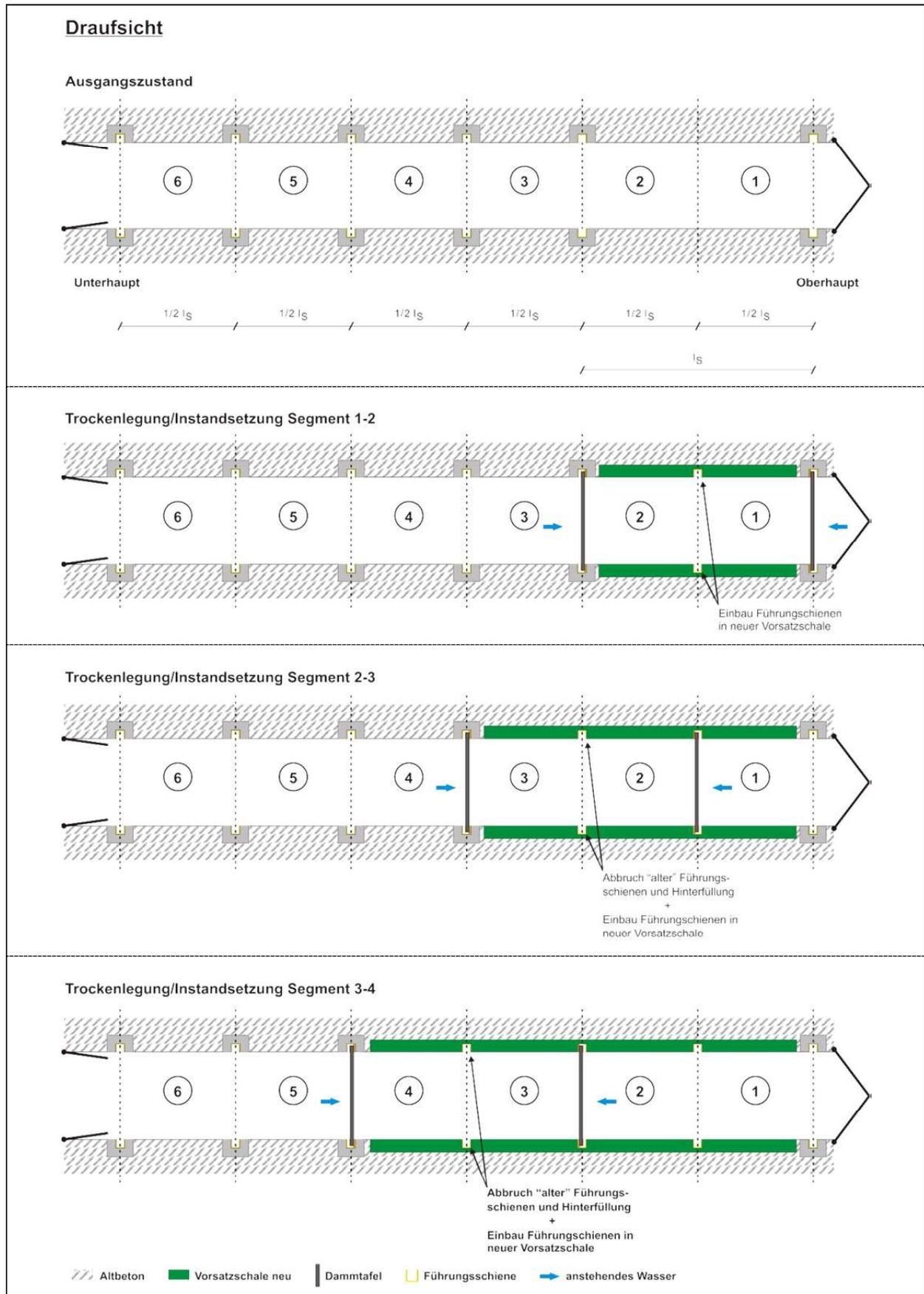
**Abb. 82:** Einbau und Anordnung der Führungsschienen in der Schleusen-Draufsicht (oben) und in einem Kammerwand-Schnitt (unten)

Die zur Installation der Führungsschienen nötigen Arbeiten werden in einer planmäßigen mehrtägigen Schleusensperrung im Vorfeld der Instandsetzungsarbeiten durchgeführt. Einer Verschmutzung der Führungsschienen im laufenden Betrieb kann durch Abdeckung entgegen gewirkt werden.

### **Erneuerung Führungsschienen während Instandsetzung**

Die im Vorlauf der eigentlichen Schleusenbaustelle installierten Führungsschienen zur temporären partiellen Trockenlegung sind mittels Hinterfüllung und Verankerung im Altmaterial der Kammerwände und der –sohle zu befestigen. Die Schienen und das Hinterfüllmaterial sind während der Instandsetzungsarbeiten im Zuge des Abtrags der Kammerwände und –sohle nacheinander wieder abzurechen, um eine neue durchgehende Vorsatzschale ausbilden zu können. Dauerhafte Führungsschienen werden für die aktuellen Trockenlegungsvorgänge wiederum in den Neubeton der Kammerwände und -sohle integriert. Diese dienen auch dem Einbau von Dammtafeln im Zuge von möglichen weiteren Revisionsarbeiten zu einem späteren Zeitpunkt. Die Abfolge der nacheinander trocken zu legenden Schleusensegmente und der Austausch der Führungsschienen erfolgt von Oberwasser in Richtung Unterwasser (vgl. Abb. 83).

---



**Abb. 83:** Ablauffolge der trocken zu legenden Schleusensegmente und Austausch der Führungsschienen in Kammerwand und -sohle

### Installation Drehkolbenpumpen

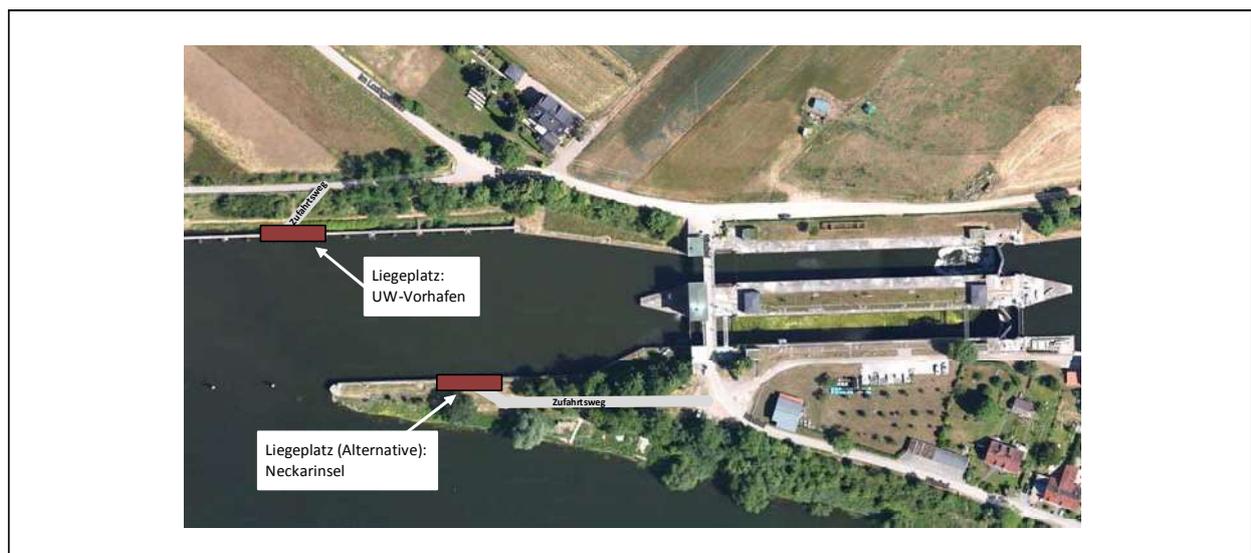
Die vorgeschlagenen Pumpen können per LKW direkt auf die Baustelle geliefert werden. Der Aufbau und die Inbetriebnahme der Pumpen und die Einweisung des Baustellenpersonals erfolgt ggf. durch Personal der Firma Börger.

Die Installation der Drehkolbenpumpen auf dem Ponton/Arbeitskahn kann vor Ort erfolgen. Die Pumpen können mittels eines mobilen Autokrans auf den Ponton/Arbeitskahn gehoben und dort von geschultem Personal und/oder Fachpersonal der Pumpenfirma fest installiert werden.

### Liegeplatz Ponton/Arbeitskahn

Ein Anlegeplatz für den Ponton/Arbeitskahn ist außerhalb der Schiffsverkehrsfläche und des Baustellenbereichs vorzusehen. Dieser dient dem „Zwischenparken“ zwischen dem Entwässerungsvorgang der Schleusensegmente und dem folgenden Einsatz. Gleichzeitig kann die Wartung der Pumpen und das Betanken der Pumpenmotoren vorgenommen werden. Der Liegeplatz ist aus diesen Gründen mit entsprechenden Versorgungseinrichtungen (z. B. Strom, Wasser etc.), einem Container für Ersatzteile und einer Tankanlage auszustatten. Eine entsprechende Verkehrsanbindung an den Baustellenbereich oder sonstige Zufahrtsstraßen sind vorzusehen.

Als verkehrsgünstiger Liegeplatz bietet sich an der Pilotschleuse Schwabenheim der unterwasserseitige Vorhafen an. Eine Anbindung an den neckarparallelen Wirtschaftsweg erscheint unproblematisch. Alternativ könnte auf der Neckarinsel ein Liegeplatz mit Verkehrs- und Versorgungsanbindung neu eingerichtet werden (s. Abb. 84).



**Abb. 84:** Mögliche Liegeplätze Pumpenponton/-arbeitskahn an der Schleuse Schwabenheim (Luftbild nach GOOGLE 2014)

### **Vertäuungsvorrichtungen**

Der Pumpenponton/-arbeitskahn muss während des Entwässerungsvorgangs in seiner Lage fixiert werden. Diesbezüglich sind beidseitig auf der Schleusenplanie nahe der Kammerwand Vertäuungsvorrichtungen (z. B. Poller o. ä.) vorzusehen. Der Ponton/Arbeitskahn wird mithilfe von Tauen beidseitig abgespannt.

### **Zufahrt, Versorgungswege und Arbeitsflächen**

Es ist eine ausreichende Breite und Tragfähigkeit dieser Baustraßen und Arbeitsplätze für Schwer- und Großgerät (z. B. Saugfahrzeug, Mobilkran als Hilfsgerät zum Aufbau der TDK, Lagerplätze Dammtafeln etc.) zu gewährleisten. Gegebenenfalls sind Ertüchtigungsmaßnahmen vorzunehmen. Im Fall der Pilotschleuse Schwabenheim ist hierbei auf folgende Wege und Flächen im Besonderen zu achten:

- Zufahrtsstraße (Im Lochgewann) zur Schleuse
- Brücke am Unterwassertor: diese weist derzeit eine Tragfähigkeit von max. 30 t auf
- Schleusenparallele Straße: diese zweigt auf der Neckarinsel von der Straße Windhof ab
- Vorgesehener Arbeitsbereich auf der Neckarinsel (s. Abb. 85)
- Ggf. Schleusenplanie zwischen linker und rechter Schleusenkammer

### **Lagerplatz Dammtafeln**

Die Dammtafeln sind während der Schiffsbetriebszeiten in unmittelbarer Nähe parallel zur Schleusenkammer zu lagern. Es ist zu prüfen, ob diese Abschottungselemente möglicherweise mittels eines Einstellungsgerüsts in vertikaler Position abgesetzt werden können. Dies würde die regelmäßigen Inspektions- und Wartungsarbeiten erleichtern. Die Ein- und Aushängevorgänge des Krans könnten von einer Arbeitsplattform überwacht werden. Einen Vorschlag hinsichtlich eines möglichen Lagerplatzes der Dammtafeln an der Pilotschleuse Schwabenheim ist im Baustelleneinrichtungsplan eingezeichnet (s. Abb. 85).

Die Abschottungssysteme können im Vorfeld der Instandsetzungsarbeiten mittels eines Schwerlasttransports oder mithilfe eines Pontons eingeschwommen und z. B. mit einem mobilen Autokran auf den vorgesehenen Lagerplatz gesetzt werden.

**Kranaufstellung**

Der Drehbereich des Kranauslegers muss sämtliche Einbauorte der Dammtafeln abdecken, so dass die Abschottungssysteme punktgenau ein- und ausgehoben werden können. Im vorliegenden Fall der Pilotschleuse Schwabenheim wird der Kranstandort auf der Neckarinsel parallel zur linken Schleusenkammer vorgeschlagen (s. Abb. 85). Der Aufbau des Turmdrehkrans erfolgt mithilfe eines mobilen Autokrans.

**Sonstiges**

Neben den aufgeführten Vorarbeiten und Baustelleinrichtungen sind weitere Baustellenelemente zu berücksichtigen, die allgemein auf Baustellen vorzuhalten sind. Dies können u. a. sein:

- Bauzaun
  - Ggf. Lärmschutzwand/Gerätekapselung: Es ist zu prüfen, ob die Pumpenmotoren und Aggregate die zulässigen Lärmpegel am Immissionsort einhalten.
  - Container Baustellenbüros und Sozialräume
  - Container für Ersatzteile und Werkzeuge
  - Installation eines Generators/Transformators für den benötigten Baustellenstrom
-

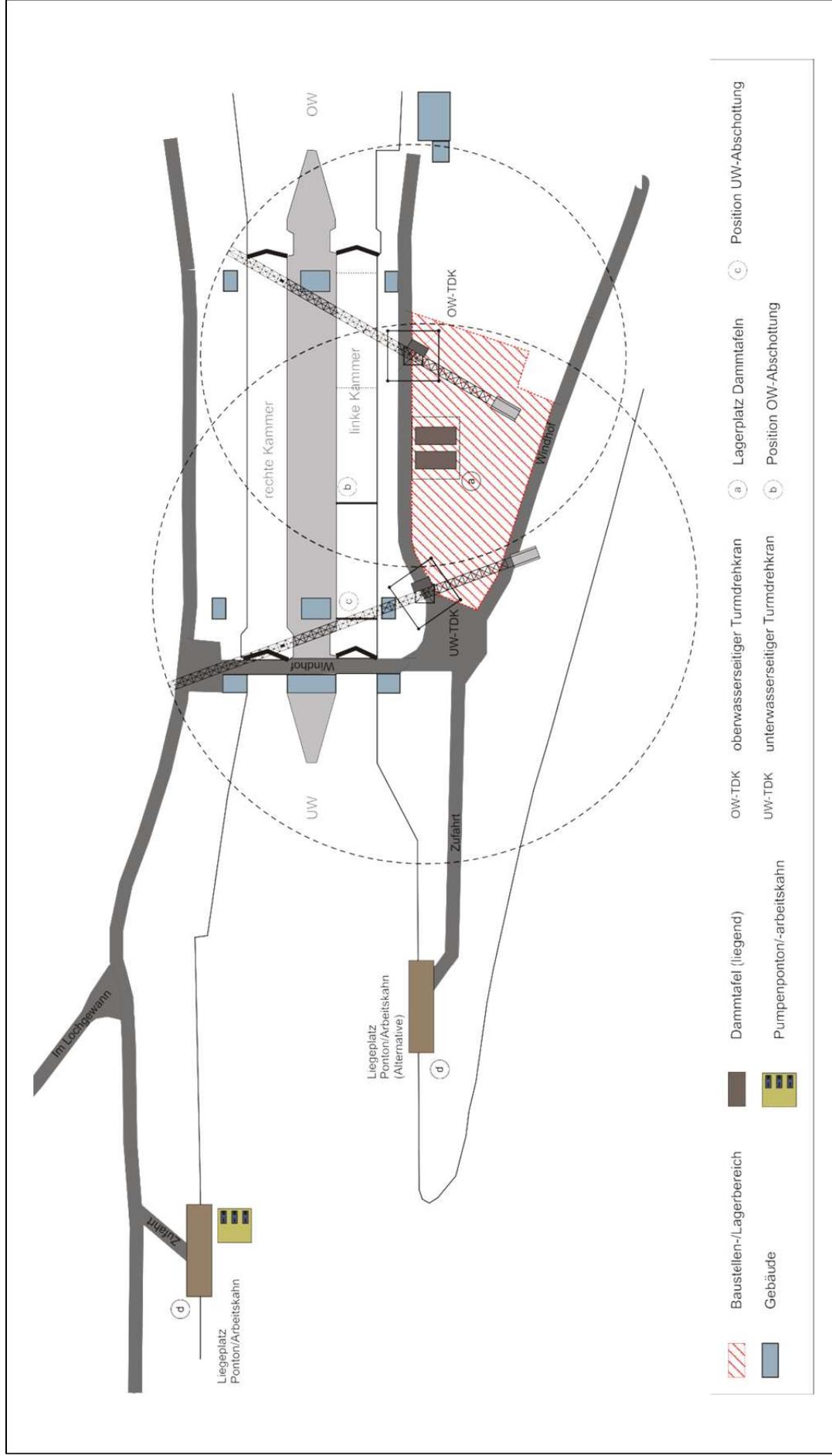
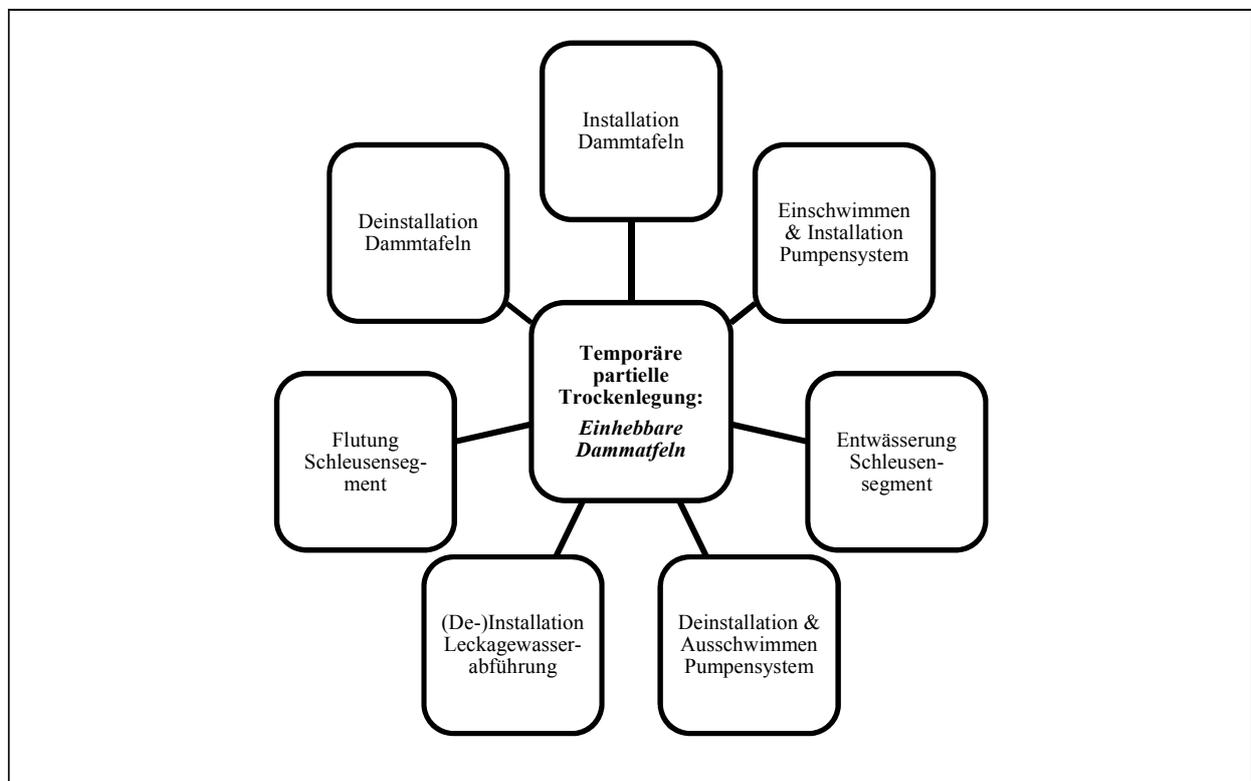


Abb. 85: Beispielhafter Baustelleneinrichtungsplan der Pilotschleuse Schwabenheim

### 6.3.3 Bauablaufplanung

Der Gesamt Ablauf der in Kap. 6.3 dargestellten Variante der temporären partiellen Trockenlegung von Schleusensegmenten kann in einzelne Teilablaufschritte, bestehend aus mehreren Vorgängen, unterteilt werden. Diese sind in Abb. 86 dargestellt und werden anschließend detaillierter beschrieben.

Für die Bestimmung des Bauablaufs und des zeitlichen Aufwands gelten die in Kap. 6.2 definierten Randbedingungen und Voraussetzungen u. a. hinsichtlich der trocken zu legenden Segmentlänge und der Sohlabtragsbreite. Kranwege werden maßgeblich durch den Aufstellort und die Geometrie der instand zu setzenden Schleuse bestimmt. Für die weiteren Berechnungen der temporären partiellen Trockenlegung werden beispielhaft die Dimensionen der Pilotschleuse Schwabenheim zu Grunde gelegt (vgl. auch Abb. 85).



**Abb. 86:** Teilablaufschritte der temporären partiellen Trockenlegung von Schleusensegmenten mittels einhebbaren Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen

**a) Installation Dammtafeln**

Der Einbau der unter- und oberwasserseitigen Dammtafeln erfolgt zeitlich parallel mithilfe der beiden in Kap. 6.3.1 aufgeführten Turmdrehkräne. Hierbei ist besonders auf die Abfolge der verschiedenen Kranvorgänge zu achten, um räumliche Kollisionen zu vermeiden.

Der Einbau der Dammtafeln kann in folgende Vorgänge gegliedert werden:

Anschlagen der oberwasserseitigen Dammtafel:

Ort:	Lagerplatz Dammtafeln (a)
Geräte:	OW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
Hilfsmittel:	Ggf. Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)
Personaleinsatz:	Baustellenpersonal zum Anklinken der Dammtafel und zur Unterstützung des Kranführers beim Anhebevorgang

Das Anschlagen der oberwasserseitigen Dammtafel kann bereits vor der eigentlichen Schleusensperrung erfolgen. Der Schiffsbetrieb wird hierbei nicht beeinträchtigt.

Lastweg OW-Turmdrehkran:

Der Lastweg des Hebezeugs beinhaltet das Heben, das Schwenken, die Katzfahrt und das Senken.

Weg:	Lagerplatz Dammtafeln (a) → Position OW-Abschottung (b)
Geräte:	OW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
Hilfsmittel:	Ggf. Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)

Hinsichtlich eines optimierten Bauablaufs erscheint es sinnvoll, das Heben der Dammtafel außerhalb des Kammerbereichs zeitlich parallel zum Schleusenbetrieb auszuführen. Dieser Vorgang kann vor der Schifffahrtssperre erfolgen (s. auch vorheriger Punkt). Die nachfolgenden Kranvorgänge beginnen somit unmittelbar mit der vorgesehenen 12 stündigen Einstellung des Schleusenbetriebs.

---

Installation der oberwasserseitigen Dammtafel:

Der Installationsvorgang der Dammtafel beinhaltet die Einfädung und das Senken in den Führungsschienen. Gegebenenfalls kann der Einbau der Dammtafel durch einen Taucher überwacht und unterstützt werden.

Ort:	Position OW-Abschottung (b)
Geräte:	OW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
Hilfsmittel:	Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)
Personaleinsatz:	1 – 2 Person auf jeder Kammerwandseite an den Einfädungsstellen der Führungsschienen

Die Dammtafel muss von geschultem Personal mithilfe des Hebezeugs vorsichtig in die Einfädungsstellen der Führungsschienen eingeführt werden. Der Absenkvorgang innerhalb der Führungsschienen erfolgt mit reduzierter Geschwindigkeit und gegebenenfalls etappenweise, um Hebekorrekturen vornehmen zu können. Die Gefahr des Verkantens kann hierdurch reduziert werden.

Anschlagen der unterwasserseitigen Dammtafel:

Ort:	Lagerplatz Dammtafeln (a)
Geräte:	UW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
Hilfsmittel:	Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)
Personaleinsatz:	Baustellenpersonal zum Anklinken der Dammtafel und zur Unterstützung des Kranführers beim Anhebevorgang

Das Anschlagen der unterwasserseitigen Dammtafel an den UW-Turmdrehkran kann durch das Baustellenpersonal unmittelbar nach dem Heben und Wegschwenken der oberwasserseitigen Dammtafel (OW-Turmdrehkran) erfolgen.

---

Lastweg UW-Turmdrehkran:

Der Lastweg des Hebezeugs beinhaltet das Heben, das Schwenken, die Katzfahrt und das Senken.

Weg:	Lagerplatz Dammtafeln (a) → Position UW-Abschottung (c)
Geräte:	UW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
Hilfsmittel:	Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)

Der Lastweg des UW-Turmdrehkrans beginnt wenn die oberwasserseitige Dammtafel ihre Einbauposition erreicht hat. Diese zeitliche Abhängigkeit vermindert das Risiko der gegenseitigen räumlichen Behinderung der Kranwege.

Installation der unterwasserseitigen Dammtafel:

Der Installationsvorgang der Dammtafel beinhaltet die Einfädung und das Senken in den Führungsschienen.

Ort:	Position UW-Abschottung (c)
Geräte:	UW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
Hilfsmittel:	Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)
Personaleinsatz:	1 – 2 Person auf jeder Kammerwandseite an den Einfädungsstellen der Führungsschienen

Die Dammtafel muss von geschultem Personal mithilfe des Hebezeugs vorsichtig in die Einfädungsstellen der Führungsschienen eingeführt werden. Der Absenkvorgang innerhalb der Führungsschienen erfolgt mit reduzierter Geschwindigkeit und gegebenenfalls etappenweise, um Hebekorrekturen vornehmen zu können. Die Gefahr des Verkantens kann hierdurch reduziert werden.

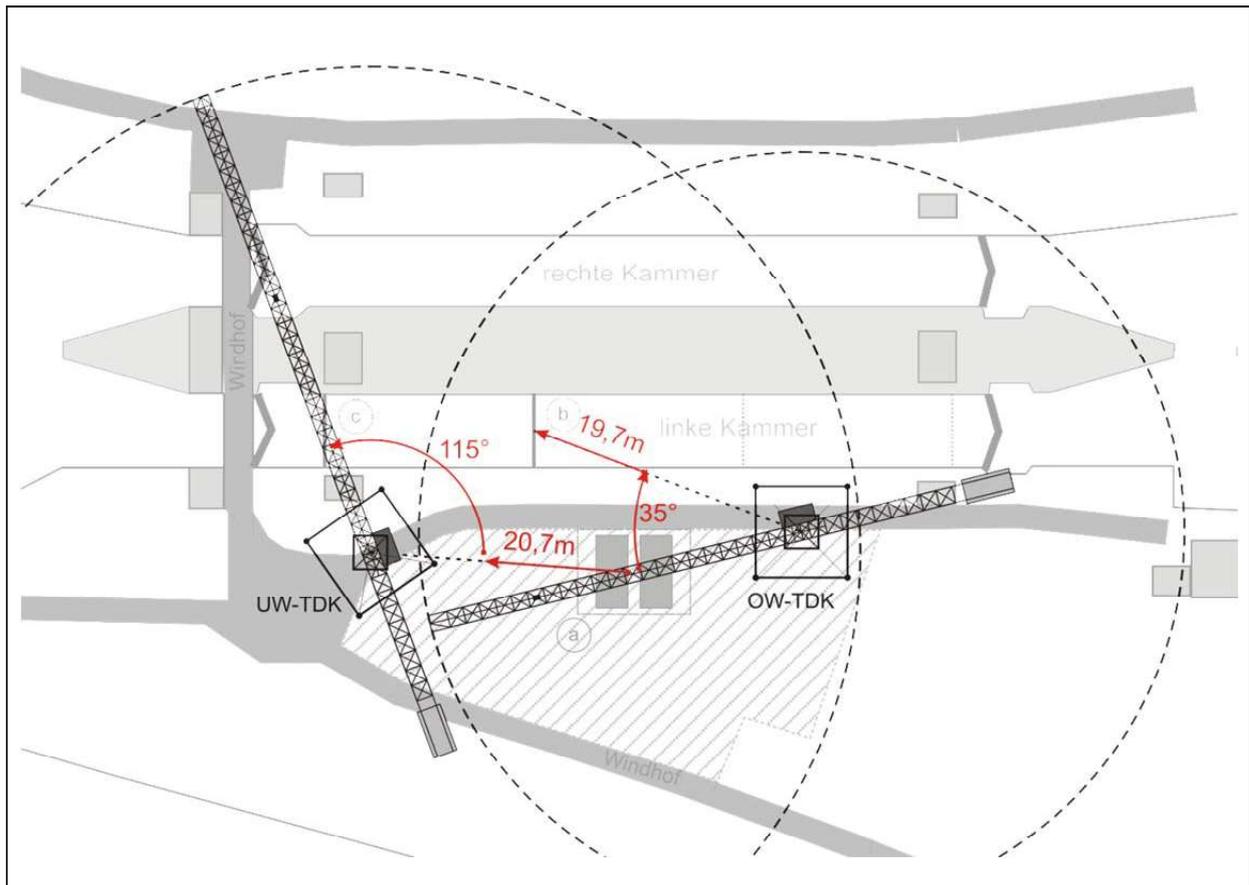
Nach BÖTTCHER, P. D. U. NEUENHAGEN, H. (1997) kann die Ermittlung der Spielzeiten für Anschlagen, Lastweg, Installation und Leerweg grundsätzlich nach dem Verfahren nach dem kritischen Weg oder dem Verfahren nach Meyran ermittelt werden. Im Rahmen dieses Projekts wird das erstgenannte Verfahren verwendet. Hierbei wird die Dauer für jeden Einzelvorgang unter Berücksichtigung der in den Herstellerdatenblättern angegebenen Krangeschwindigkeiten und der

zurückzulegenden Strecken berechnet. Abhängig von der Bauwerksgeometrie und dem Bauablauf können mehrere Teilvorgänge gegebenenfalls parallel durchgeführt werden (z. B. Heben und Schwenken). Es sollten nicht mehr als 2 Einzelvorgänge parallel angesetzt werden. Die Gesamtdauer paralleler Vorgänge bestimmt sich nach demjenigen Teilvorgang mit der längeren Zeitdauer. Die Addition der anzusetzenden Vorgänge ergibt die Gesamtspieldauer  $T$ .

Verwertbare Zeitangaben über den Einbau der Dammtafeln (Anschlagen, Heben, Verfahren, Einfädeln, Installation) liegen nach Rückmeldungen aus der Praxis nicht vor. Die Instandsetzung von Schleusen erfolgte bislang in einer mehrmonatigen Komplettsperre und Trockenlegung der Anlage und war nicht an eng begrenzte Zeitfenster gekoppelt. Der Einbau der Revisionsverschlüsse (z. B. Dammbalken oder Dammtafeln) wurde daher in der Regel zeitlich nicht gesondert erfasst. Vor dem Hintergrund bisher gemachter Erfahrungen hinsichtlich des Bauablaufs gibt die Praxis eine zeitliche Abschätzung von 1 Stunde für den Einbau einer Dammtafel an (KLEWA 2014 und THYSSENKRUPP BAUTECHNIK GMBH 2014). Das Anschlagen der Dammtafel und der Lastweg des Krans sind hierin bereits berücksichtigt. Dieser Zeitwert wird in den weiteren Betrachtungen berücksichtigt. Die konstanten Zeiten  $t_k$  für das Anschlagen, Absetzen, das Ein-/Ausfädeln und De-/Installieren der Dammtafeln sind hierauf abgestimmt. Diese Werte sind, neben den Einzelspielzeiten und der Festlegung parallel ablaufender Teilvorgänge, in Tab. 27 aufgeführt. Die Krangeschwindigkeiten sind dem Datenblatt des Herstellers (LIEBHERR 2014) entnommen. Der Berechnung liegt der zeitlich kritischste Fall zu Grunde, wenn die Dammtafeln nahe den Häuption platziert werden (s. Abb. 87).

**Tab. 27:** Einbau Dammtafeln: Darstellung der Spielzeit nach dem kritischen Weg (Beispiel: Pilotschleuse Schwabenheim)

Teilvorgang	Strecke	Geschwindigkeit	Dauer	parallel	
<b>Oberwasserseitige Dammtafel</b>					
1	Anschlagen	-	10 min		
2	Heben	10 m	20 m/min	0,5 min	
3	Katzfahren	20 m	0 – 100 m/min Annahme: 10 m/min	2,0 min	4
4	Schwenken	0,10 U	0,6 U/min	0,17 min	3
5	Senken	5 m	20 m/min	0,25 min	
6	Installation	-	-	45 min	
			<b>Summe:</b>	<b>57,8 min</b>	
<b>Unterwasserseitige Dammtafel</b>					
1	Anschlagen	-	10 min		
2	Heben	10 m	20 m/min	0,5 min	
3	Katzfahren	21 m	0 – 100 m/min Annahme: 10 m/min	2,1 min	4
4	Schwenken	0,32 U	0,6 U/min	0,6 min	3
5	Senken	5 m	20 m/min	0,25 min	
6	Installation	-	-	45 min	
			<b>Summe:</b>	<b>57,9 min</b>	



**Abb. 87:** Kranwege zur Bestimmung der Spielzeiten zum Einbau der Dammtafeln

### b) Einschwimmen und Installation Pumpensystem

Das Einschwimmen des Pumpenpontons/-arbeitskahns und der Anschluss des Pumpengesamtsystems erfolgt nach folgendem Ablaufschritt:

- Weg: UW-Liegeplatz Ponton/Arbeitskahn (d) → Position UW-Abschottung (c)
- Geräte: Ponton/Arbeitskahn
- Personaleinsatz: Mind. 2 Personen auf dem Ponton/Arbeitskahn zur Vertäuung und zum Anschluss des Pumpengesamtsystems an das Saugrohr. Mind. 1 Person je Kammerseite zur Vertäuung des Pontons/Arbeitskahns auf der Landseite.

Der Pumpenponton/-arbeitskahn wird direkt an die unterwasserseitige Dammtafel herangeschwommen und an Vertäuungseinrichtungen (z. B. Poller) mithilfe von Tauen an den Kammerwänden oder auf den Kammerplattformen fixiert (vgl. Abb. 88). Das Pumpensystem wird anschließend mittels eines Saugzwischen-schlauchs an dem an der Dammtafel befestigten Saugrohr angeschlossen.



### c) Entwässerungsvorgang der Schleusensegmente

Der Entwässerungsvorgang startet unmittelbar im Anschluss an die Installation der Dammtafeln und dem Anschluss des Pumpensystems. Es kann folgende Abfolge differenziert werden:

#### Entwässerung mittels Drehkolbenpumpe:

Ort:	Position UW-Abschottung (c)
Geräte:	3x Drehkolbenpumpe des Typs Börger XL 5300
Personaleinsatz:	2 – 3 Personen zum Anschluss der Saugleitungen und Überwachung des Pumpensystems

Nach Kap. 6.2 wird die Länge des trocken zu legenden Schleusensegments zu 35 m, die maximale Abtragsbreite (Addition der Breiten aller Abtragsstreifen) zu 15 m angenommen. Unter Annahme dieser Geometrie beträgt die Entwässerungszeit der Drehkolbenpumpe nach Tab. 25:

$$T_{XL\ 5300} = 27\ \text{min}$$

Ergebnisse der Entwässerungszeiten für Schleusensegmente mit hiervon abweichenden Randbedingungen können entweder ebenfalls Tab. 25 entnommen oder mithilfe der Gleichung ( 12 ) berechnet werden.

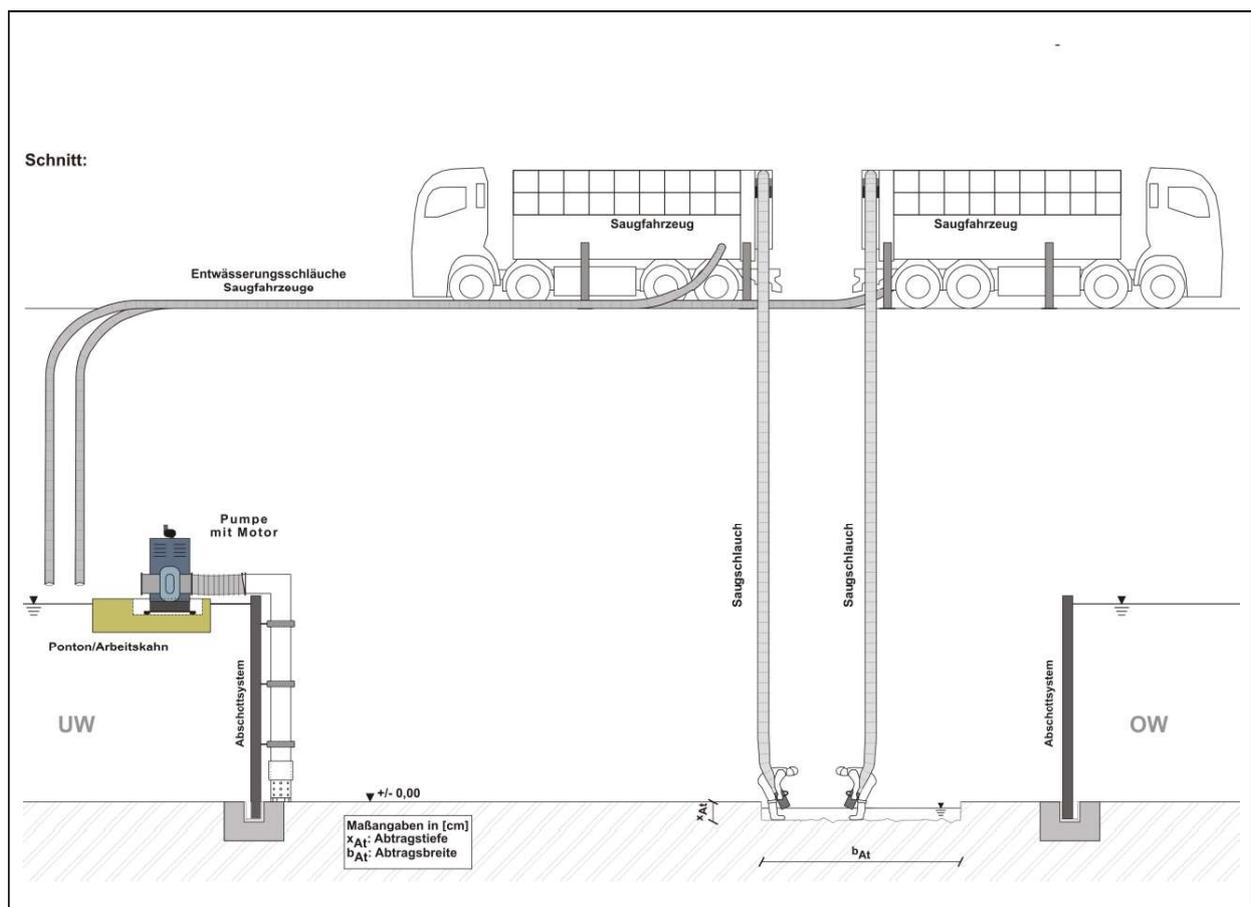
#### Aktivierung Sauglanze und Einbringen Baustellenpersonal

Ab einer Wasserspiegelhöhe von 10 – 20 cm ist die Sauglanze am Saugrohr der Drehkolbenpumpe händisch durch Lösen des Bajonettverschlusses zu aktivieren. Hierzu wird Baustellenpersonal mithilfe eines Krans und eines Personenbeförderungskorbs in die Schleusenkammer eingebracht. Restwasser kann manuell durch geeignete Wasserschieber der Sauglanze zugeführt werden (vgl. Kap. 5.4.4). Eine Ermittlung der Spielzeiten für das Einbringen des Baustellenpersonals und das Aktivieren der Sauglanze ist nicht notwendig, da diese Vorgänge parallel zum eigentlichen Entwässerungsvorgang erfolgen und für die Bestimmung der Gesamtdauer des Bauablaufs irrelevant sind.

Entwässerung mittels Saugfahrzeugen:

Ort:	Position abgetragener Sohlbereich bzw. Bereich mit stehendem Restwasser
Geräte:	2x Saugfahrzeug des Typs ESE 32
Hilfsmittel:	Je Saugfahrzeug ein Saugschlauch
Personaleinsatz:	Je Saugfahrzeug eine Person innerhalb der Schleusenammer zur manuellen Führung der Saugschläuche

Die Entwässerung der abgetragenen Sohlbereiche selbst bzw. des gegebenenfalls stehenden Restwassers kann ausschließlich über den Einsatz von Saugfahrzeugen erfolgen (vgl. Kap. 5.4.4). Die Saugfahrzeuge sind auf Höhe des zu entwässernden Bereichs zu platzieren. Der Saugschlauch jedes Saugfahrzeugs wird mittels des Schwenkarms in das Schleusensegment eingebracht. Während des Saugvorgangs ist der Saugschlauch jeweils von einer geschulten Person zu führen (vgl. Abb. 89).



**Abb. 89:** Entwässerung des abgetragenen Sohlbereichs mittels Saugfahrzeugen

Die maximale Abtragsbreite (Addition der Breiten aller Abtragsstreifen) beträgt nach Kap. 6.2 15 m. Unter zu Grunde Legung dieser Geometrie beträgt die Entwässerungszeit der Saugfahrzeuge nach Tab. 25:

$$T_{\text{ESE 32}} = 29 \text{ min}$$

Ergebnisse der Entwässerungszeiten für Schleusensegmente mit hiervon abweichenden Abtragsbreiten der Sohle können Tab. 25 entnommen oder mithilfe der Gleichung ( 12 ) berechnet werden.

Eine Ermittlung der Spielzeit für das Einbringen des geschulten Arbeiters zur Führung des Saugschlauchs ist nicht notwendig, da dieser Vorgang parallel zum eigentlichen Entwässerungsvorgang erfolgt und für die Bestimmung der Gesamtdauer des Bauablaufs irrelevant ist.

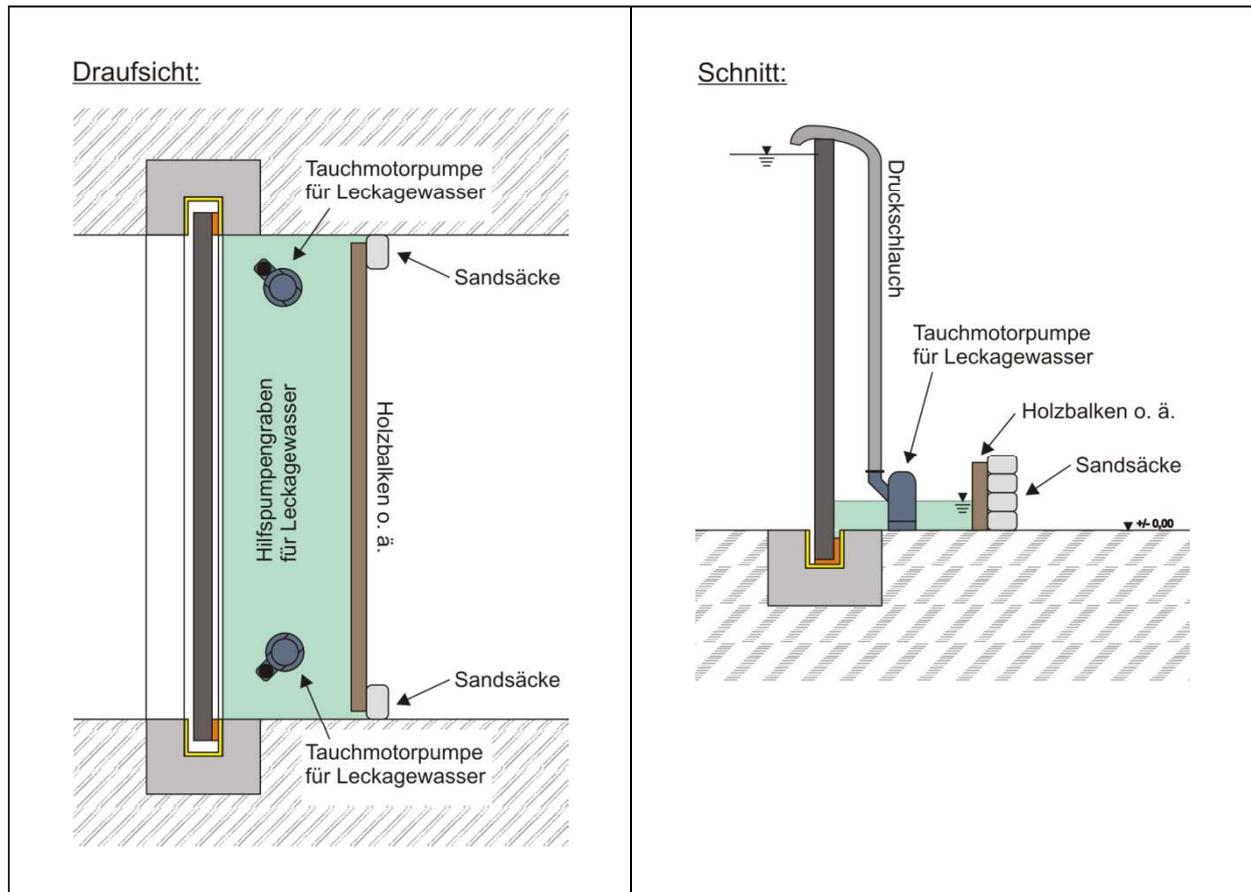
Die Gesamtzeit für den Entwässerungsvorgang setzt sich aus den Einzelzeiten der Pumpvorgänge mittels der Drehkolbenpumpen Börger XL 5300 und der Saugfahrzeuge RSP ESE 32 zusammen:

$$T_{\text{Entw.ges}} = T_{\text{XL5300}} + T_{\text{ESE 32}} = 56 \text{ min}$$

#### **d) Installation Leckagewasserabführung**

Ort:	UW- und OW-Dammtafel innerhalb des trockengelegten Schleusen-segments
Geräte:	Tauchmotorpumpen entsprechender Größe und Anzahl
Hilfsmittel:	Sandsäcke, Holzbalken o. ä.
Personaleinsatz:	Baustellenpersonal zum Einrichten der Hilfspumpengraben und Einbringen der Tauchmotorpumpen

Das durch die Abschottungssysteme eindringende Leckagewasser ist z. B. mittels Tauchmotorpumpen des Typs Mast T 20 in einem zu installierenden Hilfspumpengraben abzuführen. Der Hilfspumpengraben ist ohne weitere Geräte z. B. mittels Sandsäcken oder parallel zu den Dammtafeln eingelegten Holzbalken zu realisieren (vgl. Abb. 90).



**Abb. 90:** Mögliche Form eines Hilfspumpengrabens zur Sammlung des Leckagewassers in der Draufsicht (links) und einem Schnitt (rechts)

Es wird davon ausgegangen, dass die installierten Dammtafeln ausreichend dicht sind, so dass der Aufbau dieser Hilfspumpengräben und das Einstellen der Tauchmotorpumpen unmittelbar nach dem eigentlichen Entwässerungsvorgang parallel der Instandsetzungsarbeiten durchgeführt werden können. Die Ermittlung der Zeitspannen dieser Vorgänge ist nicht notwendig, da dieser Vorgang zu Beginn und parallel der Instandsetzungsarbeiten erfolgt und für die Bestimmung der Gesamtdauer des Bauablaufs irrelevant ist.

#### e) Deinstallation und Ausschwimmen Pumpensystem

Ort:	Position UW-Abschottung (c) → UW-Liegeplatz Ponton/Arbeitskahn (d)
Geräte:	Ponton/Arbeitskahn
Personaleinsatz:	Mind. 2 Personen auf dem Ponton/Arbeitskahn zur Deinstallation des Pumpengesamtsystems.

Die Drehkolbenpumpe des Typs XL 5300 kann unmittelbar nach Beendigung des Entwässerungsvorgangs und dem Trockenlegen des Schleusensegments von dem Saugrohr abgekoppelt werden. Das Pumpengesamtsystem auf dem Ponton/Arbeitskahn kann parallel zu den Instandsetzungsarbeiten nach UW ausgeschwommen und im Vorhafen an der dafür vorgesehenen Anlegestelle positioniert werden. Eine Ermittlung der Spielzeiten ist für diese Vorgänge daher nicht relevant.

Der Saugschlauch des Saugfahrzeugs wird ebenfalls parallel zu den Instandsetzungsvorgängen eingefahren. Auf die Ermittlung der Spielzeiten kann deshalb ebenfalls verzichtet werden.

#### **f) Deinstallation Leckagewasserabführung**

Der vollständige Abbau der Hilfspumpengräben und das Ausheben der Tauchmotorpumpen Mast T 20 erfolgt kurz vor Beendigung der Instandsetzungsarbeiten. Die Zeitdauer des Deinstallationsvorgangs ist für die Bestimmung der Gesamtdauer des Bauablaufs irrelevant und wird demzufolge nicht ermittelt.

#### **g) Flutung der Schleusensegmente**

Ort: Position UW-Abschottung (b)

Geräte: jeweilige Flutungsblenden: Betätigung über Seilzugmechanismus bzw. Öffnungsstangen o. ä.

Personaleinsatz: jeweils 1 Person pro Flutungsblende

Unmittelbar nach Beendigung der Instandsetzungsarbeiten (inklusive Ausheben aller daran beteiligten Arbeitsmaschinen und Verlassen des Baustellenpersonals aus dem Schleusensegment) erfolgt die Flutung des trocken gelegten Schleusensegments. Die in Kap. 6.3.1 beschriebenen Flutungsblenden in der unterwasserseitigen Dammtafel können z. B. über einen Seilzugmechanismus (ggf. mit Winde) oder über Öffnungsstangen sukzessive geöffnet werden (vgl. Abb. 78). Dies garantiert eine kontrollierte Einströmung des Wassers in das Schleusensegment.

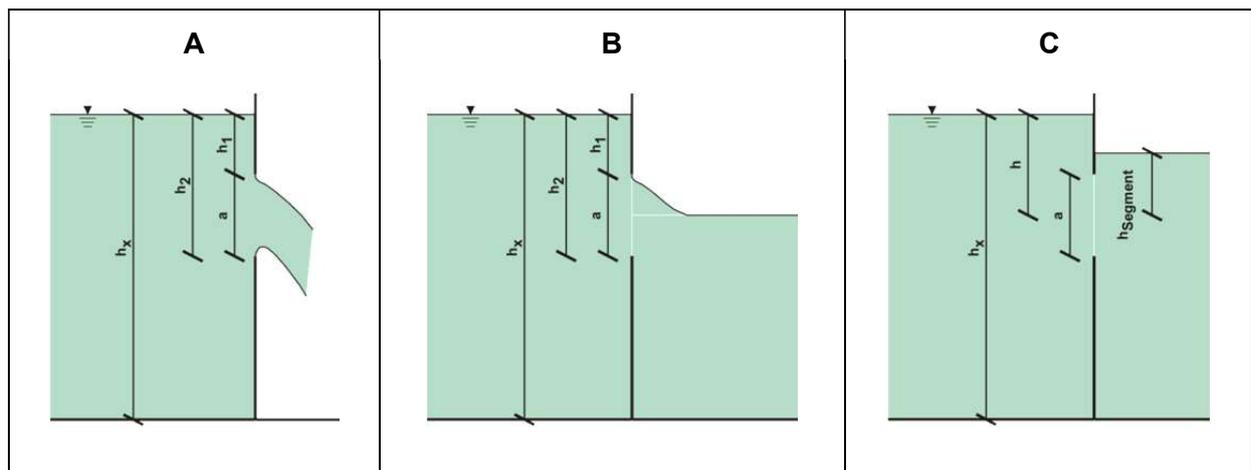
---

Es wird für die Flutungsblenden ein rechteckiger Querschnitt angenommen. Es gelten die in Kap. 6.3.1 definierten Annahmen (vgl. auch Abb. 78):

- a: Höhe der Flutungsblende: 0,20 m
- b: Breite der Flutungsblende: 0,40 m
- $h_1$ : Tiefe der Öffnungsoberkante: 3,00 m
- $h_2$ : Tiefe der Öffnungsunterkante: 3,20 m
- h: Mittlere Tiefe der Öffnung außerhalb des Schleusensegments: 3,10 m
- $h_{\text{Segment}}$ : Mittlere Tiefe der Öffnung im Schleusensegment (bei vollständiger Überstauung)
- $N_{\text{Blende}}$ : Anzahl der Flutungsblenden: 4 in unterwasserseitiger Dammtafel
- g: Erdbeschleunigung:  $9,81 \text{ m/s}^2$
- $h_x$ : UW-Stand (= konstant)

Für die Berechnung der Volumenströme des einströmenden Wassers bzw. der Gesamtdauer der vollständigen Flutung des Schleusensegments sind 3 verschiedene Füllzustände zu betrachten (vgl. Abb. 91):

- A) Flutung Schleusensegment bis Öffnungsunterkante
- B) Flutung Schleusensegment zwischen Öffnungsunterkante und –oberkante
- C) Flutung Schleusensegment ab Öffnungsoberkante



**Abb. 91:** Füllzustände Schleusensegment: A) bis Öffnungsunterkante (links, in Anlehnung an FREIMANN, R. 2012, S. 62f.), B) zwischen Öffnungsunterkante und –oberkante (Mitte) und C) ab Öffnungsoberkante (rechts, in Anlehnung an FREIMANN, R. 2012, S. 62f.)

Unter der Annahme eines rechteckigen Blendenquerschnitts, ergeben sich nach FREIMANN, R. (2012, S. 61ff.) die folgenden Volumenströme für die Flutungszustände A) und C):

A) Flutung Schleusensegment bis Öffnungsunterkante:

Für das Verhältnis der Blendenhöhe zur mittleren Tiefe der Öffnungsachse  $a/h < 0,2$  gilt:

$$Q_{\text{Blende,A}} = N_{\text{Blende}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot (\mu_A \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h}) \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right] \quad (13)$$

C) Flutung Schleusensegment ab Öffnungsoberkante:

Das Wasser fließt in diesem Fall nicht ins Freie, sondern der Ausfluss erfolgt unter Gegendruck bei vollständiger Überstauung des Ausströmquerschnitts. Es gilt:

$$\begin{aligned} Q_{\text{Blende,C}} &= N_{\text{Blende}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot (\mu_A \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h}) \\ &= N_{\text{Blende}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot (\mu_A \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot (h - h_{\text{Segment}})}) \end{aligned} \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right] \quad (14)$$

B) Flutung Schleusegment zwischen Öffnungsunterkante und –oberkante:

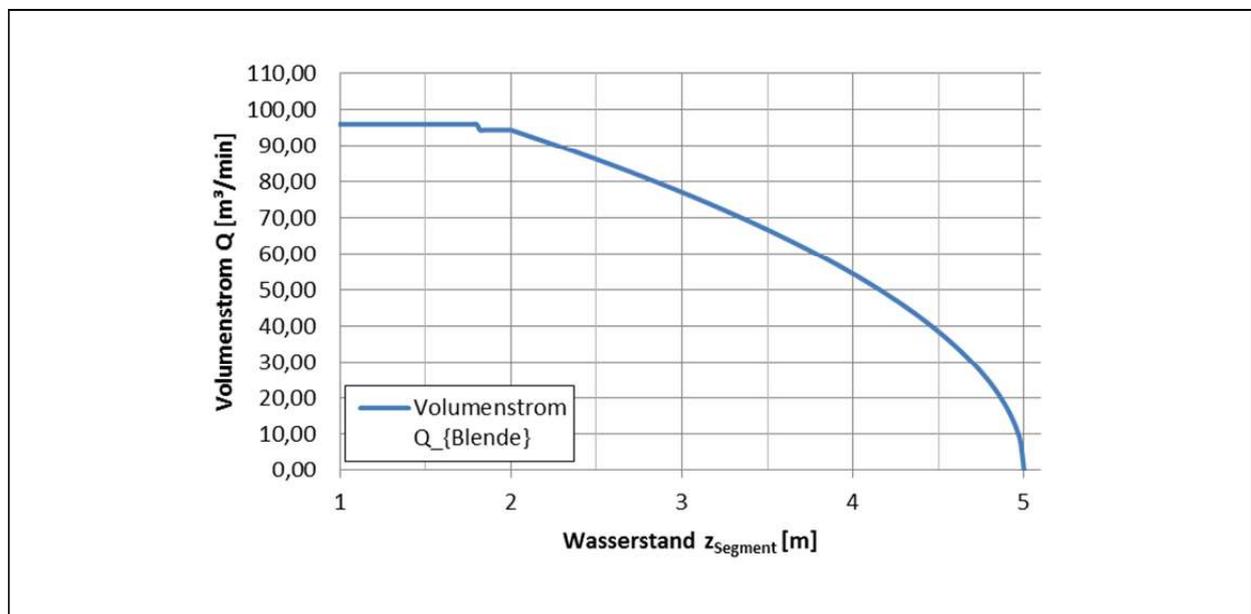
Dieser Strömungsvorgang ist physikalisch keinem der beiden Zustände A) oder C) zuzuordnen. Der sich einstellende Volumenstrom wird sich zwischen den Grenzen  $[Q_{\text{Blende,A}}; Q_{\text{Blende,C}}(\Delta h = 3,0 \text{ m})]$  einstellen. Auf der sicheren Seite liegend wird für den Zustand B) folgender konstante Volumenstrom angenommen:

$$Q_{\text{Blende,B}} = N_{\text{Blende}} \cdot 60 \frac{\text{s}}{\text{min}} \cdot (\mu_A \cdot a \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot 3,0}) \quad \left[ \frac{\text{m}^3}{\text{min}} \right] \quad (15)$$

Der Ausflussbeiwert  $\mu_A$  kann nach FREIMANN, R. (2012, S. 61) für das Verhältnis  $a/b = 0,5$  mit  $\mu_A = 0,64$  angenommen werden. Die Volumenströme der verschiedenen Flutungszustände sind nach der Berechnung gemäß den Gleichungen ( 13 ) bis ( 15 ) in Tab. 28 dargestellt. Abb. 92 zeigt den Verlauf des Volumenstroms in Abhängigkeit des Wasserstandes  $z_{\text{Segment}}$  in dem zu flutenden Schleusensegment.

**Tab. 28:** Volumenströme der verschiedenen Flutungszustände

Flutungszustand	Volumenstrom des einströmenden Wassers Q [m <sup>3</sup> /min]
A) Flutung Schleusensegment bis Öffnungsunterkante	95,8
B) Flutung Schleusegment zwischen Öffnungsunterkante und -oberkante	94,2
C) Flutung Schleusensegment ab Öffnungsoberkante	$54,4 \cdot \left( \sqrt{(3,1 - h_{segment})} \right)$



**Abb. 92:** Wasserstandsabhängiger Verlauf des Volumenstroms

Die Zeitspanne der vollständigen Flutung des Schleusensegments auf UW-Niveau (5,0 m) berechnet sich unter Berücksichtigung von Tab. 28 zu:

$$T_{Flutung,ges} = T_{Flutung,A} + T_{Flutung,B} + T_{Flutung,C} \approx \underline{\underline{41 \text{ min}}}$$

Mit:

$$T_{Flutung,A} = \frac{\overbrace{1_S \cdot 12,5 \cdot (5,0 - h_2)}^{\text{Regelquerschnitt}} + \overbrace{2 \cdot b_{At} \cdot x_{At} \cdot (5,0 - h_2)}^{\text{Kammerwände}} + \overbrace{b_{At} \cdot x_{At} \cdot (12,5 + 2 \cdot x_{At})}^{\text{Kammersohle}}}{Q_{Blende,A}} \approx \underline{\underline{10 \text{ min}}}$$

$$T_{\text{Flutung,B}} = \frac{\overbrace{l_S \cdot 12,5 \cdot a}^{\text{Regelquerschnitt}} + \overbrace{2 \cdot b_{\text{At}} \cdot x_{\text{At}} \cdot a}^{\text{Kammerwände}}}{Q_{\text{Blende,B}}} \approx \underline{2 \text{ min}}$$

$$T_{\text{Flutung,C}} = \frac{\overbrace{l_S \cdot 12,5 \cdot h_1}^{\text{Regelquerschnitt}} + \overbrace{2 \cdot b_{\text{At}} \cdot x_{\text{At}} \cdot h_1}^{\text{Kammerwände}}}{Q_{\text{Blende,C}}} \approx \underline{29 \text{ min}}$$

Die Berechnung der Zeitdauer für den Flutungsvorgang C wurde aufgrund des wasserspiegelabhängigen Volumenstroms  $Q_{\text{Blende,C}}$  auf der sicheren Seite angenähert.

Die obigen Zeitangaben gelten für die folgenden und in Kap. 6.2 festgelegten Parameter:

- $l_S$  Länge des trockenzulegenden Schleusensegmentes: 35 m
- $x_{\text{At}}$  Abtragtiefe an Kammerwänden und –sohle: 0,5 m
- $b_{\text{At}}$  Abtragsbreite der abgetragenen Wand-/Sohllamellen: 15 m

## h) Deinstallation Dammtafeln

Die Lasthaken der UW- und OW-Turmdrehkräne können bereits während des Flutungsvorgangs an den jeweiligen Dammtafeln angeschlagen werden. Der Ausbau der Dammtafeln schließt zeitlich unmittelbar an den Flutungsvorgang des Schleusensegments an und erfolgt nahezu analog dem Einbau in umgekehrter Reihenfolge. Der Ausbau der unter- und oberwasserseitigen Dammtafel erfolgt zeitlich parallel mithilfe der beiden in Kap. 6.3.1 aufgeführten Turmdrehkräne. Hierbei ist wiederum auf die Abfolge der verschiedenen Kranvorgänge im Besonderen zu achten, um räumliche und zeitliche Kollisionen zu vermeiden.

### Deinstalltion der unterwasserseitigen Dammtafel:

Der Deinstallationsvorgang der Dammtafel beinhaltet das Anschlagen, das Ausfädeln und das Herausheben aus den Führungsschienen.

Ort: Position UW-Abschottung (c)

Geräte: UW-Turmdrehkran - 3150 HC 60

- Hilfsmittel: Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)
- Personaleinsatz: 1 – 2 Person auf jeder Kammerwandseite an den Einfädungsstellen der Führungsschienen

Die Dammtafel muss von geschultem Personal mithilfe des Hebezeugs vorsichtig aus den Führungsschienen ausgefädelt werden. Der Hebevorgang innerhalb der Führungsschienen erfolgt mit reduzierter Geschwindigkeit und gegebenenfalls etappenweise. Hebekorrekturen können hierdurch vorgenommen werden, um das Risiko des Verkantens gering zu halten.

#### Lastweg UW-Turmdrehkran

Der Lastweg des Hebezeugs beinhaltet das Heben, das Schwenken, die Katzfahrt und das Senken.

- Weg: Position UW-Abschottung (c) → Lagerplatz Dammtafeln (a)
- Geräte: UW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
- Hilfsmittel: Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)

#### Absetzen der unterwasserseitigen Dammtafel:

- Ort: Lagerplatz Dammtafeln (a)
- Geräte: UW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
- Hilfsmittel: Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)
- Personaleinsatz: Baustellenpersonal zur Unterstützung des Kranführers beim Absetzvorgang und zum Ausklinken der Dammtafel
-

Deinstallation der oberwasserseitigen Dammtafel:

Der Deinstallationsvorgang der Dammtafel beinhaltet das Anschlagen, das Ausfädeln und das Herausheben aus den Führungsschienen.

Ort:	Position OW-Abschottung (b)
Geräte:	OW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
Hilfsmittel:	Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)
Personaleinsatz:	1 – 2 Person auf jeder Kammerwandseite an den Einfädelungsstellen der Führungsschienen

Die Dammtafel muss von geschultem Personal mithilfe des Hebezeugs vorsichtig aus den Führungsschienen ausgefädelt werden. Der Hebevorgang innerhalb der Führungsschienen erfolgt mit reduzierter Geschwindigkeit und gegebenenfalls etappenweise. Hebekorrekturen können hierdurch vorgenommen werden, um ein Verkanten des Abschottungssystems zu vermeiden. Die Deinstallation der unter- und oberwasserseitigen Dammtafel erfolgt zeitlich parallel.

Der Lastweg des OW-Turmdrehkrans beginnt, sobald die unterwasserseitige Dammtafel am Lagerplatz abgesetzt wurde. Diese zeitliche Abhängigkeit vermindert das Risiko der gegenseitigen räumlichen Behinderung der Kranwege.

Lastweg OW-Turmdrehkran

Der Lastweg des Hebezeugs beinhaltet das Heben, das Schwenken, die Katzfahrt und das Senken.

Weg:	Position OW-Abschottung (b) → Lagerplatz Dammtafeln (a)
Geräte:	OW-Turmdrehkran - 3150 HC 60
Hilfsmittel:	Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)

Absetzen der oberwasserseitigen Dammtafel:

Ort:	Lagerplatz Dammtafeln (a)
Geräte:	OW-Turmdrehkran - 3150 HC 60

---

Hilfsmittel: Verwendung einer speziellen Anhängervorrichtung für Dammtafeln (s. Kap. 6.3.1 und Abb. 80)

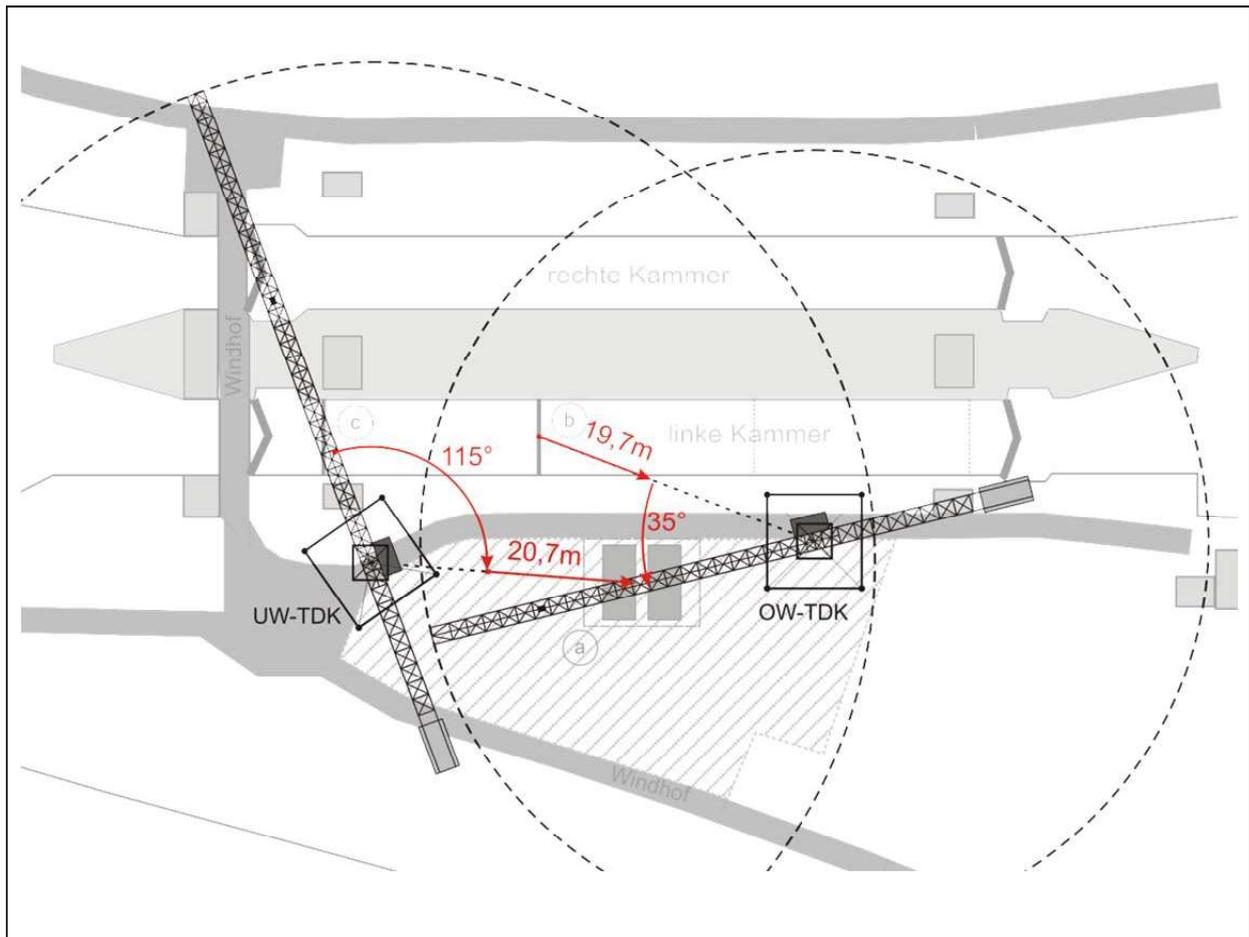
Personaleinsatz: Baustellenpersonal zur Unterstützung des Kranführers beim Absetzvorgang und zum Ausklinken der Dammtafel

Die Schleuse kann bereits nach dem vorausgehenden Lastweg des Hebezeugs wieder ohne Einschränkung für den Schiffsverkehr geöffnet werden. Das Absetzen der oberwasserseitigen Dammtafel erfolgt außerhalb des Schleusenbereichs und beeinträchtigt die Schifffahrt nicht.

Die Bestimmung der Einzelspielzeiten und die Festlegung der parallel ablaufenden Teilvorgänge sind in Tab. 29 aufgeführt. Die Krangeschwindigkeiten sind dem Datenblatt des Herstellers (LIEBHERR 2014) entnommen. Abb. 93 gibt einen Überblick über die Bewegungen der Turmdrehkräne.

**Tab. 29:** Ausbau Dammtafeln: Darstellung der Spielzeit nach dem kritischen Weg (Beispiel Pilotschleuse Schwabenheim)

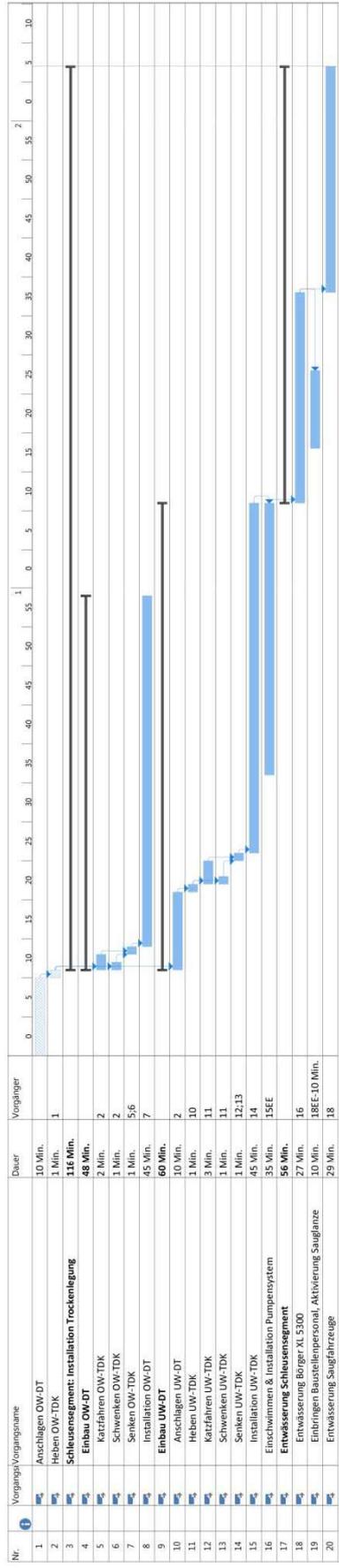
Teilvorgang	Strecke	Geschwindigkeit	Dauer	parallel
<b>Unterwasserseitige Dammtafel</b>				
1 Deinstallation	-	-	45 min	
2 Heben	5 m	20 m/min	0,25 min	
3 Katzfahren	21 m	0 – 100 m/min Annahme: 10 m/min	2,1 min	4
4 Schwenken	0,32 U	0,6 U/min	0,6 min	3
5 Senken	10 m	20 m/min	0,5 min	
6 Absetzen	-	-	10 min	
		<b>Summe:</b>	<b>57,9 min</b>	
<b>Oberwasserseitige Dammtafel</b>				
1 Deinstallation	-	-	45 min	
2 Heben	5 m	20 m/min	0,25 min	
3 Katzfahren	20 m	0 – 100 m/min Annahme: 10 m/min	2,0 min	4
4 Schwenken	0,10 U	0,6 U/min	0,17 min	3
5 Senken	10 m	20 m/min	0,5 min	
6 Absetzen	-	-	10 min	
		<b>Summe:</b>	<b>57,8 min</b>	



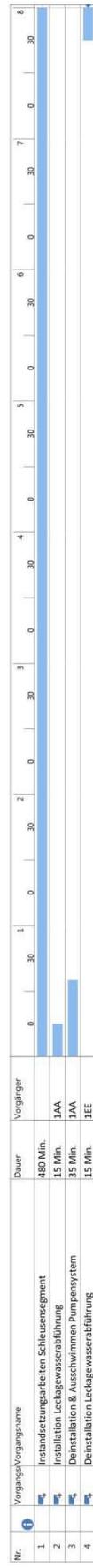
**Abb. 93:** Kranwege zur Bestimmung der Spielzeiten zum Ausbau der Dammtafeln

Einzelne Teilablaufschritte oder Vorgänge können bei entsprechender Koordination zeitlich parallel ablaufen. Die Gesamtdauer der temporären partiellen Trockenlegung kann hierdurch kürzer sein, als die Aufsummierung aller Zeitspannen der Einzelvorgänge. Abb. 94 veranschaulicht alle parallelen und voneinander abhängigen Teilablaufschritte inklusive ihrer Einzelvorgänge. Alle Zeitansätze sind auf ganze Minuten gerundet.

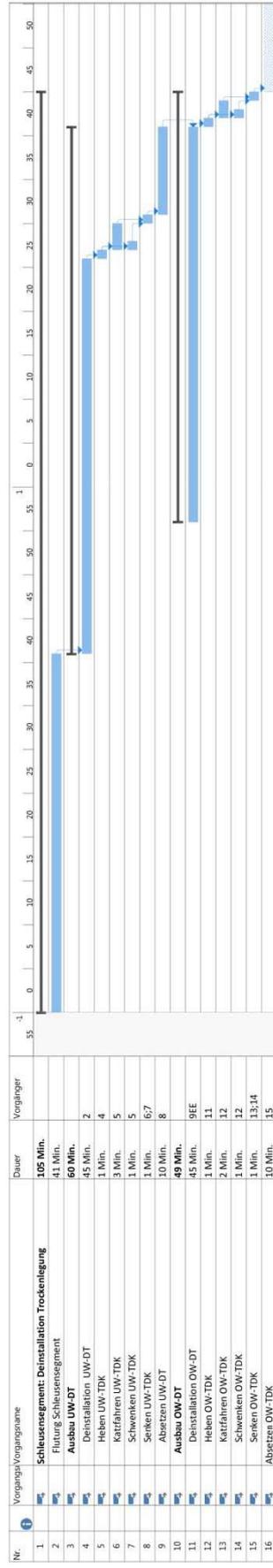
**Ablaufplan: Trockenlegung, Schleusensegment**



**Ablaufplan: Schleuseninstandsetzung**



**Ablaufplan: Flutung Schleusensegment**



**Abb. 94:** Einhebbare Dammtafel in vorgefertigten Führungsschienen: Ablaufplan der temporären partiellen Trockenlegung

### 6.3.4 Systembewertung

Die Ausführungen in Kap. 6.3.3 und die Darstellung des Bauablaufs in Abb. 94 zeigen eine Gesamtdauer der temporären partiellen Trockenlegung mittels der einhebbaren Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen von 221 min (= 3 h 41 min). Die in BAW (2014) geforderten maximal 4 Stunden für den Gesamtablauf werden demzufolge eingehalten. Das Abschottungssystem der einhebbaren Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen erfüllt unter den in den vorangegangenen Kapiteln definierten Randbedingungen und den getroffenen Annahmen das Kriterium „Zeitaufwand“. Die Entwicklung und Durchführung eines Abschottungssystems für die temporäre partielle Trockenlegung erscheint demzufolge grundsätzlich möglich und mit hoher Wahrscheinlichkeit realisierbar. Im Folgenden werden die kritischen Punkte dieser Trockenlegungsvariante und die während der vertiefenden Untersuchung gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnisse beleuchtet.

Die Verwendung von Dammtafeln oder deren Teilung in mehrere Dammbalken werden bereits jahrelang z. B. für Revisionsverschlüsse von Schleusenammern oder im Hochwasserschutz erfolgreich in der Praxis eingesetzt. Die hierdurch vorliegenden Erfahrungswerte können direkt für diese Abschottungsvariante verwendet werden. Die einzubauenden Führungsschienen, der Lastabtrag und deren Statik orientieren sich an bisherigen in Schleusenammern eingebauten Widerlagern der Revisionsverschlüsse. Die Dammtafeln können gegen Kammerwände und -sohle mit dem üblicherweise dafür vorgesehenen wasserbeständigen EPDM abgedichtet werden (vgl. Kap. 6.3.1).

Es wird besonders darauf hingewiesen, dass für den Einbau von Dammtafeln unter hohem Zeitdruck hinsichtlich der vorliegenden geometrischen Abmessungen, der Massendimensionen und des zeitlichen Ablaufs keine Praxis- und Erfahrungswerte vorliegen. Aus diesem Grund sind die getroffenen Annahmen, die ermittelten Zeitwerte und Arbeitsabläufe mit Unsicherheiten behaftet. Es erscheint sinnvoll, den gesamten Ablauf der temporären partiellen Trockenlegung in mehreren Probeläufen im Vorfeld der eigentlichen Instandsetzungsmaßnahmen an der Pilotschleuse durchzuführen. Hierdurch können mögliche Schwachstellen oder Ablaufschwierigkeiten erkannt, ggf. beseitigt und zeitliche Annahmen verifiziert werden. Praxisversuche bieten außerdem den Vorteil, dass das an der geplanten Maßnahme beteiligte Baustellenpersonal den Bauablauf unter Zeitdruck einüben und möglicherweise optimieren kann. Beispielhaft zu nennen sind an dieser Stelle u. a. der Transport der Dammtafeln, die Einfädelerung der Dammtafeln in die Führungsschienen, das Führen des Saugschlauchs der Saugfahrzeuge etc.

Die Entwässerung der Schleusensegmente erfolgt mittels Drehkolbenpumpen XL 5300 und der Saugfahrzeuge. Den in Kap. 5.4.4 ermittelten Entwässerungszeiten und Pumpenfunktionen sind optimale Zulaufbedingungen des Schleusenwassers zu den Saugrohren/-schläuchen zu Grunde gelegt.

Es ist zu beachten, dass der Wasserzulauf durch Unebenheiten der Schleusensole behindert werden kann und sich u. U. Wasseransammlungen (z. B. Pfützen, Wasserlachen etc.) bilden können. Die Zuführung und Aufnahme dieser angesprochenen Wasservolumina durch die Pumpen können demzufolge verzögert erfolgen. Längere Entwässerungszeiten, als die genannten Werte, können gegebenenfalls die Folge sein, falls die Restwassermengen nicht tolerabel sind.

Wie in Kap. 6.3.1 erläutert, existieren Pontons nicht als Standardausführung am Markt. Sie sind entweder als Sonderanfertigung speziell für die vorliegenden Einsätze anfertigen zu lassen oder es kann auf bereits vorhandene gebrauchte Pontons zurückgegriffen werden, die möglicherweise einer Einsatzadaption bedürfen. Die alternative Verwendung eines Arbeitskahns mit installierten Drehkolbenpumpen erscheint aufgrund der günstigen Koordination und Navigation im Zuge des Bauablaufs lohnenswert. Es ist unbedingt darauf zu achten, dass die Saughöhe der Pumpen so gering wie möglich zu halten ist, um Kavitation zu vermeiden (vgl. Kap. 5.4.4). Dies ist auch bei der Lage der Drehkolbenpumpen auf dem einzuschwimmenden Ponton/Arbeitskahn zu berücksichtigen.

Die vorgeschlagenen Drehkolbenpumpen sind trocken selbstansaugend und stellen sich für die vorliegende Aufgabe am geeignetsten dar, um eine akzeptable Entwässerungszeit und einen geringstmöglichen Restwasserstand zu realisieren. Ein wesentlicher Faktor der Gesamtentwässerungszeit ist das Abpumpen des sich in den abgetragenen Sohlbereichen ansammelnden Wasservolumens. Eine gegenüber der aus baupraktischen Gründen angenommenen Abtragsbreite verringerte Breite trägt zur Reduzierung der Entwässerungszeit bei.

Der Einbau und die Dimensionen der Flutungsklappen in den Dammtafeln ist u. a. aus statischen und hydraulischen Gründen mit den Herstellern zu planen und zu prüfen. Das im Zuge der Flutung in die Schleusensegmente einströmende Wasser kann u. U. auf den Frischbeton der instandgesetzten Wand- und Sohlbereiche einwirken. Es sind mögliche nachteilige Auswirkungen auf die neue Vorsatzschale, wie z. B. Druck, Vermischung, Aushärtung etc., zu prüfen und auszuschließen.

Als Ergebnis der Studie kann die temporäre partielle Trockenlegung mittels einhebbarer Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen innerhalb der geforderten Zeitspanne von insgesamt 4 Stunden als voraussichtlich realisierbar eingeschätzt werden. In den vorangehenden Kapiteln wurde für einige Ablaufschritte angemerkt, dass die gewählten Zeitansätze aufgrund fehlender Praxiserfahrungen und Literaturwerte auf Annahmen beruhen. Auf diesen Sachverhalt sei an dieser Stelle noch einmal hingewiesen. Die angesetzten Zeitspannen besitzen einerseits das Potential, dass die entsprechenden Vorgänge in der Realität in einer kürzeren Zeit durchgeführt werden können. Andererseits bergen sie das Risiko, dass gewisse Zeitannahmen in der Praxis im Wert nach oben korrigiert werden müssen. Aus diesem Grund erscheint es nach jetzigem Stand sinnvoll das Zeitfenster der temporären partiellen Trockenlegung von 4 Stunden in den weiteren Planungen beizubehalten. Die auftretenden Zeitreserven

sollten nicht für Instandsetzungsarbeiten zur Verfügung gestellt werden, solange keine Verifizierung der Zeitansätze in der Praxis erfolgt ist.

### 6.3.5 Optimierungsmöglichkeiten

Die in diesem Kapitel dargestellte Abschottungsvariante durch einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen bietet u. U. hinsichtlich der Systemausführung und des Bauablaufs verschiedene Optimierungsmöglichkeiten. Diese werden im weiteren Verlauf vorgestellt und sollen als Basis zukünftiger Überlegungen und Weiterentwicklungen dienen.

Die Trockenlegung der Schleusenabschnitte soll bei schwankenden Wasserständen möglich sein (vgl. Kap. 2.2). Sofern verlässliche Wasserstandsvorhersagen für die betroffene Schleuse möglich sind, kann im Vorfeld und im Verlauf der Instandsetzungsbaustelle geprüft werden, ob von weitestgehend konstanten Wasserständen in der Schleuse ausgegangen werden kann. Auf Basis dieser aktuellen Wasserstände können die in dieser Arbeit angesetzten Zeitansätze der Entwässerung mithilfe der angegebenen Formeln fortlaufend neu berechnet werden. Kürzere Entwässerungszeiten oder der Verzicht auf eine oder mehrere Drehkolbenpumpen sind demzufolge gegebenenfalls bei niedrigeren Wasserständen möglich.

Der Vorgang des Einhebens und der Installation (bzw. der Deinstallation und des Aushebens) der Dammtafeln kann nach Einschätzung der Praxis mit ca. 60 min angenommen werden. Es ist jedoch zu beachten, dass für diesen Ablauf bisher keinerlei verlässliche Datengrundlage und Literaturwerte vorliegen. Belastbarere Zeitwerte als diese Abschätzung - möglicherweise auch kürzere Zeitspannen - können mögliche Praxistests und Wiederholungsläufe generieren.

Dem Bauablauf wurde der Einsatz von Turmdrehkränen zu Grunde gelegt. Das Ein- und Ausheben der Dammtafeln erscheint für vorliegende Aufgabe ggf. auch unter Verwendung von 2 Wippkränen (mit Nadelausleger) möglich. Zu beachten sind allerdings etwas längere Kranspielzeiten auch im Hinblick auf die weitere Verwendung der Kräne während der Instandsetzungsarbeiten.

Für differierende Wasserstände können theoretisch Dammtafeln unterschiedlicher Höhe verwendet werden. Niedrige Dammtafelhöhen haben geringere Dammtafelgewichte zur Folge, die sich ggf. positiv auf die Ein-/Aushebezeiten auswirken können. Vorstellbar erscheint z. B. auch eine dreigliedrige Dammtafel, deren Elemente je nach aktuellem Wasserstand zusammengesetzt werden können (s. Tab. 30).

**Tab. 30:** Zusammensetzbare dreigliedrige Dammtafel aus Elementen unterschiedlicher Höhe

	<b>Elementhöhe [m]</b>	<b>UW – 2,00 m</b>	<b>MW – 3,50 m</b>	<b>OW – 5,00 m</b>
<b>Element 1</b>	2,70	X	X	X
<b>Element 2</b>	1,50		X	X
<b>Element 3</b>	1,50			X
	<b>Dammtafelhöhe [m]</b>	<b>2,70</b>	<b>4,20</b>	<b>5,70</b>

Es ist wirtschaftlich und technisch abzuwägen, ob die Vorhaltung mehrerer Dammtafeln unterschiedlicher Höhe oder die Montage mehrerer Dammtafelsegmente eine mögliche Zeitersparnis rechtfertigt. Kürzere Einbebe- und Installationszeiten (bzw. Deinstallations- und Ausbebezeiten) hätten eine kürzere Gesamtdauer der temporären partiellen Trockenlegung zur Folge.

Die Flutung der Schleusensegmente erfolgt über Flutungsblenden in der UW-Dammtafel, da von Unterwasser kontinuierlich Wasser nachfließen kann. Durch das Absenken des Wasserspiegels auf UW-Stand im Vorfeld der partiellen Trockenlegung und dem geschlossenen Oberwassertor ist dies von Oberwasser her nicht möglich. Aus diesem Grund sind Flutungsblenden in der OW-Dammtafel wenig sinnvoll. Allerdings kann die Möglichkeit geprüft werden, ob während des Flutungsvorgang geregelt Wasser durch die Umläufe oder evtl. vorhandene Öffnungsblenden im Oberwassertor in die Schleusenkammer zugeführt werden kann. In diesem Fall kann auch die OW-Dammtafel mit Flutungsblenden ausgestattet werden.

Der vorgesehene Lagerplatz der Dammtafeln wird im Bauablauf als dauerhafte Einrichtung während der gesamten Baustellenzeit betrachtet. Im Fall der Pilotschleuse Schwabenheim liegt dieser mittig zwischen beiden Turmdrehkränen. Dies stellt für die Kranwege und –spielzeiten auf der sicheren Seite liegend den ungünstigsten Fall dar. Sofern der Baustellenplatzbedarf und die Baustelleneinrichtungslogistik es zu lassen, ist ein ortsveränderlicher Lagerplatz immer nahe den Einbaupositionen der Dammtafeln zu prüfen.

In den bisherigen Überlegungen wird die Annahme getroffen, dass die Dammtafeln am Lagerplatz eben gelagert werden. Hauptargument hierbei ist neben den geometrischen Abmessungen auch das große Gewicht der Abschottungssysteme. Es erscheint jedoch sinnvoll zu prüfen, ob die Dammtafeln möglicherweise auch senkrecht gelagert werden können. Dies würde neben Ersparnis von Baustellenplatz auch möglicherweise den Vorgang des Anhebens bzw. Absetzens der Dammtafeln erleichtern und beschleunigen. Zusätzlich wäre eine Inspektion und Begutachtung der Dammtafeln beidseitig möglich.

## 7 Fazit

Ziel dieses Projekts war die Erarbeitung und Gegenüberstellung prinzipieller Lösungen zur temporären partiellen Trockenlegung von Schleusen unter Betrieb. Verschiedene Entwässerungsvarianten und Abschottungssysteme wurden nach ihrer Einsatztauglichkeit und ihrer Machbarkeit sowie hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile untersucht.

Die Studie zeigte, dass die Variante ‚Einschwimmbare Dammtafeln‘ aufgrund ihres zeitlichen Aufwands und weiterer derzeit ungelöster technischer Problemstellungen nicht für die temporäre partielle Trockenlegung von Schleusen empfohlen werden kann.

Unter den vorgegebenen Randbedingungen hat sich das System ‚Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen‘ als die vorteilhafteste Variante herausgestellt. Die unter den getroffenen Annahmen und Abschätzungen berechnete Gesamtdauer des Bauablaufs verbleibt knapp unterhalb der geforderten Maximaldauer von 4 Stunden.

Der Einsatz der ‚Einhebbaren Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen‘ erfordert jedoch einen sehr hohen technischen und koordinativen Aufwand. Außerdem sind im Vorfeld die trocken zu legenden Schleusenabschnittslängen festzulegen. Diese können während der Bautätigkeiten nicht mehr ohne längere Schleusensperrung verändert werden. Zusätzlich ist der Einbau der Führungsschienen sowohl in die Bestandskammerwände und –sohle, als auch in die neuen Vorsatzschalen, mit beträchtlichem Arbeitsaufwand verbunden.

Es wird vorgeschlagen die Realisierbarkeit des Verfahrens ‚Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen‘ anhand des Pilotprojekts „Schleuse Schwabenheim“ zu verifizieren und die Zuverlässigkeit nachzuweisen.

## Literatur

- ANH (1931). Neckarbauamt: Schleuse Schwabenheim: Schnitte und Einzelheiten. Dokumentname: 'DEST2031 Schnitte und Einzelheiten linke Kammer.pdf', Heidelberg.
- ANH (2008). Wasser- und Schifffahrtsdirektion Südwest; Wasser- und Schifffahrtsamt Heidelberg: Schiffsschleusenanlage Schwabenheim: Übersichtsplan Doppelschleuse (Bestandszeichnung). Dokumentname: 'DEST2035 Übersicht Schleuse.pdf', Heidelberg.
- ANH (2014). Amt für Neckar Ausbau Heidelberg, Bundesanstalt für Wasserbau. Reschke (BAW); Westendarp (BAW); Sandtel (ANH); Steuernagel (ANH): Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleuse Schwabenheim. Ergänzung der Planungsgrundlagen für die Instandsetzung der linken Kammer unter Betrieb (IuB), Heidelberg/Karlsruhe.
- B&G (2014): Informationen zu (Arbeits-)Pontons. Becker & Grieshaber GmbH, Ludwigshafen. mündlich.
- BAUER (2013): Firmenunterlagen Fa. Bauer Spezialtiefbau GmbH. Prospekt: Der BAUER Anker, Schrobensehause.
- BAUER, H. (2007): Baubetrieb. 3., vollständig neu bearbeitete Aufl. Springer, Berlin.
- BAUV (1929): Zentralblatt der Bauverwaltung (49. Jahrgang, Nummer 10): u. a. Notverschlüsse bei Wehren. Regierungsbaurat Dr.-Ing. Emil Burkhardt (Stuttgart), Berlin.
- BAW (2009). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Instandsetzung unter Betrieb mit schnell erhärtenden Instandsetzungssystemen - Probeinstandsetzung Schleuse Feudenheim (interner Bericht: A39510310038), Karlsruhe.
- BAW (2014). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW): Instandsetzung von Schleusenanlagen unter Betrieb (IuB). Aufgabenstellung für die Erarbeitung prinzipieller Lösungen zur partiellen Trockenlegung von Schleusenkammern, Karlsruhe.
- BAW/ANH (2014). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Amt für Neckar Ausbau Heidelberg (ANH). Sandtel (ANH); Reschke (BAW); Steuernagel (ANH); Westendarp (BAW): Instandsetzung von Schleusenanlagen unter Betrieb. Präsentation: Projektvorstellung, Karlsruhe/Heidelberg.
- BDB (2013). Bundesverband der Deutschen Binnenschifffahrt e. V. (BDB): Daten & Fakten 2012/2013. Statistische Daten rund um die Binnenschifffahrt, Duisburg.
- BEHRENS, S. (2006): Binnenschifffahrt, Binnenwasserstraßen und Binnenhäfen: Schleusen, Wehre, Schiffshebewerke. Grundinstandsetzung der Seeschleuse Wilhelmshaven. In: PIANC (Hrsg.): Tagungsband. 31st PIANC International Navigation Congress 2006. Estoril (Portugal). World Association for Waterborne Transport Infrastructure (PIANC). 2006. S. 120–126.
-

- [http://pianc.vzb.baw.de/publikationen/deutsche\\_kongressberichte/pdfs/2006-22.pdf](http://pianc.vzb.baw.de/publikationen/deutsche_kongressberichte/pdfs/2006-22.pdf) (Zugriff am 11.07.2014).
- BG (2009). Jenner, T. VEREINIGUNG DER METALL-BERUFGENOSSENSCHAFTEN, MASCHINENBAU- UND METALL-BERUFGENOSSENSCHAFT, HÜTTEN- UND WALZWERKS-BERUFGENOSSENSCHAFT u. BERUFGENOSSENSCHAFT METALL NORD SÜD (Hrsg.): BG-Information: Anschläger. BGI 556.
- BG BAU (1974). Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: Unfallverhütungsvorschrift: Krane. BGV D6 (Fassung vom 1. April 2001), Berlin.
- BG BAU (1979). BERUFGENOSSENSCHAFT DER BAUWIRTSCHAFT (Hrsg.): Unfallverhütungsvorschrift: Taucherarbeiten - Berufsgenossenschaftliche Vorschrift für Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit. BGV C 23 (In der Fassung vom 1. Januar 2012, mit Durchführungsanweisungen vom Januar 2012), Berlin.
- BG BAU (1980). Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft: Unfallverhütungsvorschrift: Winden, Hub- und Zuggeräte. BGV D8 (Fassung vom 1. April 1996), Berlin.
- BG BAU (1988). BAU-BERUFGENOSSENSCHAFT (Hrsg.): Merkblatt für Seile und Ketten als Anschlagmittel im Baubetrieb. BGI 876 (April 1988), Berlin.
- BLOCHMANN, G. ET AL. (2012): Wirtschaftliche und sichere Baustelleneinrichtung. 3. überarb. Aufl., Red.-Stand: 31.03.12. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Dortmund.
- BÖDEFELD, J. U. KLOÉ, K. (2011): Instandhaltung im Lebenszyklus eines Bauwerks. In: BAW (Hrsg.): Tagungsband. BAW-Kolloquium: Instandhaltung von Verkehrswasserbauwerken. Karlsruhe. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). 2011. S. 1–6. [vzb.baw.de/publikationen.php?file=kolloquien/1/Tagungsband\\_Instandhaltung\\_Verkehrswasserbauten\\_25\\_26\\_Okt\\_2011.pdf](http://vzb.baw.de/publikationen.php?file=kolloquien/1/Tagungsband_Instandhaltung_Verkehrswasserbauten_25_26_Okt_2011.pdf) (Zugriff am 07.10.2014).
- BÖRGER (2014a). BÖRGER GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Börger GmbH. Pumpe XL 5300: Daten und Ergebnisse der firmeninternen Pumpenauslegungssoftware, Systemskizzen der Fa. Börger, Borken-Weseke.
- BÖRGER (2014b). BÖRGER GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Börger GmbH. Angebot: Pumpe XL 5300, Borken-Weseke.
- BÖRGER (2014c). BÖRGER GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Börger GmbH. Prospekt: Drehkolbenpumpen, Borken-Weseke.
- BÖRGER (2014d). BÖRGER GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Börger GmbH. Abmessungen: XL-Baureihe, Borken-Weseke.
- BÖTTCHER, P. D. U. NEUENHAGEN, H. (1997): Baustelleneinrichtung. Betriebliche Organisation, Geräte, Kosten, Checklisten. Bauverlag, Wiesbaden.
-

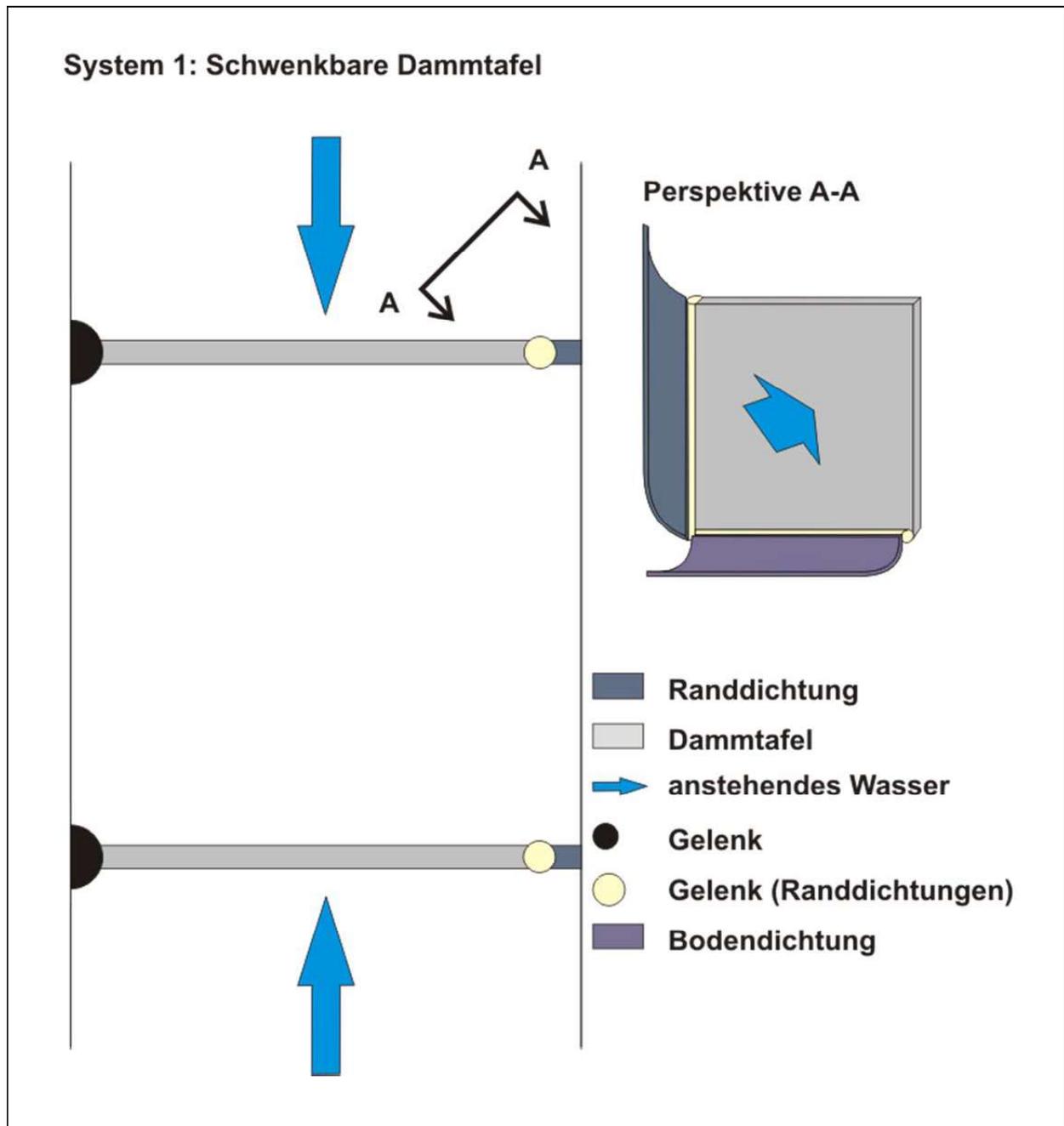
- BRENNAN (2013): Dam Construction And Repair: Dam Cofferdam Construction And Installation. J.F. Brennan Co., Inc., La Crosse (Wisconsin, USA). <http://www.jfbrennan.com/marine-construction/cofferdam-construction/> (Zugriff am 23.07.2014).
- CHIEMSEE (2014a). SHG SPECHTENHAUSER HOCHWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZ GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. SHG Spechtenhauser Hochwasser- und Gewässerschutz GmbH. Datenblatt: Mini-Chiemsee Mobile Spezialpumpe, Waal.
- CHIEMSEE (2014b). SHG SPECHTENHAUSER HOCHWASSER- UND GEWÄSSERSCHUTZ GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. SHG Spechtenhauser Hochwasser- und Gewässerschutz GmbH. Datenblatt: Chiemsee Mobile Spezialpumpe, Waal.
- COREIRM (2013): Cofferdam Projects. Core-IRM Pte Ltd, Singapore. <http://www.core-irm.com/2013/840/cofferdam-projects/> (Zugriff am 23.07.2014).
- DGUV (2010). DEUTSCHE GESETZLICHE UNFALLVERSICHERUNG (Hrsg.): Information: Sicherheit beim Betreiben von Wasserkraftwerken. BGI/GUV-I 8684, Berlin.
- DIN 19704-2: Stahlwasserbauten - Teil 2: Bauliche Durchbildung und Herstellung (05.1998).
- DIN 19712: Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern (01.2013).
- EICHINGER (2012): Firmenunterlagen Fa. Florian Eichinger GmbH. Kran-Zubehör: Arbeitsbühnen & Rettungskörbe, Mühlhausen. <http://www.betonsilos.eu/index.php?aid=342> (Zugriff am 03.09.2014).
- FLYGT (2012): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: Flygt Baureihe 2000 Bibo Schmutzwasserpumpen, Langenhagen.
- FLYGT (2013): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Mietpreisliste 2013: Transportable Pumpen und Zubehör, Langenhagen.
- FLYGT (2014a): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: NS 3301 LT 3~ 620 - Technische Ausführung, Kennlinie. Datenblatt, Langenhagen.
- FLYGT (2014b): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: Die Flygt Schmutzwasserpumpen der Baureihe 2600, Langenhagen.
- FLYGT (2014c): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: Flygt N-Baureihe - Selbstreinigende Pumpen mit anhaltend hoher Effizienz, Langenhagen.
- FLYGT (2014d): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Abmessungen: Dimensional drwg NS 3301. Datenblatt, Langenhagen.
- FLYGT (2014e): Firmenunterlagen Fa. Xylem Water Solutions Deutschland GmbH. Datenblatt: Baureihe 3000 - Midrange Abwasserpumpen: Effektiv und Effizient, Langenhagen.
-

- FREIMANN, R. (2012): Hydraulik für Bauingenieure. Grundlagen und Anwendungen. 2., aktualisierte Aufl. Fachbuchverl. Leipzig im Carl-Hanser-Verl., München.
- GOOGLE (2014): Luftbild: Schleuse Schwabenheim. Google Inc., Mountain View (Kalifornien, USA). <https://www.google.de/maps/@49.4435944,8.6327953,202m/data=!3m1!1e3> (Zugriff am 03.09.2014).
- GRUNDFOS (2004): Firmenunterlagen Fa. GRUNDFOS GmbH. Pumpenhandbuch, Erkrath.
- GRUNDFOS (2014): Firmenunterlagen Fa. GRUNDFOS GmbH. Datenblatt: Pumpe DW.150.110.A3 50 Hz, Erkrath.
- GUV (1991). BUNDESVERBAND DER UNFALLKASSEN (Hrsg.): Regeln für Sicherheit und Gesundheitsschutz. Hochziehbare Personenaufnahmemittel (Aktualisierte Fassung März 2005), München.
- HEINLEIN, K. U. WAGNER, R. (2012): Einsatz von technischen Textilien für den mobilen Hochwasserschutz. In: Bautechnik 89, H. 7. S. 471–477.
- HEROLD (2014): Vorteile und Nachteile von Drehkolbenpumpen im Vergleich zu anderen Pumpentypen. Herold & Co. GmbH, Gefrees. <http://www.herold-gefrees.de/de/drehkolbenpumpe/vorteilenachteile> (Zugriff am 04.08.2014).
- HWSA (2014): Firmenunterlagen Fa. Hochwasserschutz Agentur (HwsA). Prospekt: Mobiler Damm für Hochwasserschutz und Wasserbau, Frankfurt am Main.
- IBS (2008): Firmenunterlagen Fa. IBS Planungs-, Vertriebsgesellschaft mbH. Prospekt: Objektschutz, Thierhaupten.
- IBS (2014): Mobile Wände als Hochwasserschutzsysteme. IBS Planungs-, Vertriebsgesellschaft mbH, Thierhaupten. <http://www.hochwasserschutz.de/produktbereiche/hochwasserschutz/mobile-waende.html> (Zugriff am 25.07.2014).
- KLEWA (2014): Informationen zu Dammtafeln als Abschottsysteme. Klewa-Wasserbautechnik, Bielefeld. mündlich/schriftlich (02.09.2014).
- KSB (2005). KSB Aktiengesellschaft: Auslegung von Kreiselpumpen. 5., überarbeitete und erweiterte Auflage, Frankenthal (Pfalz).
- KSB (2011): Firmenunterlagen Fa. KSB Aktiengesellschaft. Planungshinweise KRT. KSB Know-how, Band 7, Frankenthal (Pfalz).
- KSB (2013): Firmenunterlagen Fa. KSB Aktiengesellschaft. Tauchmotorpumpe - Amarex KRT 50 Hz: Kennlinienheft, Frankenthal (Pfalz).
-

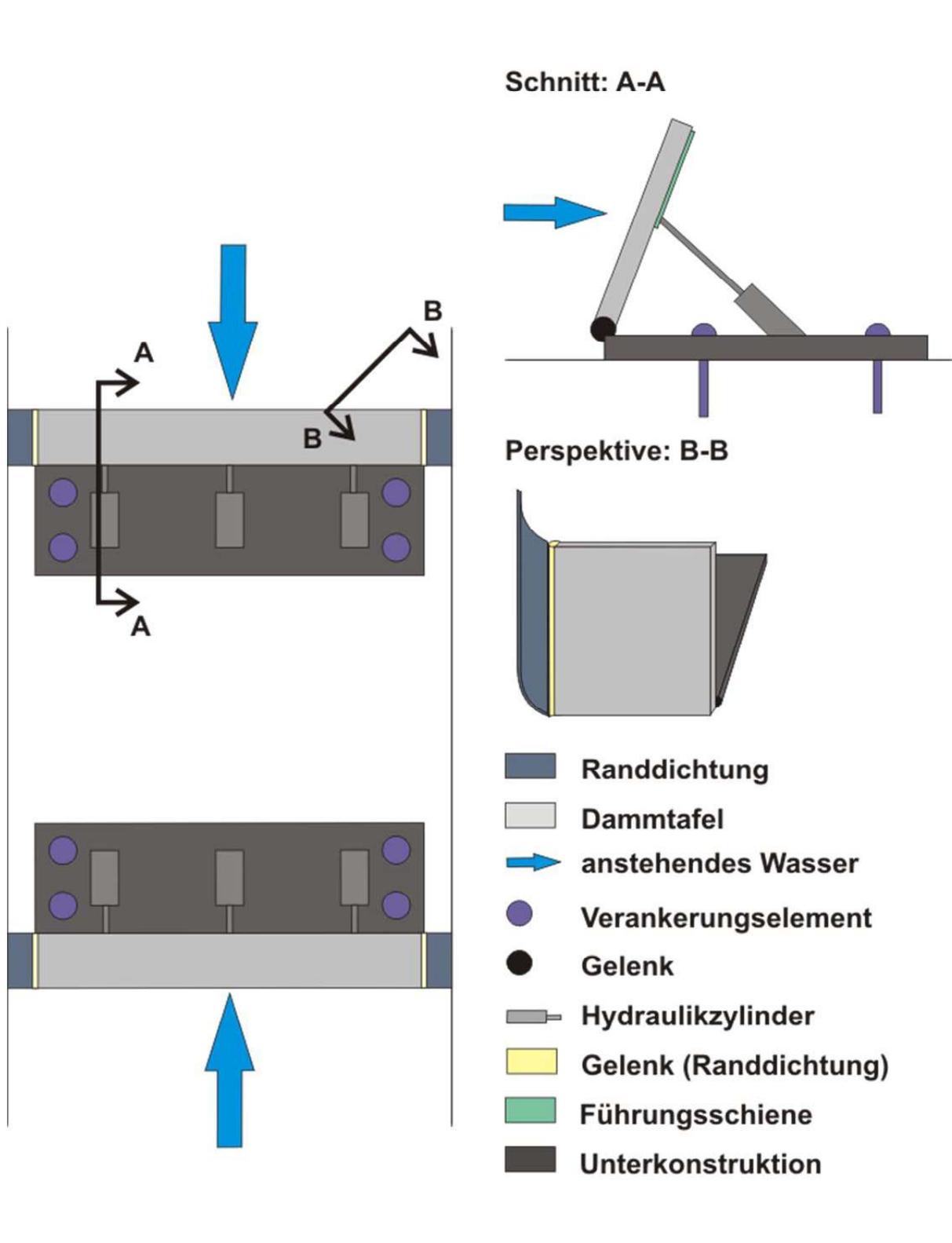
- KSB (2014): Firmenunterlagen Fa. KSB Aktiengesellschaft. Aufstellungsplan-Heft: Amarex KRT, Frankenthal (Pfalz).
- LIEBHERR (2014). LIEBHERR-WERK BIBERACH GMBH (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Liebherr. Datenblatt: Turmdrehkran 3150 HC 60, Biberach an der Riss.
- LINN (2014): Firmenunterlagen Fa. Linn-Pumpen GmbH. Datenblatt: Pumpe G825R4C3-X112AA2, Schalksmühle.
- MACDONELL, W. U. MORCH, S. (2010): San Vicente Low Level Outlet Cofferdam. In: GerwickNews, H. 29. S. 1–5.
- MAST (2014a): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchmotorpumpen 400 V - T 12, T 16, T 20, TP 8-1, TP 15-1, Aichwald.
- MAST (2014b): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchpumpe TP 8 - 1 N, Aichwald.
- MAST (2014c): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchpumpe T 16, Aichwald.
- MAST (2014d): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchpumpe T 20, Aichwald.
- MAST (2014e): Firmenunterlagen Fa. Mast Pumpen GmbH. Datenblatt: Tauchpumpe TP 15-1, Aichwald.
- MIM (2014): MIM-VERGUSSANKER: Was bedeutet Vergussanker? MIM Marine- und Industrie-Montage GmbH, Hamburg. <http://mim-hamburg.de/vergussanker/was-bedeutet-vergussanker> (Zugriff am 30.09.2014).
- MOBILDEICH (2014): Firmenunterlagen Fa. Mobildeich GmbH. Mobildeich: Das weltweit sicherste Schlauchsystem für den mobilen Hochwasserschutz, Hamburg.
- MUHR (2014): Firmenunterlagen Fa. Gesellschaft für Planung, Maschinen- und Mühlenbau - Erhard Muhr mbH. Referenzen: Stahlwasserbau - Absperrorgane, Brannenburg.
- OSTERMANN, K. (1991): Pumpentechnik in der Wasserversorgung. Mit 10 Tabellen und Anhang. 2., überarb. und erw. Aufl. R. Müller, Köln.
- PENTA OCEAN (2014): Technologies and Innovation. NDR (Neo-Dry Repair) Method. Penta-Ocean Construction Co., LTD., Tokio (Japan). <http://www.penta-ocean.co.jp/english/business/civil/ndr.html> (Zugriff am 25.07.2014).
- PORTADAM (2011): Firmenunterlagen Fa. Portadam, Inc. Diversion And Cofferdam Structures, Williamstown (New Jersey, USA).
- PRAGER ET AL. (1987): Technisches Handbuch Pumpen. 7., durchgesehene Aufl. Verlag Technik, Berlin.
-

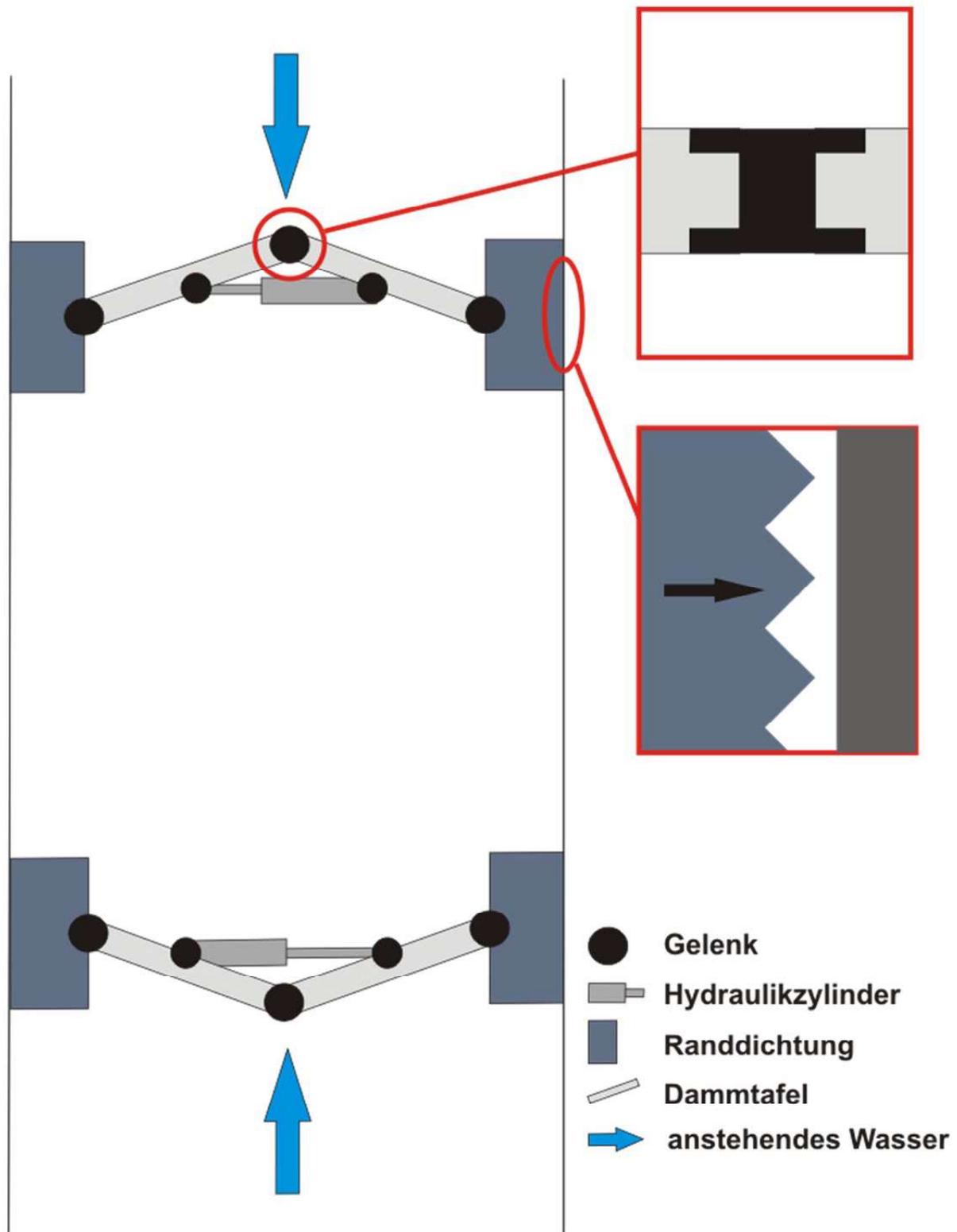
- REITTHALER (2014): Produkte. Hermann Reitthaler GmbH, Siegsdorf. <http://www.hochwasserschutz-reitthaler.de/produkte/> (Zugriff am 25.07.2014).
- RESCHKE, T. (2011): Instandsetzung unter Betrieb mit einem schnell erhärtenden Spritzbeton - Probemaßnahme Schleuse Feudenheim. In: BAW-Mitteilungen, 93 2011. S. 7–28.
- RITSCHER (2014): Information zu Einschwimmvorgang Ponton. ARNOLD RITSCHER GMBH, Hamburg. mündlich.
- RSP (2014a): Firmenunterlagen Fa. Reschwitzer Saugbagger Produktions GmbH. Datenblatt: Saugfahrzeug ESE 32 - Der Starke, Saalfeld.
- RSP (2014b): Firmenunterlagen Fa. Reschwitzer Saugbagger Produktions GmbH. Datenblatt: Option G50 - Schmutzwasserpumpe, Saalfeld.
- SCHNELL, W. (1991): Verfahrenstechnik der Grundwasserhaltung. B.G. Teubner, Stuttgart.
- SCHULZ, H. U. FUCHSLOCHER, E. (1977): Die Pumpen. Arbeitsweise, Berechnung, Konstruktion. 13. neubearb. Aufl. Springer-Verlag, Berlin, New York.
- SELWOOD (2013a): Firmenunterlagen Fa. Selwood Limited. Datenblatt: Pumpe Selwood S159, Hampshire (Großbritannien).
- SELWOOD (2013b): Firmenunterlagen Fa. Selwood Limited. Datenblatt: Pumpe Selwood D150, Hampshire (Großbritannien).
- SEMPERIT (2014): Informationen zu Gummiabdichtungen bei Abschottsystemen. Semperit Deggendorf GmbH. mündlich (02.09.2014).
- SPT (2014): Firmenunterlagen Fa. Söndgerath Pumpen GmbH. Datenblatt: Pumpen ASP-Serie, Essen.
- SWB (2011): Produkte Stahlwasserbau: Revisionsverschlüsse. Stahlwasserbau Beeskow GmbH, Beeskow. <http://swb-beeskow.de/wpress/services-view/dammtafelnrevisionsverschluesse> (Zugriff am 03.09.2014).
- THYSSENKRUPP BAUTECHNIK GMBH (2014): Informationen zu Dammtafeln als Abschottsysteme, Gerlingen. mündlich (11.09.2014).
- USACE (1995a). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS: Engineering And Design. Planning And Design Of Navigation Dams (Engineer Manual 1110-2-2607), Washington, D.C. (USA).
- USACE (1995b). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS: Engineering And Design. Planning And Design Of Navigation Locks (Engineer Manual 1110-2-2602), Washington, D.C. (USA).
- USACE (2008). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Hite (Jr.), J.: Concept Design for Emergency Closure System for Inland Navigation Structures, Washington, D.C. (USA).
-

- USACE (2009). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Beitelman, A.; Van Draege, E.; Rozene, D.: In-Situ Coating for Sheet Piles. Interim Report on Project FO-8-ARO6 for FY08, Washington, D.C. (USA).
- USACE (2010). U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS. Padula, J.; Abraham, D.; Haskins, K.: Critical Infrastructure Protection and Resilience Program. Emergency gap closures, Washington, D.C. (USA).
- w+s (2009). w+s bau-instandsetzung gmbh. Rubba, U.: Projekt: Machbarkeitsstudie. Instandsetzung von Schleusenbauwerken am Beispiel der Schleuse Eckersmühlen, Kassel.
- WARDECKI, N. (1983). PROFESSOR DR.-ING. GÜNTER KÜHN (Hrsg.): Vorlesungsskript (Institut für Maschinenwesen im Baubetrieb der Universität Karlsruhe). Maschinentechnik II (Reihe V / Heft 9), Karlsruhe.
- WICKERT, G. U. SCHMAUBER, G. (1971): Stahlwasserbau. Theorie - Konstruktive Lösungen - Spezielle Probleme. Springer Verlag, Berlin/Heidelberg.
- WILO (2011): Firmenunterlagen Fa. WILO SE. Katalog Water Management: Schmutz- und Abwasser - Abwassertransport und Entwässerung, Hof.
- WSE (2000). WASSER- UND SCHIFFFAHRTSAMT TRIER u. THYSSEN KRUPP (Hrsg.): Firmenunterlagen Fa. Schmitt WSE GmbH, Wasser- und Schifffahrtsamt Trier; Thyssen Krupp. Konstruktionszeichnung: Revisionsverschluss Dammbalken Typ B, Schiffsschleusenanlagen a. d. Mosel, Hannover.
- WSV (2011): Schleuse Schwabenheim. Bauwerksdaten der Schleuse Schwabenheim. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes; Wasser- und Schifffahrtsamt Heidelberg, Heidelberg. [http://www.wsa-hd.wsv.de/wasserstrasse/bauwerke/schleuse\\_schwabenheim/](http://www.wsa-hd.wsv.de/wasserstrasse/bauwerke/schleuse_schwabenheim/) (Zugriff am 15.07.2014).
- WSV (2013a): Arbeitsschiff 'Saatsee'. NOK-Arbeitsschiff MS 'Saatsee'. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes; Wasser- und Schifffahrtsamt Kiel-Holtenau, Kiel-Holtenau. [http://www.wsa-kiel.wsv.de/Wir\\_ueber\\_uns/Unsere\\_Schiffe/Saatsee/index.html](http://www.wsa-kiel.wsv.de/Wir_ueber_uns/Unsere_Schiffe/Saatsee/index.html) (Zugriff am 30.09.2014).
- WSV (2013b): Schleuse Schwabenheim. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes; Amt für Neckarausbau Heidelberg, Heidelberg. <http://www.anh.wsv.de/projekte/schleusen/schwabenheim/index.html> (Zugriff am 15.07.2014).
- WSV (2014): Informationen zu einhebbaren Kofferdämmen/Schwalbennester im WSV-Bezirk Brunsbüttel. Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, Außenbezirk Brunsbüttel. mündlich (28.07.2014).
-

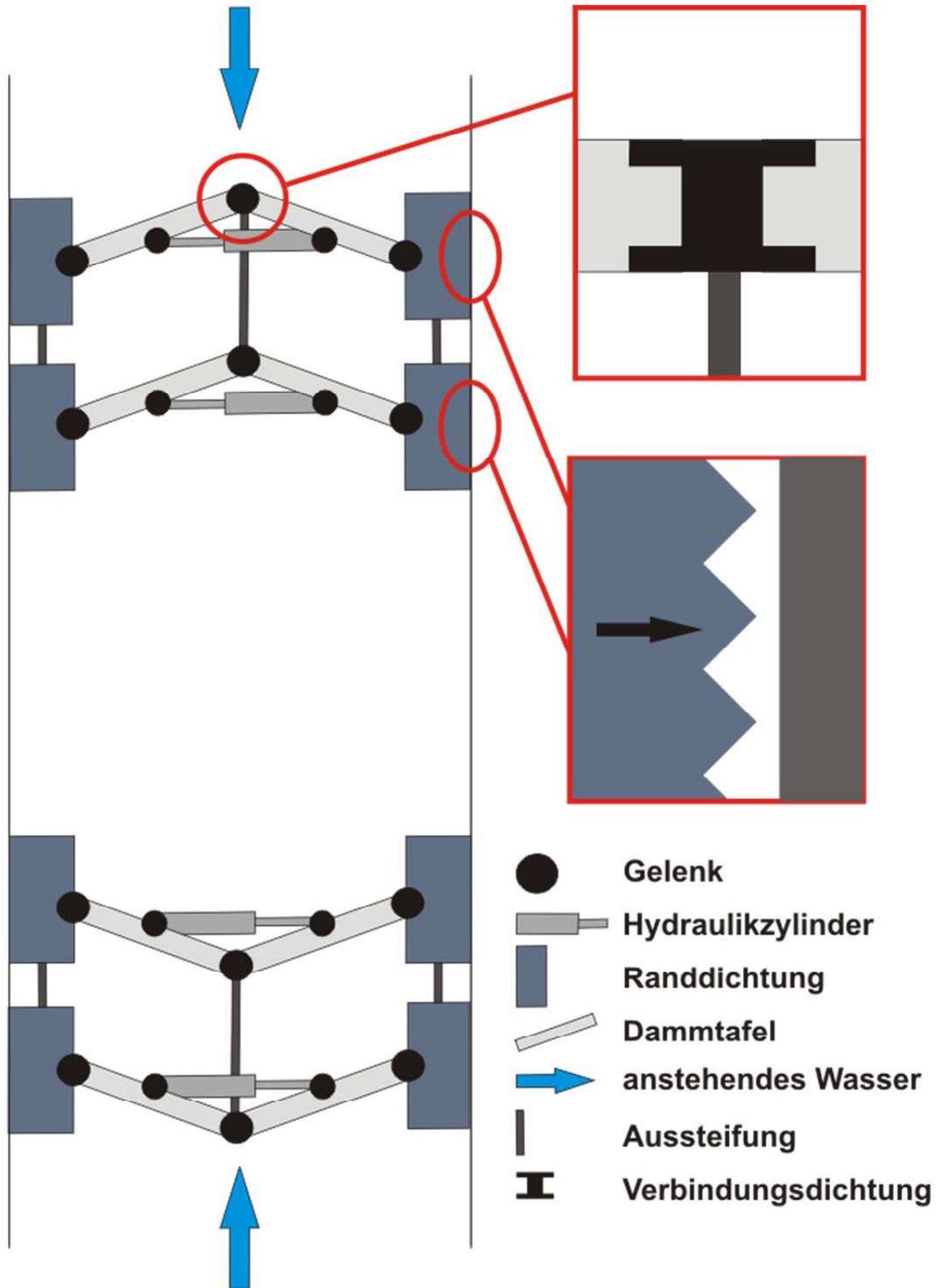
**Anlage****Entwurfsskizzen für temporäre partielle Wasserabschottungssysteme**

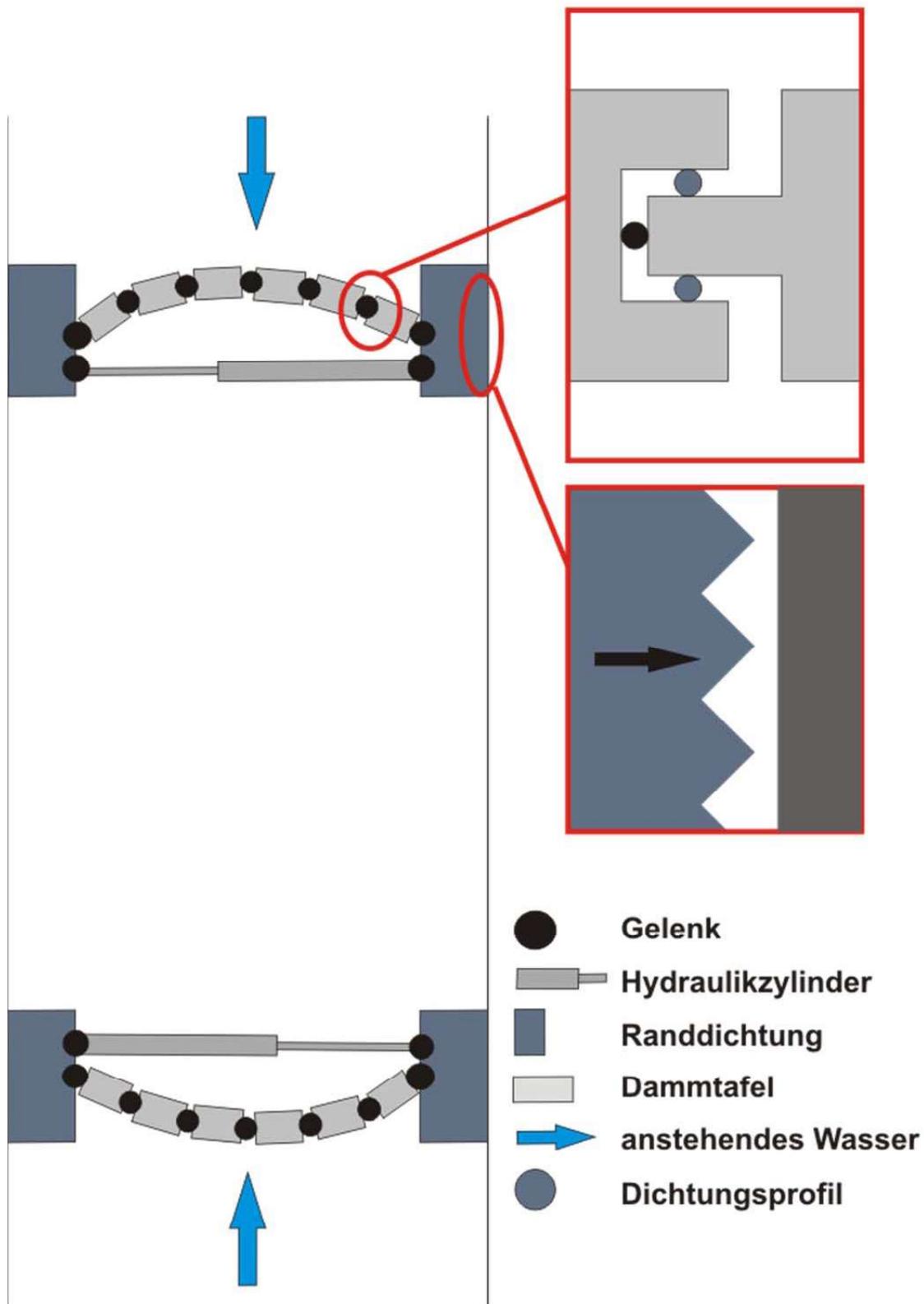
## System 2: Aufklappbare Dammtafel



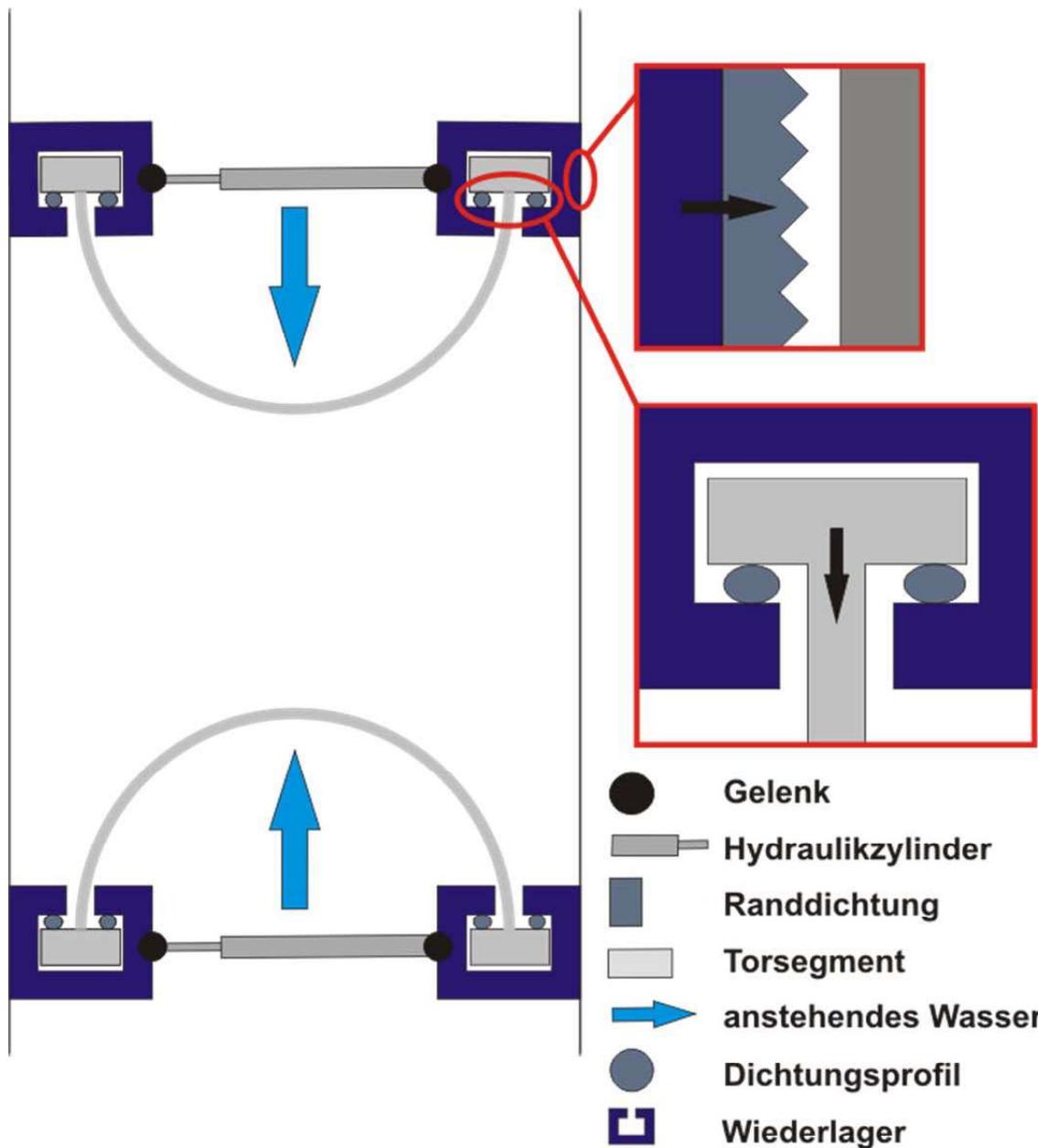
**System 3: Verspannbare Dammtafeln**

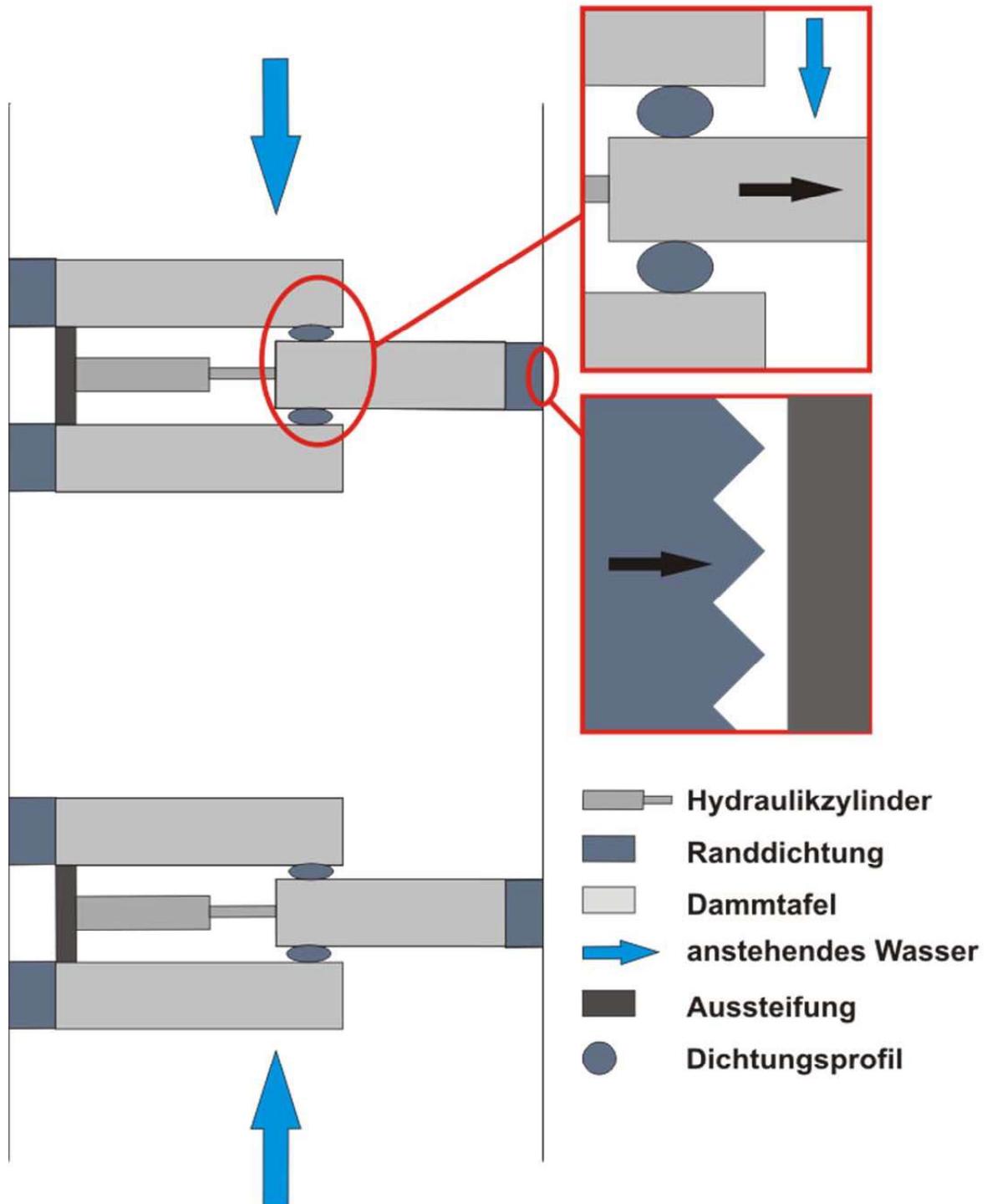
### System 4: Verspannbares Doppeltor



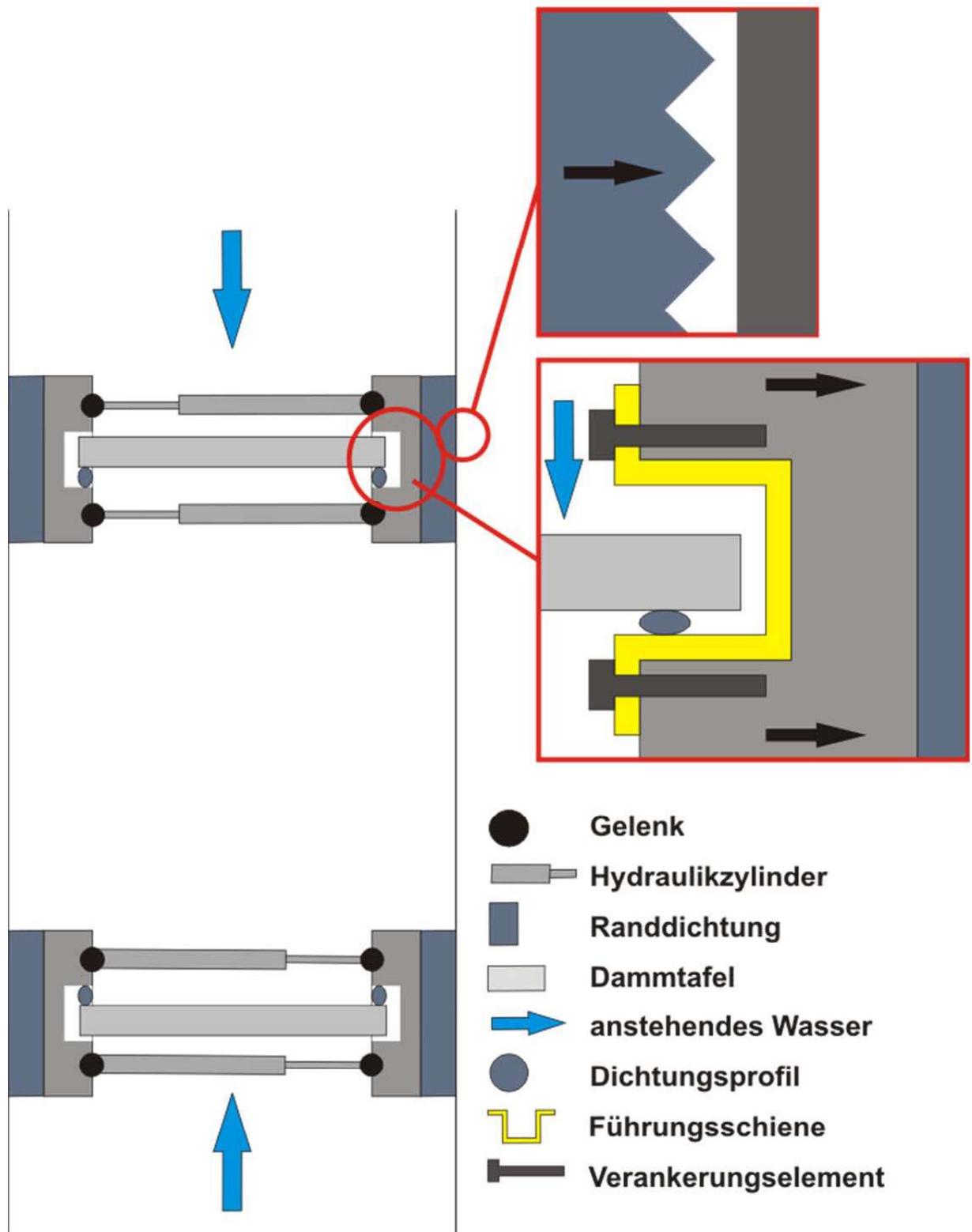
**System 5: Gelenkiges Segmenttor**

### System 6: Gebogenes Schubtor

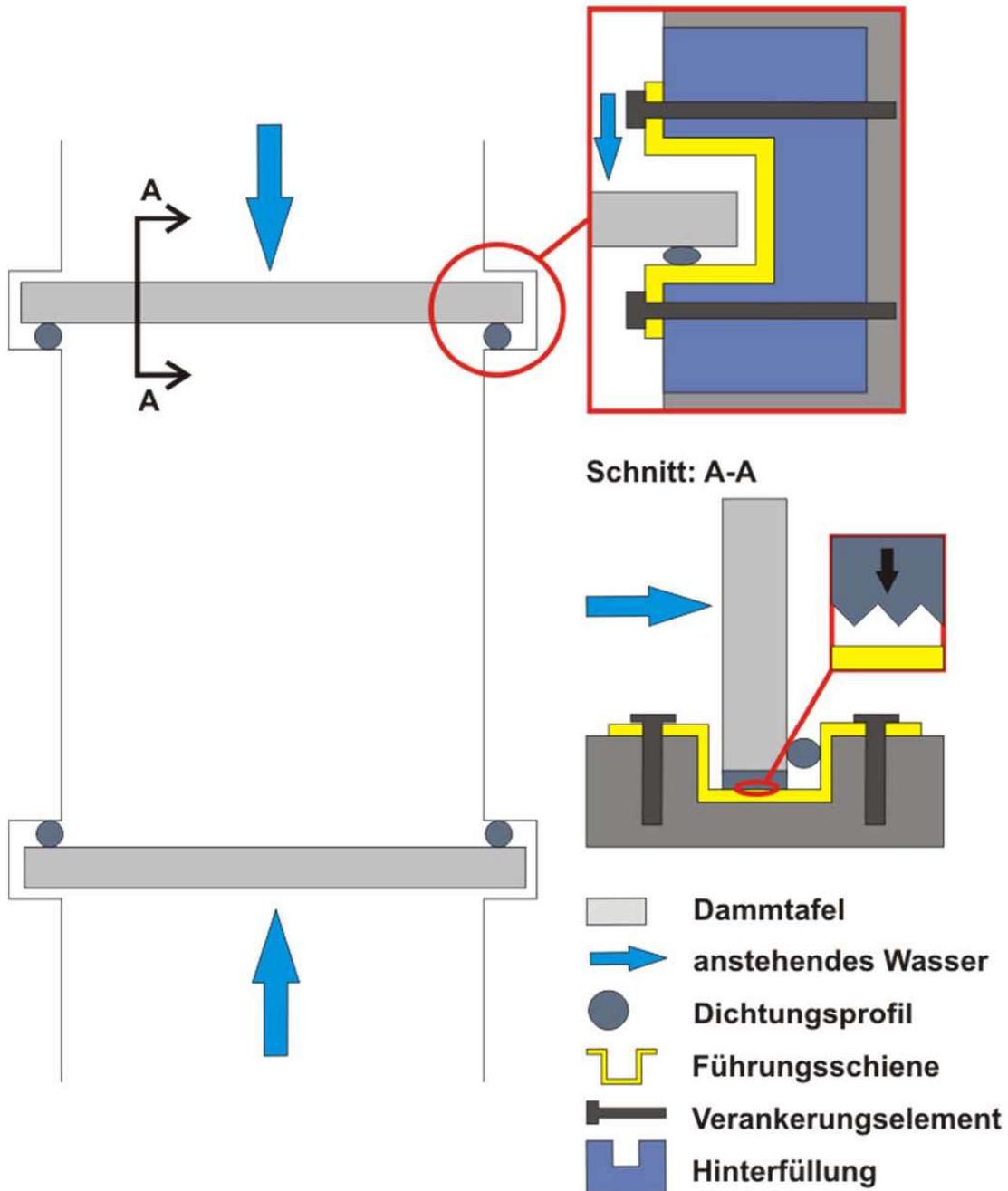


**System 7: Ineinander verschiebbliche Dammtafeln**

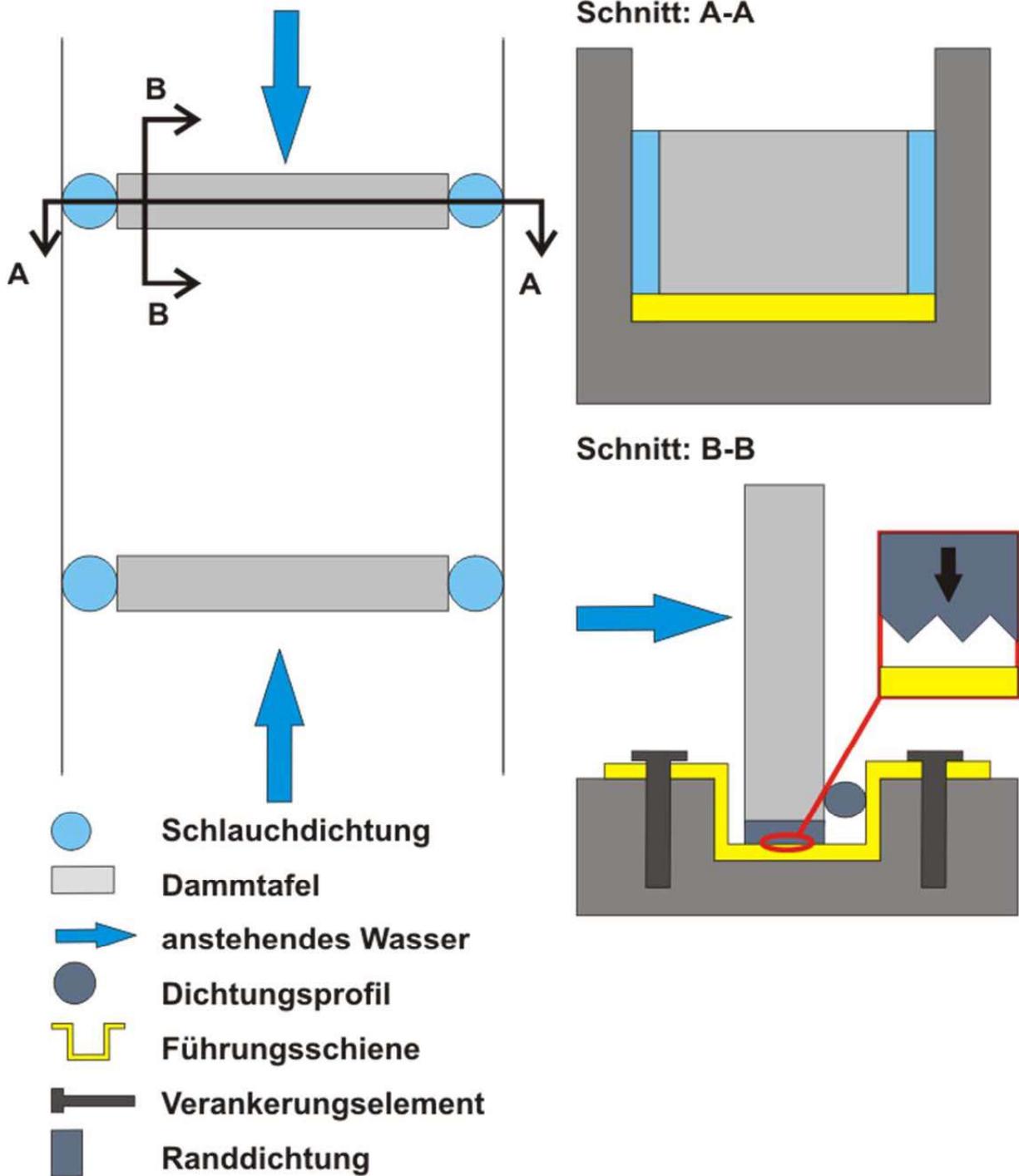
### System 8: Verpannbare Wiederlager für Dammtafeln



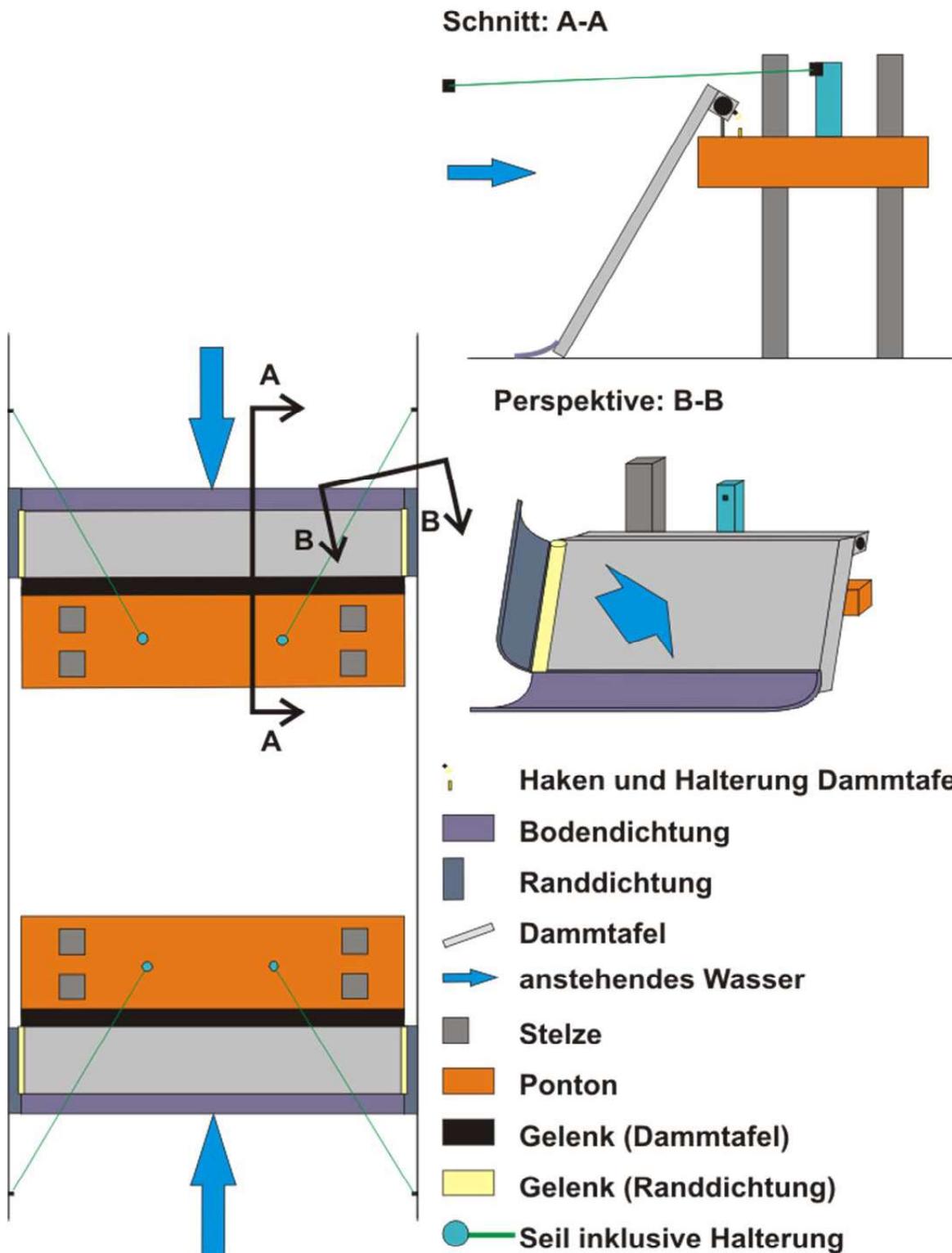
### System 9: Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen



### System 10: Kombination aus Dammtafel und Schlauchsystem



### System 11: Eingeschwommene Dammtafel I



### System 11: Eingeschwommene Dammtafel II

