

Übersicht Originaldokumente

Projekt: Schleuse Schwabenheim

Aus den Originaldokumenten wurden die für die Partielle Trockenlegung mit „Rahmensystem in Widerlager in Planie und Sohle“ 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.

Ergänzungsbericht			
Systeme zur partiellen Trockenlegung von Schleusenammern			
Teildokument	Titel	e	te
Machbarkeitsstudie	Systeme zur partiellen Trockenlegung von Schleusenammern	X	

Ergänzungsbericht

Systeme zur partiellen Trockenlegung von Schleusenammern

Projektbericht

17.07.2020

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: M.Sc. Dominik Waleczko

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	- 1 -
2	Aufgabenbeschreibung.....	- 2 -
2.1	Ursprüngliche Aufgabenbeschreibung	- 2 -
2.2	Zweck Ergänzungsbericht	- 2 -
3	Entwicklungskonzeption temporärer Wasserabschottungssysteme für Schleusen	- 4 -
3.1.1	System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen.....	- 4 -
3.1.2	Alternative 1: Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in Planie und Sohle	- 9 -
3.1.3	Alternative 2: L-förmige Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in der Planie.....	- 12 -
3.2	Bewertung Entwicklungskonzepte	- 14 -
3.2.1	Kategorie: Ausschlussmerkmale.....	- 15 -
3.2.2	Kategorie: Funktionsfähigkeit	- 16 -
3.2.3	Kategorie: Qualität.....	- 17 -
3.2.4	Kategorie: Aufwand Vorplanung.....	- 19 -
3.2.5	Kategorie: Handhabung	- 20 -
3.3	Voraussetzungen an die Schleusenkammer.....	- 24 -
3.4	Optimierungsmöglichkeiten	- 25 -
4	Fazit.....	- 26 -

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.

2 Aufgabenbeschreibung

2.1 Ursprüngliche Aufgabenbeschreibung

Gegenstand des vorliegenden Projektberichts ist die Erarbeitung und Gegenüberstellung von prinzipiellen Systemlösungen zur temporären Trockenlegung einzelner Teilbereiche von Schleusenammern unter Berücksichtigung von technischen und baubetrieblichen Aspekten. Zunächst sollten 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 sollten 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 sollten (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 ist ein sog. Modulbaukasten entwickelt worden, 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 fließen in diesen Modulbaukasten mit ein.

2.2 Zweck Ergänzungsbericht

Der ursprüngliche Projektbericht lieferte eine Vorzugsvariante für die Grundinstandsetzung und Verlängerung der Schleusenanlage in Schwabenheim. Ein Variantenvergleich zeigte, dass eine Dammtafel in Führungsschienen (System 9) für die definierten Rahmenbedingungen am geeignetsten erscheint. Bis zu diesem Zeitpunkt hat noch keine weitere Vertiefung der Systemidee stattgefunden.

Nach Abgabe des Berichts wurden innerhalb der Projektgruppe zwei weitere Systeme für die temporäre partielle Trockenlegung von Schleusenammern erarbeitet. Diese alternativen Systeme sollen nun dargestellt und in die bestehende Bewertungsmatrix eingearbeitet werden. Darüber hinaus soll im Kapitel Optimierungsmöglichkeiten ein weiterer Variantenansatz der BAW kurz dargestellt werden, um aufzuzeigen, dass weiterhin Überlegungen angestellt werden.

Durch dieses Vorgehen können zwei weitere Alternativen dargestellt werden, die in Zukunft für bestimmte Rahmenbedingungen im Baukasten empfohlen werden können. Dafür wurde von Herrn Becker (BAW) zunächst eine statische Untersuchung (Annahme: einzustauender Wasserstand 3 m) durchgeführt. Anhand dieser statischen Untersuchung und der grundlegenden Systemidee sollen die Vor- und Nachteile der Systeme herausgearbeitet werden. Danach sollen die Systeme in die Bewertungsmatrix eingearbeitet werden, um die Vor- bzw. Nachteile gegenüber den anderen in Frage kommenden Systemen eindeutig darzustellen. Dazu werden ausschließlich die bereits bewertete Vorzugsvariante und die beiden neu erarbeiteten Alternativen betrachtet.

3 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 Systeme sollen im Anschluss anhand einer Bewertungsmatrix gegenübergestellt werden.

In diesem Ergänzungsbericht ist ausschließlich die Vorzugsvariante aus dem ursprünglichen Projektbericht vorhanden sowie die beiden Alternativen welche von der BAW erarbeitet wurden.

3.1.1 System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen

Ain diesem System ist die feste Installation von Führungsschienen in den Kammerwänden und der Kammersohle, die im Vorfeld der Instandsetzungsarbeiten erfolgt, entscheidend für den Abdichtungserfolg des Systems. 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 dem ursprünglich entwickelten System 8 als Widerlager und Führung. Neben dem Einsatz von mehreren Dammbalken ist alternativ der Einsatz einer

einigen Dammtafel möglich. Der Aufbau dieses Systems ist in

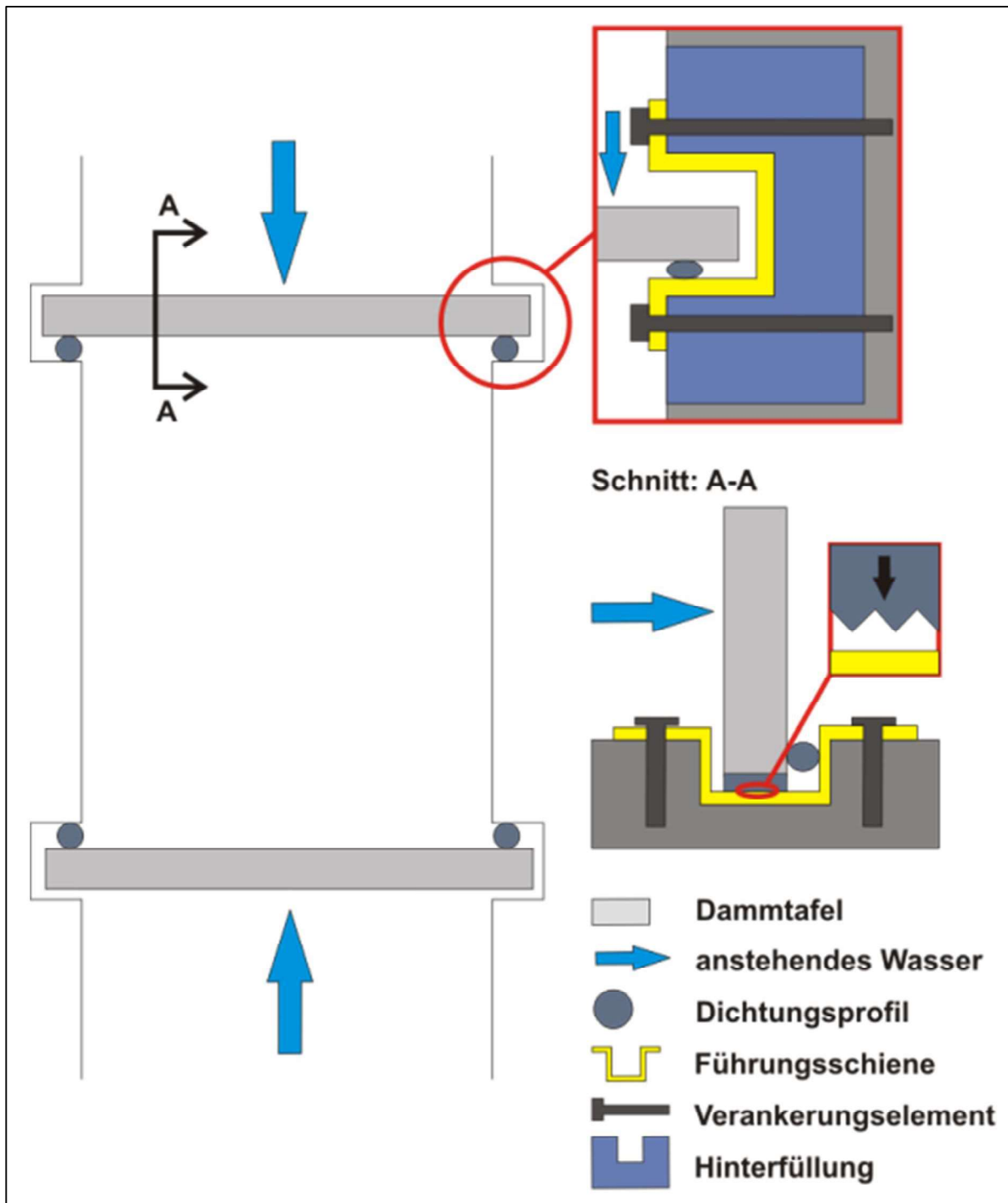


Abb. 1 dargestellt.

Vor- und Nachteile dieses Systems sind in Tab. 1 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. Die Dammtafel bzw. die Dammbalken müssen im Gegensatz zu anderen Systemen des ursprünglichen Berichts 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. Die konkrete Bauablaufplanung für dieses System kann dem Originalbericht entnommen werden.

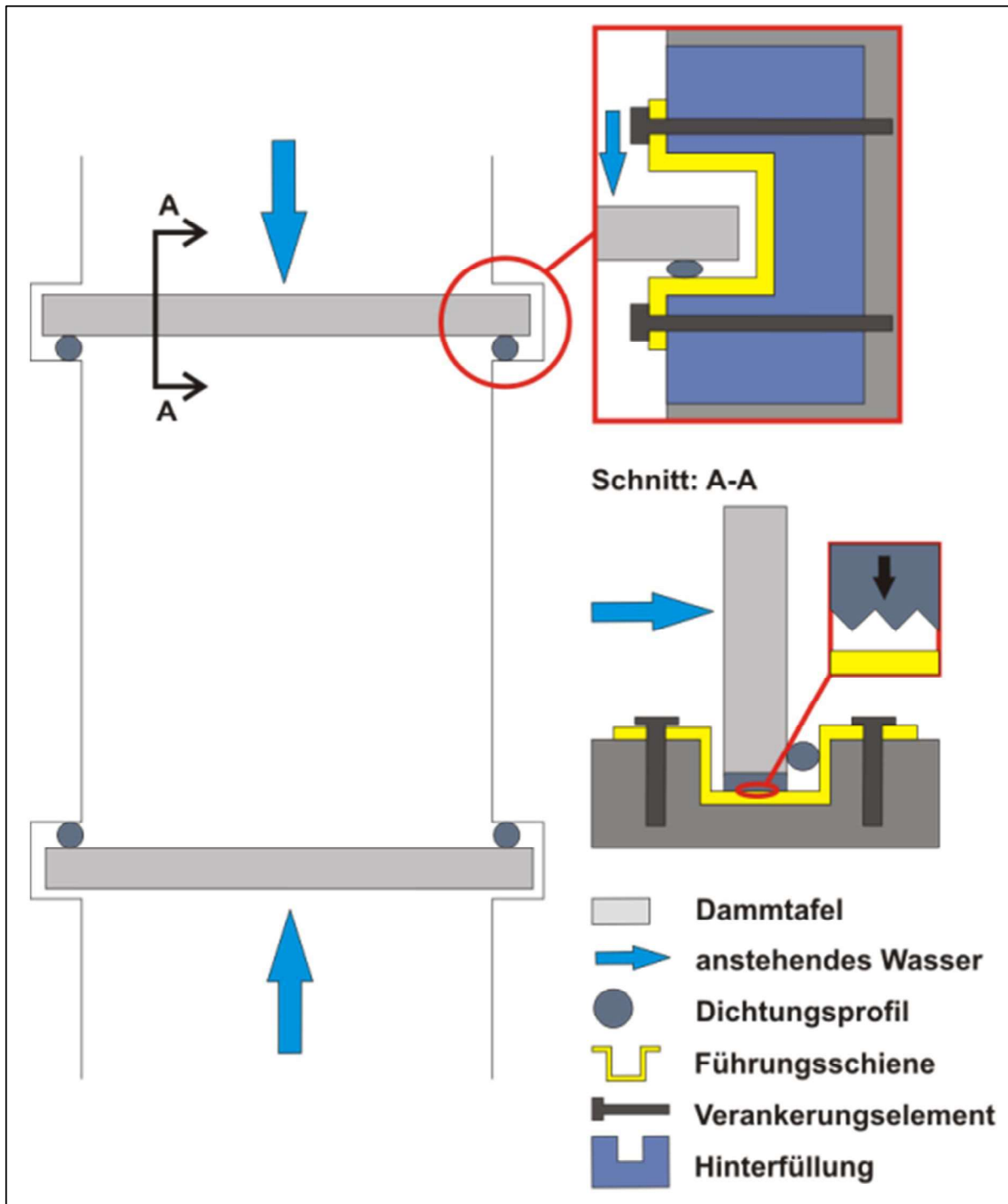


Abb. 1: System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen

Tab. 1: System 9: Vor- und Nachteile der einhebbaren Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen

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

3.1.2 Alternative 1: Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in Planie und Sohle

Um die Vorarbeiten innerhalb der Kammer zu reduzieren, wurde ein weiteres System entworfen. Eine schematische Darstellung dieses Systems ist in Abbildung 2 gegeben. Der Aufbau des Systems ist in Form eines Schnittes in Abbildung 3 dargestellt. Bemessen wurde das System auf Grundlage der Annahme, dass ein Wasserstand von 3 m eingestaut werden muss. Abgedichtet wird der Kammerquerschnitt durch ein Blech mit einer Dicke von 12 mm. Getragen wird das Blech durch vertikal und horizontal angeordnete HEA 450 Profile. Die vertikalen Profile sind so angeordnet, dass deren Stege parallel zu den Kammerwandflächen ausgerichtet stehen. Wohingegen die Anordnung der horizontalen Profile eine parallele Ausrichtung der Stege zur Schleusenkammersohle ermöglicht. Der Übergang zwischen Abdichtungssystem und Kammerwand soll entweder durch ein wassergefülltes Schlauchprofil oder durch Dichtungslippen abgedichtet werden. An der Sohle soll zur Abdichtung ein Schlauchprofil eingesetzt werden welches fest mit dem Steg des an der Sohle liegenden HEA 450 Profils verbunden ist.

Die Konstruktion soll die Horizontalkräfte, die im Rahmen einer Trockenlegung auftreten, in mindestens vier Widerlagern in das Bauwerk einleiten können. Zwei dieser Widerlager befinden sich auf der Planie in Form von Bohrlöchern mit einer Tiefe und einem Durchmesser von ca. 30 cm. Mindestens zwei Bohrungen mit dem gleichen Durchmesser aber einer Tiefe von 50 cm werden in der Sohle angeordnet und dienen als zusätzliche Widerlager an der Unterkante des Abschottungssystems. Um an der Sohle eine gleichmäßige Lastverteilung gewährleisten zu können, sind an den in die Bohrlöcher eingestellten HEM 160 Profilen wassergefüllte Schläuche angebracht. Diese Profile sind an der Seite durch angeschweißte Bleche verschlossen, sodass sich eine Kastenform ergibt. Der Aufbau ist in Abbildung 4 abgebildet. An der Planie werden ausschließlich HEA 140 Profile in die Bohrlöcher eingestellt. Diese Profile sind über ein durchlaufendes Kastenprofil mit dem Abschottungssystem verbunden.

Die Vor- und Nachteile dieser Alternative sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Vorteilhaft an diesem System ist, dass die Vorarbeiten innerhalb der Schleusenammer ohne eine Trockenlegung durchgeführt werden können. Die Bohrungen in der Kammersohle können von einem Ponton aus realisiert und deshalb in den arbeitstäglichen Sperrpausen durchgeführt werden. Außerdem wird das Lichtraumprofil während den Betriebszeiten nicht eingeschränkt. Ein weiterer Vorteil ist das vergleichbar geringe Gesamtgewicht der Konstruktion.

Allerdings sind auch in diesem System Nachteile zu beachten. Bei den Vorarbeiten muss mit einer großen Präzision gearbeitet werden, damit es beim Einfädeln der Profile zu keinen Problemen kommt. Außerdem ist für diesen Vorgang mindestens ein Taucher erforderlich der den Einfädelvorgang an der Sohle führen kann. Das Befüllen der Schlauchdichtungen und Widerlager ist im Zeitablauf und bei der Baustelleneinrichtung zu berücksichtigen.

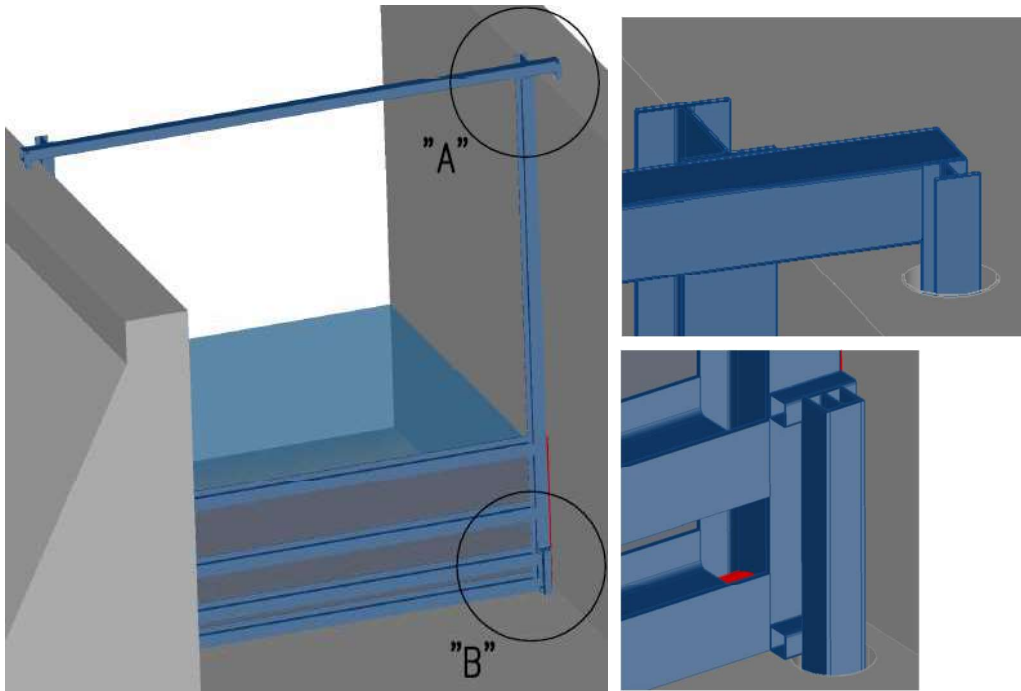


Abb. 2: Alternative 1: Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern auf Planie und Sohle

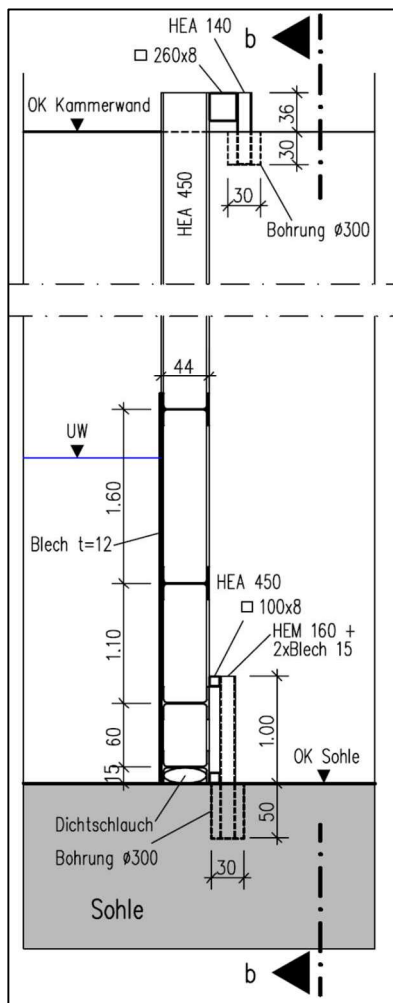


Abb. 3: Grundsätzlicher Aufbau

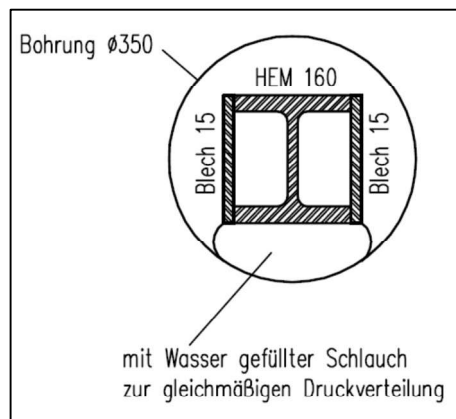


Abb. 4: Aufbau Widerlager an der Sohle

Tab. 2: Alternative 1: Vor- und Nachteile der Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern auf Planie und Sohle

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Relativ geringes Gewicht des Systems • Keine Hydraulikzylinder notwendig • Geringe Breitenunterschiede Kammer können ausgeglichen werden • Keine Einschränkung des Lichtraumprofils • Arbeitsschritt ‚Verspannung‘ nicht notwendig, Zeitersparnis • System nutzt Widerlager zum Lastabtrag • Praxiserprobtes Abdichtungssystem • Herstellung Widerlager auf Planie beeinflussen den Betrieb nicht • Widerlager Sohle können in den arbeitstäglichen Sperrpausen erstellt werden • Geringe Anzahl abzudichtender Fugen 	<ul style="list-style-type: none"> • Eingeschränkte Mobilität des Systems: vorab Festlegung der trocken zu legenden Abschnitte • Verkanten beim Einhebevorgang in Widerlager möglich • Installation: ausschließlich Einheben möglich • Füllen und Leeren der Schlauchsysteme nimmt Zeit in Anspruch • Zusätzliche Technik und Personal (Pumpen, Überwachung, Taucher) muss bereitgestellt werden • Hohe Genauigkeit bei Vorarbeiten erforderlich • In den Eckbereichen wird eine besondere Bauweise notwendig sein um zumindest ein Stoß von 2 Schläuchen durchführen zu können

3.1.3 Alternative 2: L-förmige Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in der Planie

Es wurde eine weitere Alternative entwickelt bei der die Vorarbeiten innerhalb der Kammer komplett wegfallen können. Eine schematische Darstellung dieses Systems ist in Abbildung 5 gegeben. Der Aufbau des Systems ist in Form eines Schnittes in Abbildung 6 dargestellt. Wie bei Alternative 1 sollen diese Widerlager in Form eines Bohrloches hergestellt werden. Allerdings werden bei diesem System ausschließlich zwei Widerlager in der Planie vorgesehen. Deren Aufbau ist identisch mit dem beschriebenen Aufbau aus Alternative 1.

An der Sohle soll kein Widerlager genutzt werden, um die horizontalen Lasten des Wassers in das Bauwerk abzutragen. Stattdessen ist die Rahmenkonstruktion L-förmig ausgebildet, damit die vertikalen Kräfte des Wassers positiv ausgenutzt werden können. An der Sohle befindet sich ein Blech mit einer Dicke von 16 mm, welches durch die Auflast des Wassers an die Sohle gedrückt wird. Ein Unterspülen soll die umlaufende Schlauchdichtung verhindern. Diese muss um den kompletten Rahmen herumgeführt werden. Ausgesteift wird das Blech durch mehrere parallel zur Dichtungsfläche verlaufende HEB 220 und senkrecht zur Dichtungsfläche verlaufende HEA 450 Profile. An der Sohle wird das System ausschließlich durch die Reibungskräfte zwischen dem Blech und der Schleusensohle gehalten. Wie das Auflager in der Planie ist auch die vertikale Dichtungsfläche baugleich mit den Komponenten aus Alternative 1.

Der wesentliche Vorteil dieser Variante besteht sicher darin, dass keine Vorarbeiten innerhalb der Schleusenkammer durchgeführt werden müssen. Dies hat allerdings zur Folge, dass das Gewicht des gesamten Systems deutlich höher ist als das der anderen beiden Systeme. Dies macht einen höheren maschinellen Aufwand beim Ein- und Ausbau des Dichtungssystems erforderlich. Zusätzlich muss beim Einbau unter dem Sohlblech eine größere Wassermasse verdrängt werden, was einen zusätzlichen Aufwand darstellt. Ein weiterer Nachteil ist sicherlich, dass an der Sohle das System die Lasten ausschließlich über Reibung abträgt. Zwar stellt dies rechnerisch kein Problem dar, diese Ergebnisse müssen vor einer Anwendung allerdings erst einmal aufgrund fehlender Erfahrungswerte über Versuche verifiziert werden.

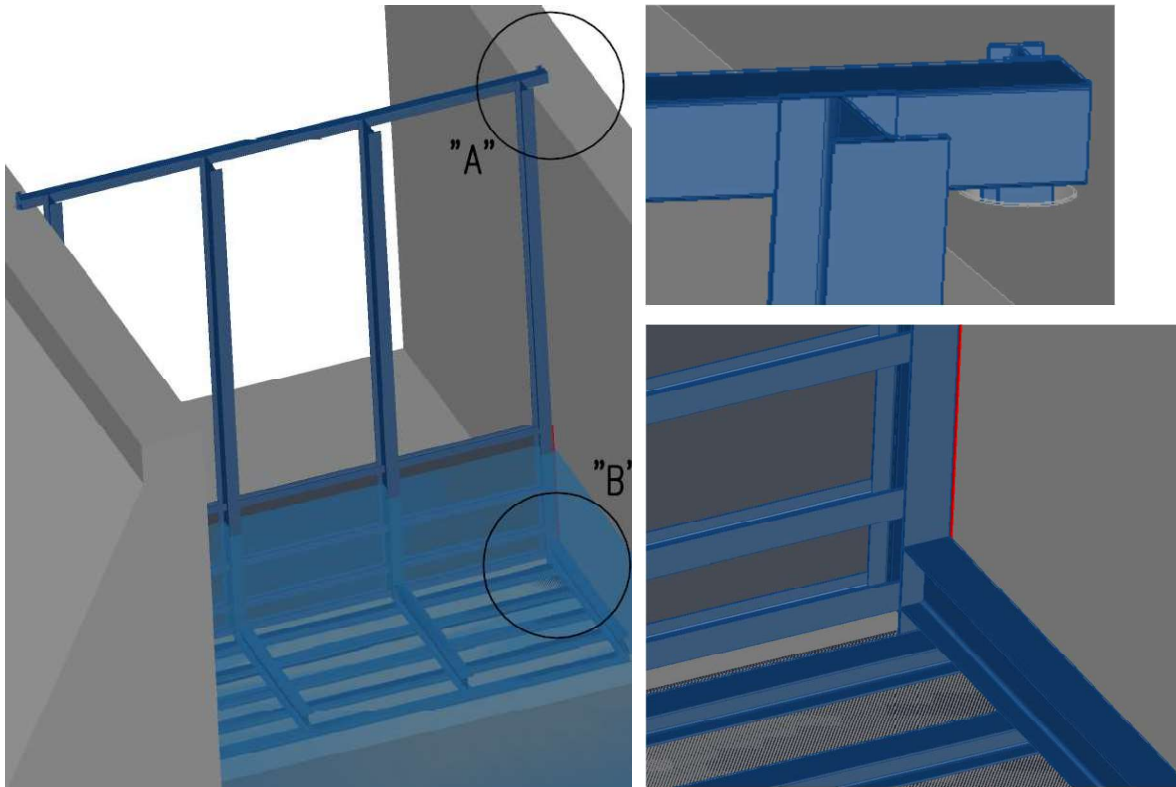


Abb. 5: Alternative 2: L-förmige Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in der Planie

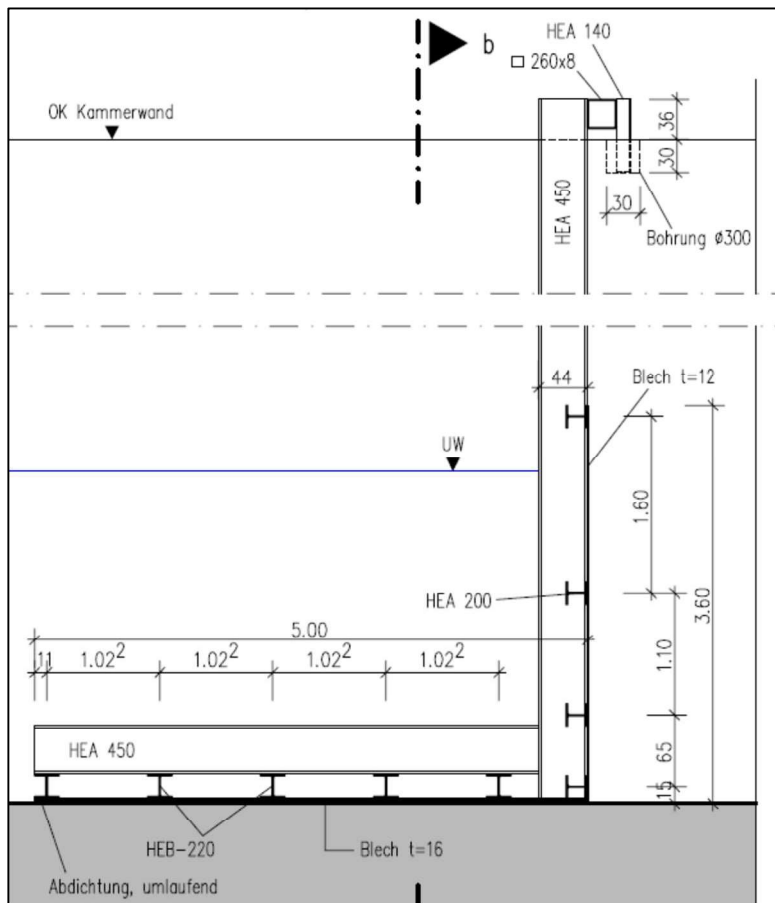


Abb. 6: Grundsätzlicher Aufbau

Tab. 3: Alternative 2: Vor- und Nachteile der L-förmigen Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in der Planie

Vorteile:	Nachteile:
<ul style="list-style-type: none"> • Keine Hydraulikzylinder notwendig • Geringe Breitenunterschiede Kammer können ausgeglichen werden • Keine Einschränkung des Lichtraumprofils • Arbeitsschritt ‚Verspannung‘ nicht notwendig, Zeitersparnis • Praxiserprobtes Abdichtungssystem • Herstellung Widerlager auf Planie beeinflussen den Betrieb nicht • Geringe Anzahl abzudichtender Fugen • Keine Vorarbeiten innerhalb des Kammerquerschnitts notwendig 	<ul style="list-style-type: none"> • Eingeschränkte Mobilität des Systems: vorab Festlegung der trocken zu legenden Abschnitte • Installation: ausschließlich Einheben möglich • Füllen und Leeren der Schlauchsysteme nimmt Zeit in Anspruch • Zusätzliche Technik (Pumpen, Überwachung) muss bereitgestellt werden • Beim Einhebevorgang muss eine große Menge an Wasser durch Sohlblech verdrängt werden • Relativ hohes Gewicht • Die Dichtungslinie ist deutlich länger als bei Alternative 1 (Risiko Fehlstellen steigt) • An den Ecken ist eine besondere Bauweise notwendig, um einen Stoß von zwei Schläuchen ausführen zu können

3.2 Bewertung Entwicklungskonzepte

Im Vorfeld einer Systemauswahl werden die vorgestellten Abschottungsvarianten miteinander verglichen und bewertet. Die in den Kap. 3.1.1 bis 3.1.3 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:

	Bewertung	Punkte
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.). Letztlich werden alle Systeme ohne Ausschlusskriterium nach Punkten in einer Rangliste bewertet. Zusätzlich wird die Information gegeben, ob ein System eingehoben/ingeschwommen werden kann oder ob hierfür weitergehende Untersuchung und Entwicklungstätigkeiten notwendig sind.

3.2.1 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.

3.2.2 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.

3.2.3 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.

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

3.2.5 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. 4: Bewertungsmatrix der verschiedenen Abschottungssysteme

	System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen	Alternative 1: Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in Planie und Sohle	Alternative 2: L-förmige Rahmen- konstruktion mit Loch- widerlagern in der Planie
Einheben			
Einschwimmen			
Kategorie: Ausschlussmerkmale (Wichtung: 4-fach)			
Lastabtrag/Sicherheit	+	+	0
Ein- und Ausbaugeschwindigkeit	+	+	+
Kategorie: Funktionsfähigkeit (Wichtung: 3-fach)			
Abdichtungssystem	+	0	0
Auswirkungen auf den Betriebszustand der Schleuse	0	+	+
Kategorie: Qualität (Wichtung: 2-fach)			
Installationsaufwand	+	+	+
Wartungs- und Reparaturaufwand	+	0	0
Variabilität in der Breite	+	0	0
Variabilität in der Höhe	+	+	+
Kategorie: Aufwand Vorplanung (Wichtung: 1-fach)			
Entwicklungsaufwand	+	0	0
Vorarbeiten Schleusenammer	-	0	+
Konstruktionskomplexität	+	0	0
Mobilität und Flexibilität	-	-	0
Kategorie: Handhabung (Wichtung: 1-fach)			
Gewicht	+	+	-
Platzbedarf Lagerung	+	+	0
Ergebnis: \sum Punkte	24,5	22	20,5

System kann eingehoben/ingeschwommen werden.

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

System kann nicht eingehoben/ingeschwommen werden.

Mithilfe der in Tabelle 4 abgebildeten Bewertungsmatrix kann ein Vergleich der vorhandenen Abschottungssysteme vorgenommen werden. Tabelle 5 stellt die aus der Bewertungsmatrix resultierende Rangordnung der zu vergleichenden Systeme dar.

Tab. 5: Rangordnung der Abschottungssysteme aus gewichteter Bewertung

Rang	Name	Σ Punkte (aus Tab.)	Ein- /Ausbauart
1	System 9: Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen	24,5	Einheben
2	Alternative 1: Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in Planie und Sohle	22	Einheben
3	Alternative 2: L-förmige Rahmenkonstruktion mit Lochwiderlagern in der Planie	20,5	Einheben

Aus der dargestellten Bewertungsmatrix (s. Tabelle 4) und der Rangfolge (s. Tabelle 5) lassen sich wesentliche Ergebnisse ableiten:

1. System 9 ist ein bewährtes System, welches im Hochwasserschutz bereits zur Anwendung gekommen ist. Dadurch ergeben sich in der Erstbewertung wesentliche Vorteile gegenüber den neu zu entwickelnden Alternativen. Der Wartungsaufwand ist relativ überschaubar und das Dichtungssystem ist in der Praxis erprobt. Außerdem können ungleichmäßige Wände durch die Vorfertigung der Führungsschienen ausgeglichen werden. Entgegen Alternative 2 ist das Gewicht relativ gering, was Vorteile in der Handhabbarkeit mit sich bringt. Der wesentliche Nachteil des Systems sind die Führungsschienen die im Rahmen einer vorlaufenden Schleusensperrung eingebaut werden müssen. Des Weiteren ist das System relativ unflexibel, da die Führungsschienen im Vorlauf gesetzt werden müssen und deshalb das Handeln von vorneherein eingeschränkt wird. Eine tiefergehende Betrachtung sowie Optimierungsansätze dieser Variante sind im ursprünglichen Projektbericht zu finden.
2. Alternative 1 schneidet in der Bewertung ähnlich gut ab wie System 9. Ein wesentlicher Vorteil dieser Alternative ist, dass die Bohrarbeiten für die Lochwiderlager in der Schleusensohle von einem Ponton aus durchgeführt werden können. Dies kann in den arbeitstäglichen Sperrpausen erfolgen wodurch die Schifffahrt nicht zusätzlich beeinträchtigt wird. Die Widerlager auf der Planie können sogar unabhängig vom Schleusenbetrieb hergestellt werden. Außerdem wird der Betriebszustand der Schleuse von diesem System nicht eingeschränkt. Einzige Einschränkung sind die Löcher in der Sohle die während des Betriebs ggf. verschlossen werden müssen, um Ablagerungen und Verschmutzungen in den Lochwiderlagern zu vermeiden.

Nachteilig gegenüber System 9 ist der höhere Technisierungsgrad des Systems. Durch die Anwendung von aufblasbaren Dichtungen muss mind. eine weitere Pumpe vorgehalten werden, um die Dichtung zu aktivieren und während des Betriebs zu regulieren. Ein weiterer Nachteil ist der Einsatz von aufblasbaren Dichtungen selbst. Zwar passt sich die Schlauchlösung an Unebenheiten an, aber der Schlauch muss nach jedem Einsatz auf Undichtigkeiten überprüft werden. Außerdem kann für den Einsatz eines solchen Systems auf wenige Praxiserfahrungen zurückgegriffen werden. Es wurden zwar einige Fachveröffentlichungen aus dem Spezialtiefbau ausfindig gemacht in denen Schlauchdichtungen als zusätzliche Dichtungsebene eingesetzt wurden, aber aus dem Wasserbau sind keine detaillierteren Ausführungen bekannt (vgl. Friedmann et al. (2013) und Schwarz et al. (2007)).

3. Der wesentliche Vorteil von Alternative 2 ist, dass keine Vorarbeiten innerhalb der Schleusenkammer erforderlich sind. Dadurch entfallen allerdings auch jegliche Widerlager innerhalb der Schleusenkammer. An der Sohle wird das System ausschließlich durch Reibkräfte gehalten, die durch das Eigengewicht des Systems und der Auflast des Schleusenwassers entstehen. Um ausreichend Reibfläche zu erhalten ist das System L-förmig konstruiert, was ein hohes Systemgewicht mit sich bringt. Außerdem müssen bezüglich des Dichtungssystems die für Alternative 1 beschriebenen Argumente berücksichtigt werden.

3.3 Voraussetzungen an die Schleusenkammer

Die 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. Wobei nicht garantiert werden kann, dass z. B. eine Injektion zu einer kompletten Abdichtung führt, da die Wasserwege in der Regel nicht eindeutig nachverfolgt werden können.

Das Abschottungssystem 9 dichtet gegen die in den Kammerwänden und der Kammersohle integrierten Führungsschienen ab, während die Alternativen 1 und 2 direkt gegen die Wand- und Sohloberfläche abdichten. Für den Einsatz letztgenannter Systeme ist daher eine geeignete Oberflächenbeschaffenheit und -form Voraussetzung. Größere Oberflächenausbrüche und –risse führen demzufolge zu einer

unzureichenden Abdichtung mit erhöhtem Leckagewassereintrag in das trocken gelegte Schleusensegment.

Weicht die Kammerwandoberfläche vergleichsweise stark von der Vertikalen ab, ist der Einsatz der Alternativen 1 und 2 aus geometrischen Gründen 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.

3.4 Optimierungsmöglichkeiten

Die Abschottungsvariante durch einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen bietet u. U. hinsichtlich der Systemausführung und des Bauablaufs verschiedene Optimierungsmöglichkeiten. Diese wurden im ursprünglich eingereichten Hauptbericht näher ausgeführt. Die beiden beschriebenen Alternativen wurden zum jetzigen Stand noch nicht weiter ausgearbeitet. Allerdings ist wiederholt anzumerken, dass diese ausschließlich für einen Wasserstand von drei Metern dimensioniert wurden. Sobald ein höherer Wasserstand eingestaut werden soll, müssen die Dimensionen der angesetzten Profile und Bleche erhöht werden. Die Auflager als wahrscheinlich kritischsten Punkte, müssten ebenfalls genauer untersucht werden. So kann z. B. darüber nachgedacht werden, ob es nicht sinnvoll ist die Wiederlager auf der Planie aufzubetonieren anstatt die Lasten über ein Lochwiederlager abzuleiten.

Darüber hinaus arbeitet die BAW an weiteren Möglichkeiten die partielle Trockenlegung zu ermöglichen. Hierbei werden auch komplett neue Ideen eingebracht. In diesem Zuge hat Herr Schmitz eine erste Konzeptidee erarbeitet, wie eine Gummi-Membran als Abdichtungssystem eingesetzt werden könnte. Erste Konzeptskizzen sind in den Abbildungen 7 und 8 zu sehen.

Der prinzipielle Aufbau kann wie folgt beschrieben werden. Eine leicht bauchig ausgeformte Membran wird über zu erstellende Nischen, die in gegenüberliegenden Positionen in die Kammerwände eingebaut werden, durch einführen fixiert. Die Abdichtung zu den Kammerwänden erfolgt über Dichtungsanschlüsse innerhalb der Nischen gegenüber mit Abdichtungsmaterial verkleideten Führungsstangen der Membran. Die Dichtung zur Sohle wird über eine vorgelagerte Verlängerung der Membran, ähnlich einer Schleppe, erreicht, die durch den anstehenden Wasserdruck für eine Abdichtung sorgt. In einem nächsten Schritt muss das System näher untersucht werden. Dazu gehört auch eine tiefergehende baubetriebliche Betrachtung des Vorschlags.

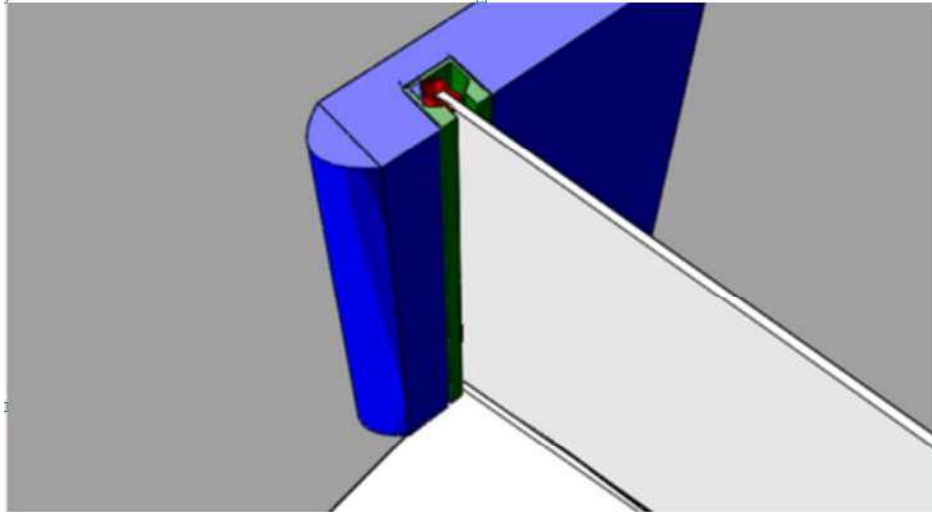


Abb. 7: Skizze zur Fixierung und Dichtung der Gummi-Membran in den Kammerwänden

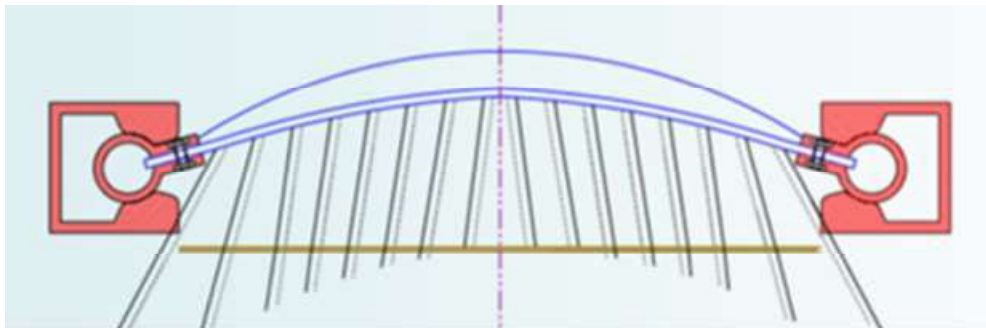


Abb. 8: Skizze zur Ausformung der vorgelagerten Verlängerung

4 Fazit

Ziel dieses Zusatzberichts war es erste alternative Systeme zur partiellen Trockenlegung zu erarbeiten und der Vergleich zur Vorzugsvariante aus dem Ursprungsbericht. Hierzu wurden die Vor- und Nachteile dieser Alternativen herausgearbeitet. Auf dieser Basis konnte ein Vergleich zwischen den Varianten erarbeitet werden. Die Variante 'Einhebbare Dammtafeln in vorgefertigten Führungsschienen' hat sich unter den angenommenen Randbedingungen abermals als die vorteilhafteste Variante herausgestellt. Das Potenzial der vorgestellten Alternativen wurde jedoch erkannt. Die Alternativen sowie die in Kapitel 3.4 vorgestellte Konzeptidee müssen jedoch näher untersucht werden, bevor eine endgültige Bewertung durchgeführt werden kann.