

# Wasserbau II

## Semesterbegleitende Hausübung

### Exkursionsbericht: Schleuse Iffezheim

Amrei David, Maik Solbrig, Lisa Banek, Lisa Marie Hecker, Anna Lüke, Martin Otto

WS13/14

Abgabedatum: 31.01.2014



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

---

**Folgende Kapitel wurden erstellt:**

<b>Einleitung und Hintergründe</b>	Martin Otto
<b>Grundlagen</b>	Amrei David, Lisa Marie Hecker
<b>Dokumentation</b>	Maik Solbrig, Lisa Banek
<b>Erfahrungen</b>	Anna Lüke, Rebecca Orschler
<b>Conclusio</b>	Maik Solbrig, Anna Lüke

---

## Inhaltsverzeichnis

---

Inhaltsverzeichnis	I
1.....Einleitung und Hintergründe	1
1.1.    Verwaltungsstrukturen am Oberrhein	1
2.....Grundlagen	3
2.1.    Bauweisen und Funktionsprinzip	5
2.2.    Schleusentore	6
2.3.    Befüllen der Schleusenkammer	7
2.4.    Schleusenkammer und Schleusenhaupt	8
2.5.    Benötigtes Schleusungswasser	10
2.6.    Sparschleuse	11
2.7.    Bemessung von Schleusenanlagen	12
2.8.    Wasserstrom und Schleusungszeit	14
2.9.    Berechnungen der Auftriebssicherheit einer Schleusenkammer	16
3.....Dokumentation	17
3.1.    Schleusenart	17
3.2.    Vorhafen	19
3.3.    Oberhaupt und Unterhaupt der Schleuse	20
3.4.    Drainage-System der Schleuse	24
3.5.    Befüllungssystem der Schleuse	25
3.6.    Poller und Haltekreuze	26
3.7.    Stoßschutz	27
4.....Erfahrungen	28
4.1.    Erfahrungen für die zukünftige Gestaltung von Schleusenanlagen	30
5.....Conclusio	32
Anhang	i
Abbildungsverzeichnis	iii
Literaturverzeichnis	v

---

## 1. Einleitung und Hintergründe

---

Im Rahmen unserer Exkursion der Lehrveranstaltung „Wasserbau II - Verkehrswasserbau, Gewässerentwicklung und Ökohydraulik“ haben wir am 17.01.2014 die Staustufe in Iffezheim besucht. Die Staustufe besteht im Wesentlichen aus drei Bauwerken. Ein Laufwasserkraftwerk, eine Schleuse und eine Fischaufstiegsanlage. Unsere Aufgabe war es einen Exkursionsbericht über die Schleuse Iffezheim zu verfassen. Dafür werden allgemeine Grundlagen im Schleusenbau- und Betrieb vorgestellt, die mit der Schleuse in Iffezheim verglichen werden. Außerdem werden Erfahrungen und Probleme aus dem Schleusenbetrieb aufgezeigt.

### 1.1. Verwaltungsstrukturen am Oberrhein

Der Rhein ist mit seinen Nebenflüssen (Neckar, Main, Mosel und Saar) die bedeutendste Wasserstraße in Deutschland. Etwa 70% der Verkehrsleistung der Binnenschifffahrt Deutschlands werden auf diesem Fluss erbracht. Aber nicht nur für die deutsche Wirtschaft spielt der Rhein eine große Rolle. Frankreich, die Beneluxstaaten und die Schweiz transportieren ebenfalls viele Güter über diese Wasserstraße. Die Schweiz bezieht nahezu all ihre Güter über die Binnenschifffahrt auf dem Rhein. Die Bewirtschaftung der Bundeswasserstraße Rhein übernehmen unterschiedliche Behörden. Das Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg (WSA) ist für die Bewirtschaftung des Rheins auf der 180km langen deutsch-französischen Grenzstrecke zuständig (Rhein-km 170,000 bis 352,070). Die Anfänge dieses Amtes lassen sich bis ins 19. Jahrhundert zurückverfolgen. Bereits 1823 wurde im Großherzogtum Baden die Wasser- und Straßenbauverwaltung organisiert. Erst ab Jahr 1953, nach Vereinbarungen zwischen dem Bundesverkehrsminister und dem Innenminister des Landes Baden-Württemberg, ging die Verwaltungshoheit an den Bund über.

Im Versailler Vertrag erhielt Frankreich 1919 für den Rhein als Grenzfluss zwischen Deutschland und Frankreich das alleinige Ausbaurecht. Daher sind die Staustufen Kembs (1932), Ottmarsheim (1952), Fessenheim (1956), Vogelgrun (1959), Marckolsheim (1961), Rhinau (1963), Gerstheim (1967) und Straßbourg (1970) in alleiniger Regie Frankreichs errichtet worden. Den Betrieb dieser wasserbaulichen Anlagen übernehmen sie ebenfalls. Ausnahmen bilden die Staustufen Gamsheim und Iffezheim. Diese wurden in deutsch-französischer Zusammenarbeit errichtet (1974 bzw. 1977). Dabei wird das Laufwasserkraftwerk in Gamsheim durch die Électricité de France SA (EDF) betrieben und das Kraftwerk in Iffezheim durch die EnBW Energie Baden-Württemberg AG betrieben. Die Unterhaltung der zur Staustufe in Iffezheim gehörigen Schleuse wird vom WSA Freiburg wahrgenommen. Die Arbeiten an übrigen Wasserstraßeninfrastrukturen des Oberrheins erfolgen aufgrund der deutsch-französischen Verträge über den Oberrheinausbau. Neben der Schleuse Iffezheim gehört die Einkammerschleuse Breisach, 45 Brücken, 20 Schiffsliegeplätze und Telematikanlagen für die Schifffahrt zum weiteren Bewirtschaftungsraum des WSA Freiburg.

---

Neben der Instandhaltung der Bauwerke und der Gewässerinfrastruktur gehört auch die Pflege und Entwicklung des Gewässers zum Aufgabenbereich des WSA Freiburg. Dabei sind die Belange des Naturhaushaltes sowie Freizeit- und Erholungswert zu bewahren. Wichtige Grundlage hierfür ist die EU-Wasserrahmenrichtlinie. Dennoch steht der Naturschutz immer in einem Konflikt mit der Schiffbarkeit des Flusses. So muss auch darauf geachtet werden, dass Fahrwassertiefen im Rhein eingehalten werden. Dafür muss das Flussbett in regelmäßigen Abständen ausgebaggert oder Geschiebe hinzugegeben werden. Die Geschiebezugabe erfolgt ebenfalls in Iffezheim. Weiterhin müssen die Rheinseitendämme in den Stauhaltungen von Kembs bis Iffezheim fortlaufend auf ihren Zustand überprüft werden. Dabei ist insbesondere die Sicherheit gegen Materialtransport, die Standsicherheit unter Erdbebeneinwirkung und die Überprüfung der Freiborde wichtig. Des Weiteren arbeitet das WSA Freiburg an der Umsetzung der Hochwasserschutzprojekte des Integrierten Rheinprogramms. Die wesentlichen Ziele des Programms sind die Wiederherstellung des Hochwasserschutzes am Oberrhein und die Renaturierung und der Erhalt der Oberrheinauen.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Vgl.: Broschüre: Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg

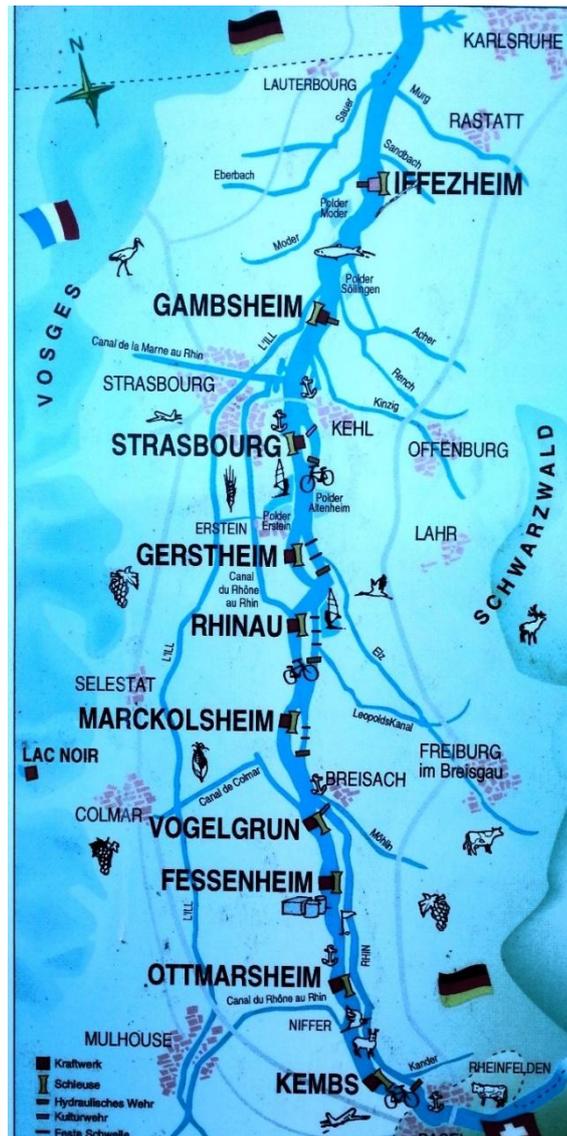


Abbildung 1: Wasserbauliche Infrastrukturen am Oberrhein

## 2. Grundlagen

Eine Schleuse ist ein Wasserbauwerk, das Schiffen, Booten und weiteren Wasserfahrzeugen ermöglicht, Wasserstandunterschiede zu bewältigen. Der Wasserstandunterschied zwischen einzelnen Abschnitten auf einer Wasserstraße kann durch verschließbare Staustufen oder Kanalstufen überwunden werden. Sie bilden die **Schleusenkammer** und sind mit **Ober-** und **Unterhaupt** die Hauptbestandteile einer Schleuse. Der Übergang zwischen Einfahrt (Ausfahrt) der Schleuse und der Wasserstraße wird als **Vorhafen** bezeichnet. Jede Schleuse besitzt zwei Vorhäfen, jeweils einen oberen und einen unteren Vorhafen. Der obere Vorhafen befindet sich im Oberwasser, dort, wo der Wasserstand höher ist, der untere Vorhafen im Unterwasser bei dem niedrigeren Wasserstand. Der Vorhafen dient als Warteplatz für die ankommenden Schiffe. Das Ein- und Ausfahrmanöver kann bis zu 70% der Zeit, die für den Schleusenvorgang benötigt wird, beanspruchen, sodass hier die richtige Bemessung der Gesamtanlage wichtig ist. Den Übergang von der Schleuse zum Vorhafen schafft das

---

**Leitwerk.** Dieses wird mit einer Neigung von der Schleusenkammer zum Vorhafen erbaut. Das Leitwerk „leitet“ die Schiffe vom Vorhafen in die Schleuse. Zusätzlich gehört zu Kanalschleusen noch ein Pumpwerk, welches den Wasserverlust beim Schleusungsvorgang ausgleichen kann.

Schleusungsvorgänge werden nach der Beförderung in Ober- oder Unterwasserrichtung unterschieden. Bei einer **Bergschleusung** wird das Wasserfahrzeug vom Unter- in das Oberwasser befördert, hingegen bei einer **Talschleusung** das Wasserfahrzeug vom Ober- in das Unterwasser befördert wird. In der Regel wird sowohl bei der Berg- als auch bei der Talschleusung zu Beginn das Schleusentor geöffnet, damit das Wasserfahrzeug in die Schleusenkammer hinein fahren kann. Danach wird das Schleusentor wieder verschlossen und der gewünschte Wasserstand, von Ober- oder Unterwasser, wird in der Schleusenkammer durch das Befüllen eingestellt, sodass das Wasserfahrzeug nach dem Öffnen des anderen Schleusentors aus der Schleuse direkt in den gewünschten Wasserabschnitt ausfahren kann (s. Abbildung 2). Die zu überwindende vertikale Höhendifferenz zwischen Ober- und Unterwasserspiegel wird als **Hubhöhe** bezeichnet.

Finden Berg- und Talschleusung im Wechsel statt, spricht man von einer **Kreuzungsschleusung**. Überwiegt eine Art der Schleusung, so spricht man von **Richtungsschleusung**.

Unterschieden werden Schleusen nach ihrer Bauweise, ihrem Funktionsprinzip und dem Standort. Hinsichtlich des Standorts wird zwischen Binnen-, See- und Hafenschleuse unterschieden. Jedoch kann eine Schleuse auch Merkmale unterschiedlicher Schleusentypen besitzen. Eine **Seeschleuse** stellt die Verbindung von einer Seewasserstraße zu einem tidefreien Hafenbecken dar und ist in den Abmessungen (Länge und Breite) deutlich größer, wohingegen die Hubhöhe gegenüber Binnenschiffahrtsschleusen niedriger ist. Bei **Binnenschiffahrtsschleusen** kann zusätzlich zwischen der Fluss- und der Kanalschleuse unterschieden werden. Eine **Flussschleuse** schafft die Möglichkeit einen durch Staustufen und Wasserkraftnutzung unterbrochenen Fluss schiffbar zu machen. Eine **Kanalschleuse** dient der Überwindung des Höhenunterschiedes in Schifffahrtskanälen. Hier ist die Wasserspiegeldifferenz meist konstant.

Schleusen werden in der Regel bis zu einer Fallhöhe von 25 Metern eingesetzt. Bei größeren Wasserunterschieden, sind Schiffshebwerke notwendig oder es werden mehrere Fallstufen in Reihe geschaltet. Der Spielraum der Hubhöhe geht jedoch weiter. Er reicht von wenigen Metern bis zu Hubhöhen von 43m (Schleuse Shunpai, China). Unter wirtschaftlicher Betrachtung ist es sinnvoll, mit möglichst wenigen Fallstufen auszukommen.

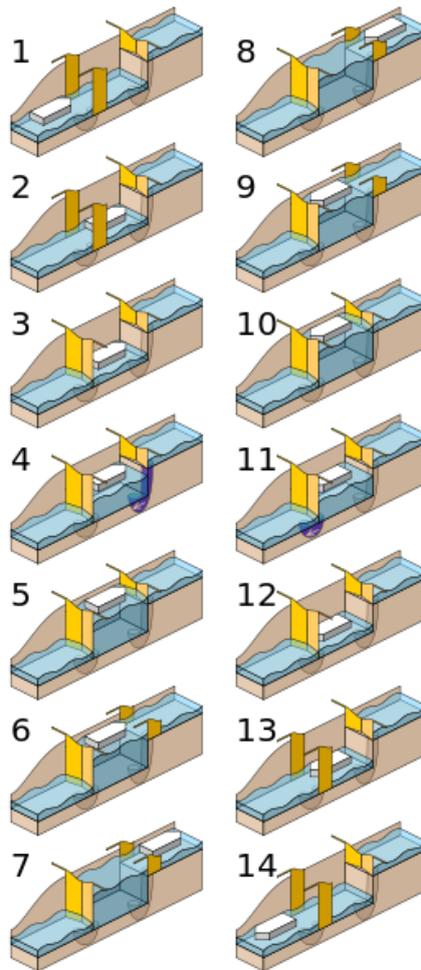


Abbildung 2: Schleusen eines Wasserfahrzeuges

## 2.1. Bauweisen und Funktionsprinzip

Die am häufigsten eingesetzte Binnenschiffahrtsschleuse ist die **Kammerschleuse**. Sie wird vor allem bei kleinerer Hubhöhe an Flüssen und Kanälen eingesetzt. Bei größerer Hubhöhe sind die notwendigen Tore zu groß, sodass der untere Teil der Schleuse fest mit Beton ausgebildet wird. Die Betonwand bewirkt eine Aussteifung der Schleusen-kammerwände und reduziert die Bauhöhe für den Verschluss. Diese Schleuse wird auch als **Schachtschleuse** bezeichnet.

**Zwillingsschleusen** sind Schleusen mit mehreren nebeneinander liegenden Kammern, bei denen die Kammern untereinander hydraulisch gekoppelt sind. Hier kann ein gegenseitig entgegen gesetzter Betrieb während die eine Schleuse vollläuft, das Wasser bis zu einem Ausgleich der Wasserspiegellhöhe der beiden Schleusen aus der leer laufenden Schleuse entnehmen.

Im Falle, dass mehrere Schleusen nebeneinander errichtet werden, welche unabhängig voneinander betrieben werden können, spricht man von **Parallelschleusen**. Häufig können auch Schleusen unterschiedlicher Größe nebeneinander im zeitlichen Abstand voneinander errichtet werden. Erst

---

findet der Bau einer Schleuse statt, der Platz für eine Zweite ist bereits geplant und im Laufe der Entwicklung der Binnenschifffahrt wird diese dann errichtet.

Sind mehrere Schleusen bei hohen Geländesprüngen hintereinander geschaltet, dann bildet das Untertor der einen Schleuse das Obertor der dahinter geschalteten Schleusenkammer (**Zwischenhaupt**). Zusätzlich kann sich zwischen den Schleusenkammerstufen auch noch eine **Zwischenhaltung** befinden. Diese Anordnung von Schleusenkammern wird als **Schleusentreppe** bezeichnet.

## 2.2. Schleusentore

Eine Schleuse besteht aus mindestens einer Schleusenkammer mit jeweils zwei Schleusentoren, welche niemals gleichzeitig geöffnet sein können. Das Schleusentor muss dem Wasserdruck standhalten und dicht sein, was mit zusätzlichen Dichtungen zwischen Tor und Schleusenaupt erreicht werden kann. Zusätzlich sollte es sich leicht bewegen können. Es gibt verschiedene Ausführungsarten von Toren. Hierzu zählen: Stemmtore, Klappstore, Hub- und Senktore und Schiebetore.

Ein **Stemmtor** (Abbildung 3) besteht aus zwei Torflügeln, welche jeweils über eine senkrechte Achse (Wendesäule) gelagert sind. Im geschlossenen Zustand bilden sie durch aneinander treffen an der Schlagsäule ein Dreieck mit einem bestimmten stumpfen Neigungswinkel, sodass der Wasserdruck auf die Wand des Schleusenhauptes übertragen wird.

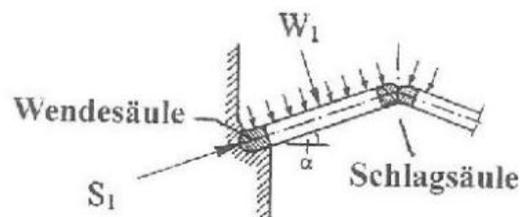


Abbildung 3: Funktionsweise Stemmtor

Ein **Klappstor** (Abbildung 4<sup>2</sup>) ist über eine auf dem Boden liegende horizontale drehbare Achse mit der Sohle verbunden. Hier kann das Tor zum Öffnen auf den Boden in eine dafür vorgesehene Torkammer geklappt werden, beim Schließen stützt es sich gegen entsprechende Vorsprünge im Schleusenaupt, sodass die Wasserdruckkraft auf das Schleusenaupt übertragen wird. Ein Klappstor wird vorwiegend am Obertor eingesetzt. Eine Hohlraumöffnung in der Klappstorwand bewirkt durch entsprechendes Befüllen mit Pressluft ein Auf- oder Zuklappen des Tores. Der Befüllvorgang eines Klapptores erfolgt über einen zusätzlichen Füllquerschnitt zwischen Drempe wand und Tor, welcher beim Klappen des Tores freigegeben wird.<sup>3</sup>

---

<sup>2</sup> Vorlesungsunterlagen, Wasserbau II; Verkehrswasserbau C

<sup>3</sup> Vgl. Hans-Werner Partensky, 1986, S.49

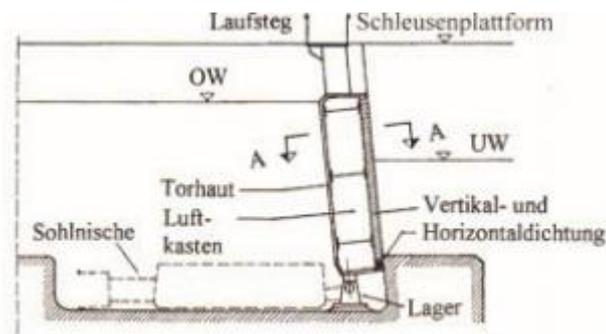


Abbildung 4: Funktionsweise Klapptore

Als weitere Ausführungsart sind das **Hub-** und das **Senktor** zu nennen (Abbildung 5). Hier erfolgt die Öffnung der Schleusenammer durch Aufziehen des Tores nach oben (Hubtor), wobei das Schleusentor um das Eigengewicht zu verringern noch zusätzlich mit einem Gegengewicht ausgestattet ist.<sup>4</sup> Als nachteilig für das Hubtor sind die zusätzlich entstehenden hohen Windlasten zu verstehen. Das Hubtor kann auch zum Leeren der Schleuse verwendet werden. Dann wird es um 0,8-1m angehoben, sodass das Wasser unter dem Tor hindurch strömen kann. Hier ist aus erosionstechnischen Gründen eine entsprechende Gestaltung eines Tosbeckens gegen Kolkenstehung hinter der Schleusenammer nötig.<sup>5</sup>



Abbildung 5: Ausführungsart eines Hubtores<sup>6</sup>

### 2.3. Befüllen der Schleusenammer

Das Befüllen der Schleusenammer kann auf drei unterschiedliche Arten erfolgen. Entweder kann es durch die Tore selbst geschehen. Hier wird das Tor entweder leicht angehoben oder versenkt, sodass das Wasser das Tor über- oder unterströmen kann. Als weitere Möglichkeit können Umlaufkanäle mit Abschlussorganen um die Tore errichtet werden, und die Kammerbefüllung findet über Öffnungen in der Schleusenammerwand statt. Als weitere Möglichkeit kann die Kammer über ein Grundlaufsystem

<sup>4</sup> Vgl. <http://de.academic.ru/dic.nsf/technik/19660/Schleusentor> (25.01.14)

<sup>5</sup> Vgl. Eberhard Lattermann, 2010, S.225

<sup>6</sup> [http://www.wsa-b.de/archiv/massnahmen\\_archiv/2004/schl\\_grosse\\_traenke/index.html](http://www.wsa-b.de/archiv/massnahmen_archiv/2004/schl_grosse_traenke/index.html)(29.01.14)

---

über bodenseitig gelagerte Kanäle verbunden werden, welche dann zur Befüllung oder Entleerung geöffnet werde. Bei dieser Befüllart sind auch bei großen Kammerabmessungen ruhige Verhältnisse für das Schiff möglich.

#### 2.4. Schleusenkommer und Schleusenkommer

In den massiven Bauteilen von Ober- und Unterhäuptern der Schleuse sind das Schleusentor und zusätzlich auch die Vorrichtung zum Befüllen und Entleeren der Schleuse, sowie nötige Verschlussorgane für Reparaturzwecke eingebracht. Zwischen den beiden Schleusenbauteilen Ober- und Unterhaupt befindet sich die **Schleusenwand**, die je nach Belastungssituation unterschiedliche Ausgestaltung haben kann. Hierbei sind die Hubhöhe der Schleuse, der Grundwasserstand und die Untergrundverhältnisse zu berücksichtigen.<sup>7</sup> Eine Schleusenwand aus biegesteifen Stahlbetonhalbrahmen ist meist die wirtschaftlichste und auch kostengünstigste Lösung. Bei kleinerer Hubhöhe besteht auch die Möglichkeit des Baus der Schleusenwand aus Stahlspundbohlen. Diese müssen in den Untergrund eingerammt werden, weshalb ein rammfähiger Untergrund notwendig ist. Zusätzlich ist noch eine Ankerbefestigung im Untergrund notwendig. Spundwandschleusen können aber nur Oberwasser gefüllt und Unterwasser entleert werden. Es besteht nicht die Möglichkeit von Grund- oder Längsumläufen, sodass die Kammerabmessungen und die Hubhöhe nicht zu hoch sein sollten, da dies einen zu großen Zeitaufwand für den Schleusungsvorgang bedeuten würde.

Zwischen Schleusenkommer und Schleusentor, sowie den Häuptern sind Dichtungen notwendig, damit kein Wasser oder Erdteilchen durchdringen kann.

Die **Schleusenkommer** sind massive Bauteile, welche in der Bauweise bei hoher Hubhöhe meist von der Schleusenkommer getrennt und bei kleinerer Hubhöhe mit dieser verbunden werden. Ober- und Untertor müssen gegen Unter- und Umläufigkeit und gegen Auftrieb gesichert werden. Zusätzlich befinden sich in den Schleusenkommer meist Vorrichtungen zum Einbringen von **Notverschlüssen**, zum Beispiel von Dammbalken in einem dafür vorhergesehenen Falz. Dieser Notverschluss dient dem Trockenlegen der Schleusentore bei Reparaturmaßnahmen. Der **Drempel**, welcher die Verbindung zwischen Kanalsole und Kammersohle herstellt, kann entweder hoch- (auf Höhe der Einfahrtssole) oder tiefliegend (bei Flussschleusen, 1-2m über der Kammersohle) eingebaut werden. Entsprechend der Lage wird dieser als hoch- oder tiefliegender Drempel bezeichnet. Die **Kammersohle** kann entweder durchlässig sein, dann ist darauf zu achten, dass die Schleuse aufgrund der mangelnden Steifigkeit und des entstehenden Sohlwasserdruckes nicht ohne Weiteres einfach entleert werden kann. Eine andere Gestaltungsform ist eine durchgehende Gewichtssohle aus Betonplatten über einer Kiesschüttung. Hier kann die Kammer trotz des wirkenden Sohlwasserdruckes entleert werden. Als dritte Form kann die Sohle gemeinsam biegesteif mit der Schleusenkommerwand verbunden werden,

---

<sup>7</sup>Vgl. Hans-Werner Partensky, 1986, S. 39

sodass sie gemeinsam mit dieser einen Stahlbetonhalbrahmen bildet. Hier ist ebenfalls eine hohe Stabilität auch bei Schleusenkammerentleerung vorhanden. Zusätzlich gibt es für das ruhige Einströmen des Wassers in das Schleusenbecken ein Tosbecken zwischen Drempehwand und Schleusenammer. Ansonsten ist die bauliche Gestaltung des Ober-/Unterhauptes von der Wahl des Ober-/Untertors abhängig.

Bei Schleusen mit tiefliegendem Drempe, wie Flussschleusen kann die Schleuse bei extremen Hochwasser auch zu dessen Abführung mit herbei gezogen werden. Die Drempehöhe bestimmt den maximalen Tiefgang der durchfahrenden Schiffe. Eine gelbe farbliche Markierung signalisiert dem Schiffer die Lage des Dremfels, sodass dieser den nötigen Sicherheitsabstand einhalten kann. Besonders bei Talfahrten ist dies zu berücksichtigen, da das Risiko des Auffliegens für das Schiff besteht. Zusätzlich wird der Einfahrtswiderstand des Schiffes durch die Lage des Dremfels bestimmt. Fährt ein Schiff in die Schleuse ein, verdrängt dieses Wasser durch den Schiffbauch (Abbildung 6). Das verdrängte Wasser muss unter dem Schiff zurück fließen. Der Widerstand ist größer, wenn die Durchflussfläche geringer ist. Das Querschnittsverhältnis zwischen freiem Schleusenquerschnitt und Schiffsquerschnitt soll mindestens 2 betragen (siehe Formel (1)).

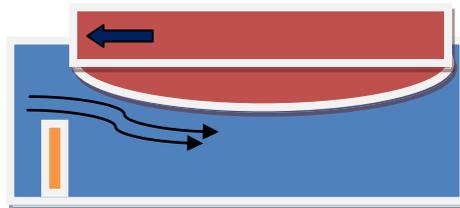


Abbildung 6 Wasserverdrängung am Drempe

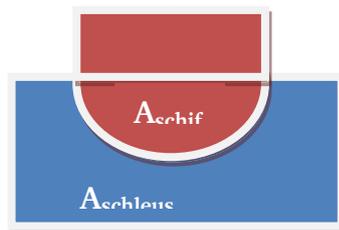


Abbildung 7 Querschnittsverhältnis zwischen freiem Schleusenquerschnitt und Schiffsquerschnitt

$$\text{Verhältnis: } V = \frac{A_{\text{Schiff}}}{A_{\text{Schleuse}}} \geq 2 \quad (1)$$

Auch im Unterhaupt ist unabhängig von der Art des Entleerungssystems ein Tosbecken unmittelbar hinter dem Untertor erforderlich.

---

Die Kammerwände müssen entsprechend den Anforderungen an die Binnenschifffahrt genügen. Da das Boot in der Schleuse aus Sicherheitsgründen nicht frei herum schwimmen soll, muss dieses von der Schiffsbesatzung an der Schleusenwand befestigt werden. Hierfür gibt es extra **Befestigungspoller** (Kanten- und Schwimmpoller). Schwimmpoller bewegen sich entsprechend der Entleerung der Schleuse mit herab oder beim Füllvorgang der Schleuse herauf. Zusätzlich dienen **Steigleitern** der Schiffsbesatzung zum Auf- und Absteigen aus der Schleuse. Diese können auch bei leerer Kammer zur Revision oder für Reparaturarbeiten innerhalb der Schleusenammer genutzt werden.

Des Weiteren gibt es aus Sicherheitsgründen **Stoßvorrichtungen**. Diese bewirken, dass im Falle des Auffahrens des Schiffes auf den Prallbalken oder gegen das Untertor es nicht zu größerem Aussetzen der Schleuse kommt. Es sollten Stoßeinrichtungen am Ober- und Untertor angebracht werden. Am gefährdetsten sind hier die Schiffe, die von Oberwasser her in die Schleuse fahren, nicht rechtzeitig fest machen und gegen das Untertor fahren.

## 2.5. Benötigtes Schleusungswasser

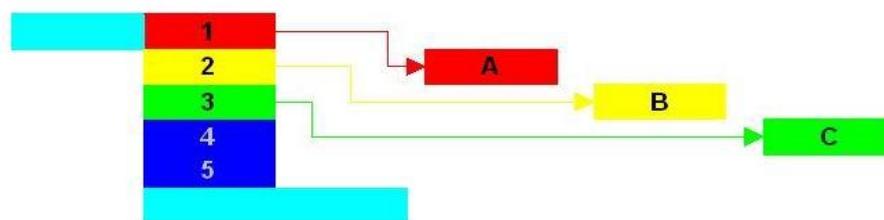
Die Schleusung ist ein Vorgang der in fließenden Gewässern ohne Probleme abläuft. Das benötigte Wasser wird aus dem Oberwasser entnommen und in das Unterwasser abgelassen. Dies führt bei jedem **Schleusenzyklus** (Berg- und Talschleusung) zu einem Wasserverlust, sodass dieses Wasser entweder durch natürlichen Zufluss oder Pumpen ersetzt werden muss. Problematisch ist ein solcher Vorgang an Scheitelpunkten mit geringem natürlichem Gewässerfluss, da sich das Gewässer folglich dann talabwärts entleeren würde. Um dies zu vermeiden werden Maßnahmen, wie die Wassereinleitung aus natürlichen Gewässern, geringere Wasserfahrzeugs Schleusung, Zurückpumpen des Schleusungswassers in das Oberwasser, Bau eines Schiffhebewerks oder das Speichern des Schleusungswassers in Sparkammern, ergriffen. Eine **Sparkammer** kann hier einen 30-70% geringeren Wasserbedarf bedeuten. Bei Zwillingschleusen ist eine Reduktion von bis zu 50% möglich. Zwillingschleusen sind Schleusen mit mehreren nebeneinander liegenden Kammern, bei denen die Kammern untereinander hydraulisch gekoppelt sind. Hier kann ein gegenseitig entgegen gesetzter Betrieb während die eine Schleuse vollläuft, das Wasser bis zu einem Ausgleich der Wasserspiegelhöhe der beiden Schleusen aus der leer laufenden Schleuse entnehmen.

Zusätzlich entstehen bei der Füllung und Entleerung, dadurch dass viel Wasser zum gleichen Zeitpunkt entnommen wird, sogenannte **Sunk-** oder **Schwallwellen**. Dies kann an den im Vorhafen liegenden Schiffen zu Beschädigungen führen. Hier sind die Verhältnisse bei Kanalschleusen, da das komplette Wasser aus den Vorhäfen entnommen werden muss, bei Flussschleusen aber eine Trennung zwischen Vorhafen und Stauhaltung vorhanden ist, besonders zu berücksichtigen.

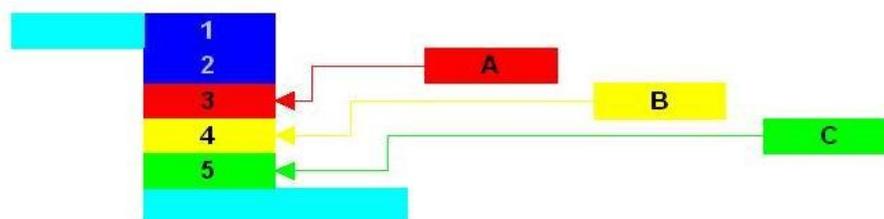
## 2.6. Sparschleuse

Eine Sparschleuse besitzt in der Schleusenammer seitlich angebrachte Sparbecken. Sie dienen zur Wasserspeicherung. Durch Absperrorgane wird das Wasser reguliert. Bei einer talwärts Schleusung werden die Sperrorgane geöffnet und das Oberwasser findet Speicherraum in den Sparbecken. Im Falle der kompletten Befüllung wird das Sparbecken versperrt. Durch diesen Vorgang wird der Wasserspiegel in der Schleusenammer sukzessive herabgesetzt bis der Wasserstand des Unterwassers erreicht ist. Je nach Anforderung wird das Wasser in den Sparbecken gespeichert oder entleert. In Abbildung 8 ist das Prinzip der Sparschleuse bei einer Tal- und einer Bergschleusung dargestellt. Die zwei hellblauen Balken stellen das Ober- und Unterwasser dar. Die unterschiedlich farbig nummerierten Kästchen symbolisieren die jeweiligen Sparbecken auf unterschiedlicher Höhe. Je nach Befüllung oder Entleerung begibt sich das Wasserfahrzeug auf die herabgesenkte oder angehobene Ebene, die durch die Kästchen mit den Buchstaben gekennzeichnet sind. Veranschaulicht wird der Bewegungsvorgang durch die Verbindung mit den Pfeilen.

### Funktionsprinzip einer Sparschleuse



**Talschleusung: Auffüllen der Sparbecken**



**Bergschleusung: Entleeren der Sparbecken**

Abbildung 8: Funktionsprinzip einer Sparschleuse<sup>8</sup>

Die Sparschleuse benötigt durch ihre Sparbecken keine Pumpen, d.h. es wird Energie eingespart. Außerdem wird durch die Sparschleuse eine Entleerung der Kanalwasserstraße vermieden.

Der durch die Sparbecken eingesparte Wasserverbrauch lässt sich durch mathematische Bemessungen berechnen. Formel 2 zeigt die Änderung des Wasserverbrauchs durch die Installation eines Sparbeckens.

<sup>8</sup> [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bc/Funktionsschema\\_Sparschleuse.jpg/550px-Funktionsschema\\_Sparschleuse.jpg](http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/b/bc/Funktionsschema_Sparschleuse.jpg/550px-Funktionsschema_Sparschleuse.jpg) (23.01.2014)

---

$$\frac{\text{Wasserverbrauch mit Sparbecken}}{\text{Wasserverbrauch ohne Sparbecken}} = 1 - \frac{n}{n+2} \quad (2)$$

Der Faktor  $n$  gibt Anzahl an Sparbecken an. Folglich wird der Spareffekt durch die Anzahl der Sparbecken erhöht. Proportional dazu wachsen Platzbedarf und die dabei entstehenden Baukosten an. Um einen angemessenen Amortisierungsgrad zu erlangen, wird in der Regel pro Schleusenammer drei Sparbecken installiert, die eine Wassermenge von insgesamt 60 % einsparen.<sup>9</sup> Eine solche Sparschleuse befindet sich im Verbindungskanal Nord zur Weser. Abbildung 9 zeigt die Schachtschleuse Minden.<sup>10</sup>



Abbildung 9: Schachtschleuse Minden

## 2.7. Bemessung von Schleusenanlagen

Die Abmessungen der Schleusenammer sind abhängig von der Art und Größe der durchfahrenden Schiffe. Bestimmend sind hierbei die größten auf der Wasserstraße verkehrenden Schiffe und Schiffsverbände. Ab der Wasserklasse IV spricht man von einer Wasserstraße mit internationaler Bedeutung. Es wird empfohlen internationale Wasserstraßen nach der Wasserklasse Vb auszubauen. Das entspricht einem Schubverband mit 185m Länge und 11,5m Breite. Zusätzlich soll bei der Planung von Schleusenanlagen auf mögliche Entwicklungstendenzen in der Binnenschifffahrt eingegangen werden, da ein Umbau im Nachhinein sehr kostenintensiv ist. Die Abmessungen der Schleuse ergeben sich durch die auf der jeweiligen Wasserstraße größten zugelassenen Schiffe und Schiffsverbände. Als variable Größen gibt es zunächst die Länge  $L$  der Kammer, wobei hier noch unterschieden werden kann zwischen der **nutzbaren Kammerlänge**  $L_n$  aufgrund von einzuhaltenden Sicherheitsabständen  $S$  und der gesamten Kammerlänge  $L_n = L_{ges} - S$ . Die Sicherheitsabstände am Ober- und Unterhaupt betragen in der Regel je 3m. Anlagen der europäischen Wasserstraßenklasse IV besitzen in der Regel eine nutzbare Länge von 115m, Schleusen einer Wasserstraße der Klasse Vb eine Länge von 190m bei Wasserstraßen der höheren Klasse sind die Längen auch dementsprechend höher.

---

<sup>9</sup> Vgl. Eberhard Lattermann, 2010.

<sup>10</sup> Vgl. <http://www.fen-net.de/er/stadtteile/kanal/kanal.htm>, (23.01.14)

Die lichte Weite der Kammerbreite wird bei Kanalschleusen mit 12-12,5m angenommen, kann bei großen Wasserstraßen, wie Rhein oder Donau aber auch doppelt so breit sein. Die angegebene Breite der Kammerschleuse entspricht im Allgemeinen auch der nutzbaren Kammerbreite.

Die Drempeltiefe bestimmt auch den Einfahrwiderstand des Schiffes. Hierbei soll das Verhältnis der Querschnittsfläche der Schleuseneinfahrt zum eingetauchten Schiffsquerschnitt nicht geringer als 2 sein.

Das Schleusentor sollte 0,5-1m über dem höchsten Oberwasserstand liegen.

Die Höhe der Schleusenkammer wird durch den jeweilig zu überwindenden Höhenunterschied bestimmt. Bei Flüssen der Wasserstraße mit der Klasse IV ist die Hubhöhe zwischen 3-25m.

Die unten stehende Abbildung 10 zeigt hier die typische Anordnung einer Schleuse mit den genannten beispielhaften Abmessungen.

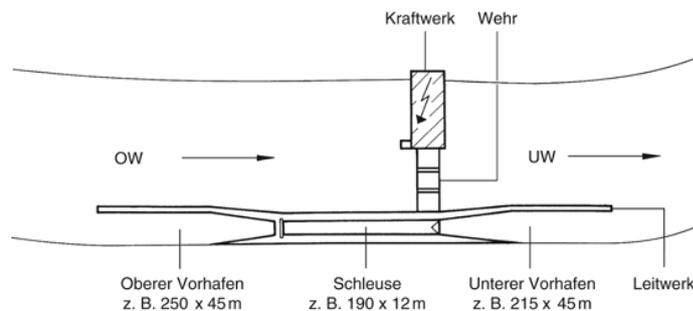


Abbildung 10: Typische Schleusenordnung einer Flussschleuse mit Abmessungen

Da die Schleusenkammer heutzutage meist rechteckförmig gebaut wird, bestimmen Länge, Breite und Höhe der Schleuse auch das für einen Schleusungsvorgang benötigte Wasservolumen  $V$ .

$$V = L_{ges} * B * H \quad (3)$$

Die Schleusenkammer, sowie Ober- und Unterhaupt müssen hinsichtlich Stand- und Gleitsicherheit getestet werden. Hierbei sind die vorhandenen Untergrund- und Grundwasserhältnisse zu beachten. Als Kräfte sind Eigengewicht, Erd- und Wasserdruck und Auftriebskräfte zu berücksichtigen. Zusätzlich sind Kräfte durch Schiffsstoß, Trossenzug, Winddruck durch Aufbauten, Temperaturkräfte und Eisdruckkräfte zu beachten. Hinzukommend können über das Jahr verteilt verschiedene Belastungen durch sich verändernde Bedingungen, wie zum Beispiel Schwankung des Grundwasserstands auftreten. Es können unterschiedliche Belastungszustände unterschieden werden. Zum einen gilt die Bemessung für die Normalsituation, dann bei extremen OW- und UW- Ständen und bei leerer Schleusenkammer mit hohem Grundwasserstand.

Hinsichtlich der zusätzlichen Kräfte können folgende Werte angenommen werden:

- Kräfte aus Schiffsstoß: 100kN auf 25m<sup>2</sup>
- Kräfte aus Trossenzug: 200kN
- Kräfte aus Eisdruck: 10kN/m

- Flächenbelastung durch ein auf der Sohle aufsitzendes Schiff: 20kN/m<sup>11</sup>

Zusätzlich muss die Schleusenkommer mit Nischen- oder Schwimmpollern ausgestattet werden. Diese haben einen Regelabstand von 15m. Sie werden rechts von der Steigleiter angeordnet. Der unterste Poller liegt ungefähr 1m über dem niedrigsten UW-Stand. Hierbei sollen die Poller eine maximale Zugkraft von 200kN erfahren. Die für die Schiffsbesatzung notwendigen Steigleitern sollen bis 1m unter den niedrigsten UW-Stand reichen. Bei Kammerlängen über 110m sollen auch noch Steigleitern angebracht werden, die bis zur Kammersohle hinunterführen.

Die Schleusenbauteile müssen hinsichtlich ihrer Standsicherheit (**Gleitsicherheit**) geprüft werden. Hierbei findet die Berechnung für das Haupt alleine ohne Verbindung zur Schleusenkommer statt. Bei einem Baugrund aus Felsgestein muss zusätzlich die **Kippsicherheit** geprüft werden.

## 2.8. Wasserstrom und Schleusungszeit

Zur Berechnung des Wasserstroms in die Schleusenkommer wird meist der Füllvorgang als maßgeblich verwendet, da hier größere Turbulenzen in der Schleusenkommer für die Schiffe auftreten. Die hydraulische Berechnung der Kommerfüllung basiert auf der Kontinuitätsgleichung und der Formel von Torricelli. Die Befüllung wird aus hydromechanischen Gründen tiefliegend bevorzugt.

Bei der Befüllung kann in zwei Phasen unterschieden werden. In der ersten Phase vergrößert sich der Füllquerschnitt im Laufe der Zeit. In der zweiten Phase ist der Füllquerschnitt konstant offen und die Füllhöhe nimmt ab.

Die Ausflussformel lautet:  $v = \sqrt{2gh}$ , wobei  $h$  die Höhendifferenz von Ober- und Unterwasser darstellt und  $f$  den Füllquerschnitt darstellen. Mit der dazugehörigen Kontinuitätsgleichung  $Q = v * f$  ergibt sich für den Füllstrom:  $Q = \sqrt{2gh} * f$ . Mit Berücksichtigung von Verlusten und der zeitlichen Änderung der Wasserspiegelhöhe ergibt sich folgender Zusammenhang nach Formel (4):

$$Q = \mu * f * \sqrt{\frac{2 * g * z}{1 + \sum \xi}} = A * \frac{dz}{dt} \quad \left[ \frac{m^3}{s} \right] \quad (4)$$

Wobei folgende Parameter mit in die Berechnung einfließen:

- $A$  = Spiegelhöhe in der Schleusenkommer [m<sup>2</sup>]
- $F$  = Austrittsquerschnitt der Füllleitung [m<sup>2</sup>]
- $\mu$  = Kontraktionsbeiwert des Austrittsstrahls [-]
- $\xi$  = Beiwerte der hydraulischen Verluste in der Füllleitung [-]

Die Bezeichnungen sind auch noch einmal anhand der folgenden Graphik erkennbar.

<sup>11</sup> Ibid., S.59

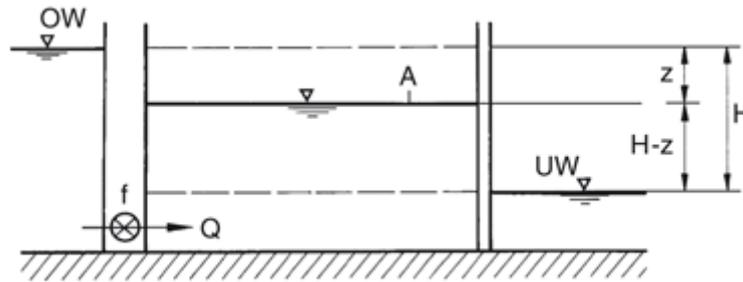


Abbildung 11: Bezeichnungen zur Berechnung des Füllquerschnittes

Im Falle von senkrechten Wänden und keiner zeitlichen Änderung von  $A$  ergibt sich durch Integration die Schleusungszeit  $T$ <sup>12</sup>.

$$T = \frac{2 * A * \sqrt{H}}{\mu * f * \sqrt{2g \frac{1}{1+\Sigma\xi}}} \quad (5)$$

Als überschlägige Berechnungsformel für die Schleusungsdauer gibt es zusätzlich das Verhältnis von der Kammergrundfläche der Schleuse  $A_k$  zum Füllquerschnitt der Schleuse  $A_u$  multipliziert mit der Fallhöhe  $H$ . Hierfür lautet die dazugehörige Formel<sup>13</sup>:

$$T = \frac{A_k}{A_u} * \sqrt{H} \quad (6)$$

Bei der Befüllung der Schleuse findet eine zeitliche Zunahme der Füllwassermenge statt, da die Schleusentore mit der Zeit  $t$  geöffnet werden und dadurch eine größere Durchschnittsfläche  $A$  freigeben. Hierbei müssen gewisse Grenzwerte bei der Füllquerschnittsfreigabe beachtet werden, da ansonsten die Schiffe sowohl in der Schleusenkammer als auch im Vorhafen zu hohe Belastungen erfahren können. Bei der Berechnung der Schleusenbefüllung wird in der Regel mit einem konstant bleibenden OW-Spiegel und einem mittleren Zuflussbeiwert gerechnet. Zusätzlich werden Effekte wie ein sich einstellendes Wasserspiegelgefälle nicht mit berücksichtigt

Die Füllzeit  $T$  ergibt sich vereinfachend aus folgender Formel:  $T = \frac{2*V}{Q_{max}}$ , wobei  $V$  das Kammervolumen und  $Q_{max}$  das maximale Füllstromvolumen ist.

Eine weitere zu berechnende Größe vor allem hinsichtlich der Bedienung der Schleuse ist die zulässige Freigabe des Füllquerschnittes  $n$ . Der Zusammenhang  $n$  beschreibt das Verhältnis von Füllquerschnitt zum Zeitpunkt  $t$  beziehungsweise das Produkt von Öffnungsgeschwindigkeit  $c$  und Breite  $B_k$  des Füllquerschnittes.

$$n = \frac{a}{t} = c * B_k \quad \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad (7)$$

<sup>12</sup> Vgl. Heinz Patt and Peter Gonsowski, 2011, S. 375

<sup>13</sup> Vgl. Konrad Zilch, 2012

Die zu berücksichtigende Größe ist hier die Neigung des Füllschwells, welcher sich auf die Trossenkräfte der Schiffe auswirkt. Die maximale Neigung  $I_w$  soll 0,04% nicht überschreiten, sodass sich folgender Zusammenhang ergibt.

$$n_{zul} = \frac{I_w * B_k * g * h}{\mu * \sqrt{2 * g * H}} \approx \frac{0,006 * B_k}{\sqrt{H}} \left[ \frac{m^2}{s} \right] \quad (8)$$

Bei Schleusen, welche durch Längskanäle oder Grundläufe befüllt werden, ergibt sich nach Multiplikation eines aus Modellversuchen ermittelten Korrekturfaktors folgender Zusammenhang. Die zulässige Freigabe ist höher, da bei dieser Art der Befüllung weniger Turbulenzen entstehen.

$$n_{zul} \approx \frac{0,016 * Bk}{\sqrt{H}} \quad (9)$$

Als weitere Berechnungsgröße muss der größte vertretbare Zufluss  $Q_{max}$  berechnet werden, da dieser zu Auswirkungen hat auf die Fließgeschwindigkeit und zum anderen auf den größten zulässigen Entnahmesunk. Hier sind Größenordnung von 2m/s für die Fließgeschwindigkeit und 0,2m für den Entnahmesunk anzunehmen. Der größte Zufluss wird erreicht, wenn das Schütz maximal geöffnet ist<sup>14</sup>.

## 2.9. Berechnungen der Auftriebssicherheit einer Schleusenkammer

Als zusätzliche Berechnung muss die Schleusenkammer gegen Auftrieb gesichert sein. Hierbei müssen unterschiedliche Bemessungssituationen oder Lastfälle berücksichtigt werden. Zum einen der ständige Betrieb als Lastfall 1. Hier werden normale Betriebswasserstände mit gefüllter Schleusenkammer angenommen und meist der niedrigste Grundwasserstand angesetzt. Zusätzlich kommt noch die vollständige Entleerung der Schleusenkammer als Lastfall 2 hinzu. Die leere Schleuse mit höchstmöglichem Grundwasserstand wird im Lastfall 3 betrachtet. Die zugrunde liegende Formel kann bei nicht vorhandener Umströmung verwendet werden, sodass der Druck hydrostatisch verteilt ist. Beim Nachweis gegen Auftrieb wird als Begünstigung die Füllung der Schleuse genannt, da sie den Auftrieb der Schleuse entgegen wirkt. Für den Nachweis wird der niedrigste Wasserstand als Auftrieb angenommen. Dann wird ein Kräftegleichgewicht mit allen vorhandenen begünstigenden stabilisierenden Kräften (Wasserdruck in der Kammer, Betongewicht) und den ungünstigen, somit destabilisierenden Kräften aufgestellt, wobei die Summe der stabilisierenden Kräfte über der, der instabilisierenden Kräfte mit einem Sicherheitszuschlag liegen muss. Im Falle einer vollständigen Kammerentleerung würde der stabilisierende Wasserdruck wegfallen und die Auftriebssicherheit der Schleuse müsste auf diesen Bemessungsfall geprüft werden. Ist die Sicherheit gegen Auftrieb nicht gegeben, müssen die Anteile, welche stabilisierend wirken (Verankerung der Schleusenkammer,

<sup>14</sup> Eberhard Lattermann, 2009 S.47

---

Erhöhung Gewicht der Betonteile) vergrößert werden und die, welche destabilisierend wirken verringert werden (Grundwasserabsenkung).<sup>i</sup>

---

### **3. Dokumentation**

---

Die in den Grundlagen hergeleiteten Funktionsmerkmale einer Schleuse werden im folgenden Kapitel anhand der Schleuse Iffezheim mit Bildern dokumentiert.

#### **3.1. Schleusenart**

Die Kammerschleuse Iffezheim hat den Zweck, für die Schiffe den Höhenunterschied im Wasserspiegel zwischen Ober- und Unterwasser des Flusses Rhein zu überwinden. Ein Überblick über die gesamte Staustufe ist in Abbildung 12 zu sehen.





Abbildung 14: Blick auf das Unterhaupt der Schleuse Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek)

### 3.2. Vorhafen

Die Vorhäfen in Iffezheim sind unterteilt in die Bereiche Einfahrtsbereich, Liegeplatzbereich und Übergangsbereich. Im Einfahrtsbereich wird der Schiffsverkehr trichterförmig durch Leitwerke in die Schleusenkammer geführt. Geschützt werden die Leitwerke durch einen Kantenschutz und einer Scheuerleiste. Sie sind symmetrisch zur Schleuseneinfahrt angeordnet. Die Trennung der Einfahrtsbereiche der zwei Schleusenkammern geschieht durch eine als Mole ausgebildete Mittelplattform. Diese vermeidet auch Querströmungen beim Befüllen und Entleeren der Schleusenkammern.

Der Liegeplatz ist sowohl Start- und Warteplatz für die Schleuse passierenden Schiffe. In Iffezheim sind die Liegeplätze beidseitig angeordnet und mit Dalben sowie Laufstegen ausgestattet. Der Übergangsbereich des Vorhafens ist die Verbindung zwischen dem Liegeplatzbereich und der Flusstrecke (Abbildung 15).



Abbildung 15 Luftbildaufnahme Vorhafen Iffezheim (Quelle: [http://wsv.de/wasserstrassen/bauwerke\\_und\\_anlagen/index.html](http://wsv.de/wasserstrassen/bauwerke_und_anlagen/index.html); 24.01.14)

### 3.3. Oberhaupt und Unterhaupt der Schleuse

Das Oberhaupt der Schleuse ist mit einem hochliegenden Drempel und einem Senktor ausgestattet. Sehr gut auf der unteren Abbildung zu erkennen, ist die gelbe Markierung, die die Vorderkante des Drempels anzeigt (Abbildung 16).

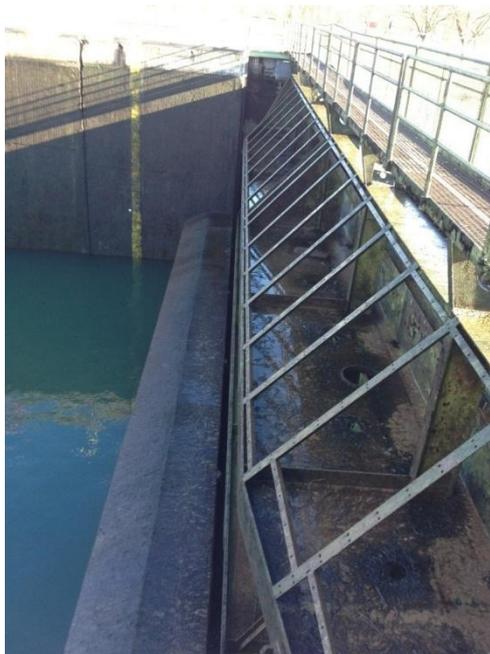


Abbildung 16: Oberhaupt mit hochliegendem Drempel und Senktor (Foto: Solbrig und Banek)



Abbildung 17: Senktor des Oberhauptes aus anderer Perspektive (Foto: Solbrig und Banek)

Bevor das Senktor für den Schleusenvorgang hochgefahren wird, erzeugt eine Lufteintragsanlage unmittelbar über dem Tor eine Auftriebsbewegung des Wassers, die angeschwemmtes Treibgut wie z.B. Baumstämme von dem Senktor fernhält. Im unteren Bild sind die Luftblasen über dem Senktor zu sehen.



Abbildung 18: Luftblasen ausgelöst durch die Lufteintragsanlage (Foto: Solbrig und Banek)

Das Senktor im Oberhaupt ist durch zwei Gegengewichte gesteuert, die auf einem Ein-Kettensystem laufen. Das Ein-Kettensystem wird mit zwei Elektromotoren betrieben, die jeweils synchron laufen und

---

eine Leistung von circa 80 kW haben. Der Abrieb der Ketten wird unter anderem dadurch verringert, dass eine Schmieranlage das System kontinuierlich einfettet. Für die Revision des Senktores am Oberhaupt wird dieses auf einem Gestell gelagert. Das Gestell ist im unteren Bild links oben zu sehen.



Abbildung 19: Gestell für die Revision des Senktores (Foto: Solbrig und Banek)

Das Unterhaupt der Schleuse Iffezheim wird zentral durch einen Steuerstand betrieben, welcher sich nah am Schleusentor befindet, um einen optimalen Kontrollblick zu haben. Das Unterhaupt besteht aus einem massiven Betonbauwerk, damit es die gewaltigen Wasserdrücke, die während des Betriebes wirken, bewältigen kann. Es besteht aus den Betriebseinrichtungen fürs Befüllen und Entleeren der Kammern, einem zentralen Steuerstand, einem Schiebeter, einem Tosbecken, Spundwänden, Notverschlüssen (Stoßbalken), Auslassöffnungen sowie Entleerungskanäle. Des Weiteren wird das Unterhaupt durch Fugen zur Schleusenkammer abgegrenzt (siehe Abbildung 20)<sup>15</sup>.

---

<sup>15</sup> Vgl. Hans-Werner Partenscky, 1986, S.157

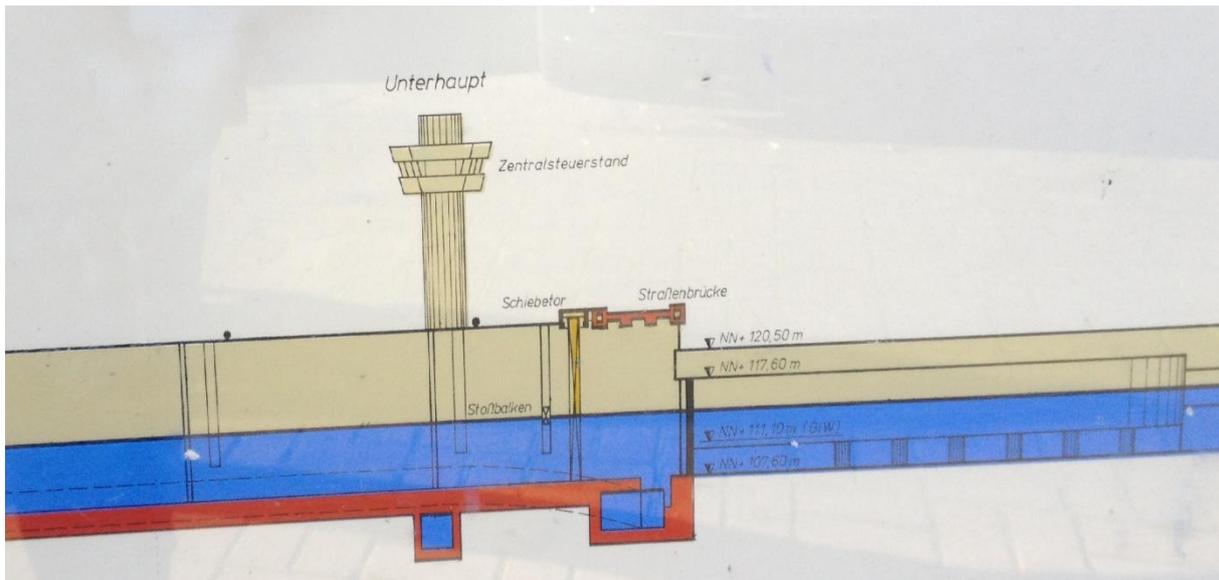


Abbildung 20: Aufbau Unterhaupt Schleuse Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek)

Die Entleerung der Kammern findet zu 50 % durch Entleerungskanäle, welche sich in den Kammerwänden befinden sowie zu 50 % über die im Tor eingebauten Schütze statt. Bei der Entleerung durch einen Kanal wird das Wasser quer zur Schleuse zum Wasserkraftwerksauslass geführt und dort ins Unterwasser eingeleitet. Dadurch werden die Turbulenzen direkt hinter dem Schleusentor und somit im Vorhafen reduziert. Direkt hinter dem Schleusentor schließt sich ein Tosbecken an. Es dient als bremsendes Auffangbecken für das abfließende Wasser einer Staustufe und wandelt die kinetische Energie des Wassers in Wärme- und Schallenergie um, sodass das Wasser vom schießenden Zustand in einen strömenden Zustand übergeht. Das Becken besteht aus einer Tosbeckenbetonplatte und Betonspundwände, welche die Ausspülung der Flusssohle und der Uferbereiche verhindert sowie aus Störkörpern (Zahnschwellen), welche den Wechselsprung des Wassers fördern<sup>16</sup>.

Das Schleusentor im Unterhaupt ist ein Schiebetor, welches sich gut eignet für große Schleusenbreiten wie es für die Schleuse Iffezheim der Fall ist. Zur Freigabe der Durchfahrt der Schiffe wird das Tor seitlich in eine Torkammer gefahren. Die Kammer ist durch einen Notverschluss abdichtbar sodass Reparatur- und Wartungsarbeiten möglich sind. Das einflügelige Schiebetor ist nicht mit dem Unterhaupt drehbar verbunden, sodass es senkrecht zur Schleusenachse bewegt werden kann. Des Weiteren ist es auf oberhalb befindlichen Schienenbahn mit Laufrollen aufgehängt. Das Tor besteht aus Stahlbeton, welches den Vorteil hat große Lagerkraftschwankungen, die aufs Tor wirken während der Befüllung und Entleerung der Schleusenammern, auszuhalten. Des Weiteren ist das Tor mit Auftriebszellen ausgestattet um das Torgewicht zu reduzieren. Damit das Tor bei Bewegung nicht in Schwingung gerät, wird es langsam angefahren. Angetrieben wird das Schiebetor durch einen Elektromotor, welcher mit dem Strom aus dem Wasserkraftwerk Iffezheim versorgt wird. Beim Ausfall des Wasserkraftwerkes wird der Elektromotor durch Notstromaggregate versorgt. Um einen

<sup>16</sup> Vgl. Hans-Werner Partenscky, 1986, S.55

---

ganzjährigen Schleusenbetrieb sicherzustellen, kann das Schiebetor an kalten Tagen beheizt werden, um Vereisungen zu vermeiden. Weitere Vorteile des Schiebetores sind die Wirkung zu beiden Seiten hin, die Reduzierung der Länge des Schleusenhauptes sowie auch die Möglichkeit einer Bewegung des Tores bei durchgehender Strömung. Geschützt werden das Tor sowie die dahinterliegende Brücke mit der B500 durch einen Stoßschutz, sodass Schiffe vom Oberwasser nicht mehr gegen das Schleusentor fahren und dieses demolieren können.

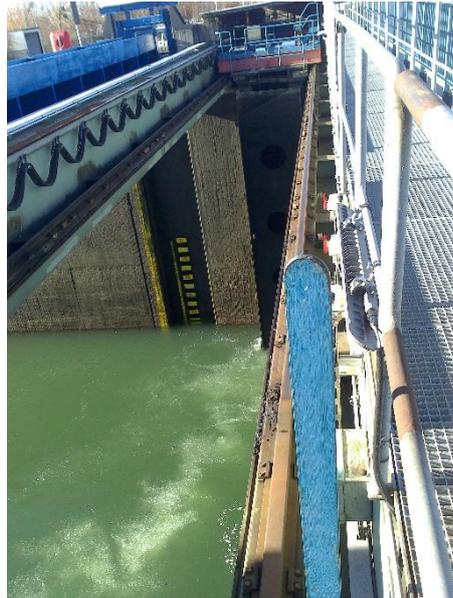


Abbildung 21: Schiebetor Unterhaupt Schleuse Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek)

### 3.4. Drainage-System der Schleuse

Die Betonverkleidung in Iffezheim ist nicht komplett dicht gegen das Eindringen von Sickerwasser. In der Schleuse ist deshalb ein Entwässerungssystem installiert, das das Sickerwasser sammelt und in sogenannte Pumpsümpfe leitet. Von dort aus wird das Sickerwasser heraus gepumpt. Im unteren Bild ist die Draufsicht des Pumpsumpfs innerhalb des Betriebsraumes des Senktores zu sehen.



Abbildung 22: Pumpsumpf im Betriebsraum des Senktores (Foto: Hecker et al)

### 3.5. Befüllungssystem der Schleuse

Die Befüllung der Schleusenkammer funktioniert mit einem Multiport-System, das mit Fülldüsen arbeitet. Das Wasser wird dabei im Oberwasser entnommen und in Längskanäle geführt, die mit den Fülldüsen verbunden sind. Das Wasser fließt durch die Fülldüsen und trifft dabei auf die Winkelstützmauer der Seitenbauwerke der Schleusenkammer. Dadurch wird eine gleichmäßige Verteilung der Füllwassermenge erreicht. Zweck dieses Systems ist eine turbulenzarme Befüllung der Kammer (Abbildung 23). Umgesetzt wird diese Maßnahme unter anderem so, dass die Austrittsöffnung der Düsen auf die Kammersohle gerichtet ist und es zu einer Energieumwandlung der Strömung kommen kann. Diesen Bereich nennt man auch Tosgraben.<sup>17</sup> Problematisch sind allerdings die mechanische Belastung der Mauer und gegebenenfalls der Abtrag von Material.

<sup>17</sup> Vgl. Hans-Werner Partenscky, 1986, S.107



Abbildung 23: Querschnitt durch die Schleuse Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek)

### 3.6. Poller und Haltekreuze

Jede Kammerwand der Schleuse ist mit neun Schwimmpollern ausgestattet. Ein Schwimmpoller besteht aus einem Schwimmkörper mit aufgesetztem Haltebolzen. Bei einer Änderung des Wasserspiegels behält der Haltebolzen seine Höhenlage zu diesem aufgrund der Auftriebswirkung bei.<sup>18</sup> In Abbildung 24 ragen die Schwimmpoller bei einem Schließvorgang rechts unten an der Oberkante der Kammerwand heraus.



Abbildung 24: Schließvorgang Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek)

<sup>18</sup> Vgl. Hans-Werner Partenscky, 1986, S.65



Abbildung 25: Schachtnische des Schwimmpollers (Foto: Solbrig und Banek)

### 3.7. Stoßschutz

Der Stoßschutz in Iffezheim ist nur am Unterhaupt ausgebildet und besteht aus einem elastischen Träger (blau), der die Energie über die plastische Verformung und über ein Dämpfungssystem aufnimmt (Abbildung 26).

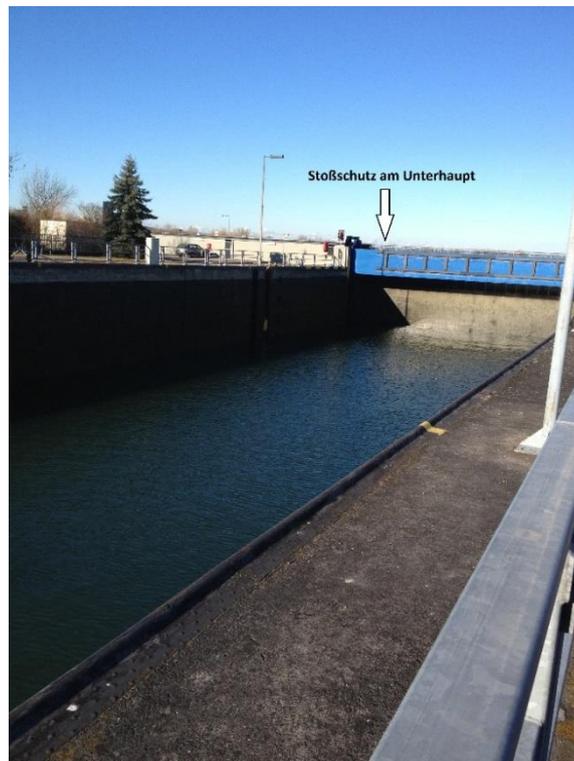


Abbildung 26: Stoßschutz Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek)

---

## 4. Erfahrungen

---

Die Schleuse Iffezheim wurde 1977 als für die damalige Zeit sehr moderne Schleuse in Betrieb genommen. Sie zählt auch heute noch zu den modernsten und leistungsfähigsten Schleusen Europas. Durch den Ausfall einer Schleusenkammer kann der Betrieb trotzdem durch die zweite Kammer aufrechterhalten werden, da zwei unabhängig voneinander funktionierende Schleusenkammern vorhanden sind. Es passiert nur sehr selten, dass beide Schleusenkammern ausfallen und meist ist der Schadensfall innerhalb von 24 Stunden behoben. Dies ist wichtig, um den Handelsverkehr Niederlande-Schweiz aufrechtzuerhalten, da die Schweiz ihre gesamten Handelsgüter über die internationale Wasserstraße „Rhein“ bezieht.

Trotz der damals sehr modernen Bauweise der Schleuse waren nachträgliche Optimierungen notwendig. Im Folgenden soll nun auf einige Optimierungen, Defizite und Schadensfälle eingegangen werden.

Die Lastumlagerung beim Schiebeter am Unterhaupt der Schleuse war zu Beginn problematisch. Da der verwendete Stahl spröde war, entstanden durch die Lastumlagerung beim Öffnen und Schließen des Tors Risse. Dadurch wurde es notwendig, das Schiebeter nach 10 Jahren Betrieb auszutauschen. Das neue Schiebeter ist aus Baustahl hergestellt und wiegt 300 Tonnen.

Je größer die Schubverbände, die in eine Schleuse einfahren, desto schwieriger ist das Bremsmanöver. Hierbei kommt es laut Schadensstatistik vor allem an den Untertoren der Schleusen häufig zu Kollisionen mit dem Schleusentor. Zum Schutz des Schiebetors und der dahinterliegenden Brücke mit der B500 wurde deshalb ein Stoßschutz (siehe Abbildung 27 und Abbildung 28) aus Amerika eingebaut, um zu verhindern dass Schiffe vom Oberwasser kommend gegen das Tor und die Brücke fahren und diese beschädigen, was hohe Schäden und Kosten verursachen würde. Der vorherige Stoßschutz ist auf dem Wasser mitgeschwommen. Da es bereits zu einem Vorfall an der Schleuse kam, wurde der Stoßschutz durch eine neue, amerikanische Technologie ersetzt. Die Vorrichtung ist höhenverstellbar und leitet die kinetische Energie des fahrenden Schiffes oder Schubverbandes über ein Auffangelement an eine extern liegende Dämpfungseinrichtung weiter, um das Schiff abzubremsen. Dadurch kann ein Schubverband mit einem Gewicht von ca. 18 000 Tonnen und einer Geschwindigkeit von 1,6 km/h abgebremst werden.<sup>19</sup>

---

<sup>19</sup> Vgl. W. Meinhold, 2011



Abbildung 27: Einbau des Stoßschutzes an der Schleuse Iffezheim (Foto: Broschüre Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg)

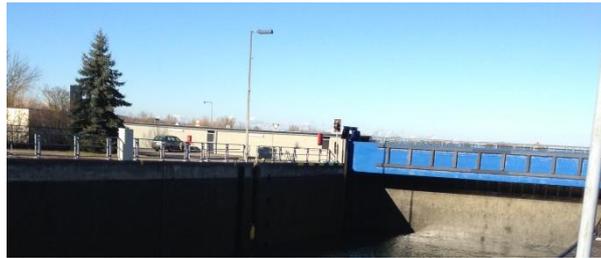


Abbildung 28: Stoßschutz (Foto: Lüke, 2014)

Die beiden Senktore am Oberhaupt der Schleuse werden mithilfe von 2 Gegengewichten über Ketten (siehe Abbildung 29) betrieben. Dies nennt sich Ein-Kettensystem. Hierbei ist der Verschleiß der Kette sehr hoch und das Ersetzen der Kette kostspielig (ca. 35 000 pro Kette). Deshalb wurde das System auf eine zweifach Lagerung der Kette geändert, wobei nun vorzugsweise die einfacher und billiger auszutauschenden Lager verschleifen.

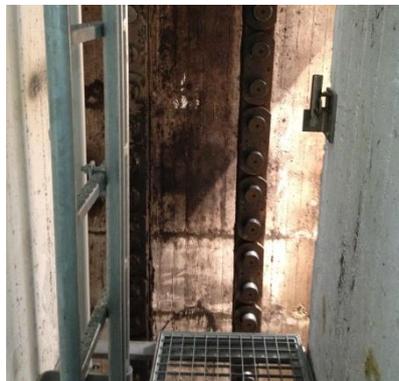


Abbildung 29: Kette zur Bewegung des Senktors (Foto: Lüke, 2014)

Die Kammerwände der Schleusen wurden mit Edelstahlplatten verstärkt. Normalerweise wird aber das Material Edelstahl im Wasserbau nicht verwendet, da es in Kombination mit unlegiertem Stahl/Baustahl zu Korrosion kommt. Da Edelstahl weniger anfällig ist und eine stabilere Sicherung der Kammerwände vor Schiffstoß gewährleistet, wurde dieses Material in einem Testversuch in die Kammer eingesetzt. Bis jetzt hat sich der Einbau der Edelstahlplatten bewährt und es sind keine Folgeschäden am Baustahl zu verzeichnen.

---

Besonders revisionsanfällig sind die Dichtungen der Ober- und Untertore. Diese müssen ca. alle fünf Jahre gewartet werden, um die Tore so dicht wie möglich zu halten. Dabei wird auch der Zustand, die Sicherheit und die Statik der Tore überprüft. Generell wird versucht, dass die Teile der Schleuse, die leicht verschleifen, einfach auszutauschen sind. Im Gegensatz dazu soll der Verschleiß der schwer austauschbaren Komponenten minimal gehalten werden, um den ständigen Betrieb der Schleuse aufrecht zu erhalten und die Kosten zu minimieren.

#### **4.1. Erfahrungen für die zukünftige Gestaltung von Schleusenanlagen**

Beim Bau der Schleuse Iffezheim wurden nicht alle Baumaßnahmen in die Baupläne eingezeichnet, was zu unvorhergesehenen Vorkommnissen führen kann. Damals wurden beim Bau spontan Maßnahmen durchgeführt, die zum damaligen Zeitpunkt als sinnvoll betrachtet wurden.

Als Beispiel kann hier die Geschiebegrube nach dem Tosbecken der Schleuse aufgeführt werden. Diese war nicht in den Bauplänen vermerkt, weshalb sie nicht in die regelmäßige Wartung einbezogen wurde. Da die modernen Binnenschiffe eine sehr viel höhere Antriebsleistung haben und somit bei der Beschleunigung größere Turbulenzen verursachen, kam es zu einer Verschiebung der im Vorhafen angeordneten Wasserbausteine. Diese wurden durch die Turbulenzen nach hinten in die Geschiebegrube versetzt. Die Lage der Geschiebegrube ist in Abbildung 30 rot markiert. Nach und nach hat sich diese Grube mit Wasserbausteinen gefüllt und diese wurden daraufhin ins davorliegende Tosbecken getrieben. Durch die ständigen Turbulenzen, die durch die Schiffschraube bei der Anfahrt des Schiffes entstehen, wurden die Wasserbausteine in Bewegung versetzt, was zu einem 40 cm breiten Abtrag der Stahlplatten im Tosbecken geführt hat. Dies konnte nur passieren, da die Grube nicht auf den Bauplänen verzeichnet war und somit seit der Inbetriebnahme im Jahr 1977 nicht gewartet wurde. Beim Bau von zukünftigen Schleusen sollten alle Baumaßnahmen und Änderungen in den technischen Zeichnungen vermerkt werden, um die Arbeit der zuständigen Personen zu erleichtern und Schäden vorzubeugen sowie die Kosten für Wartung und Reparatur einzudämmen.

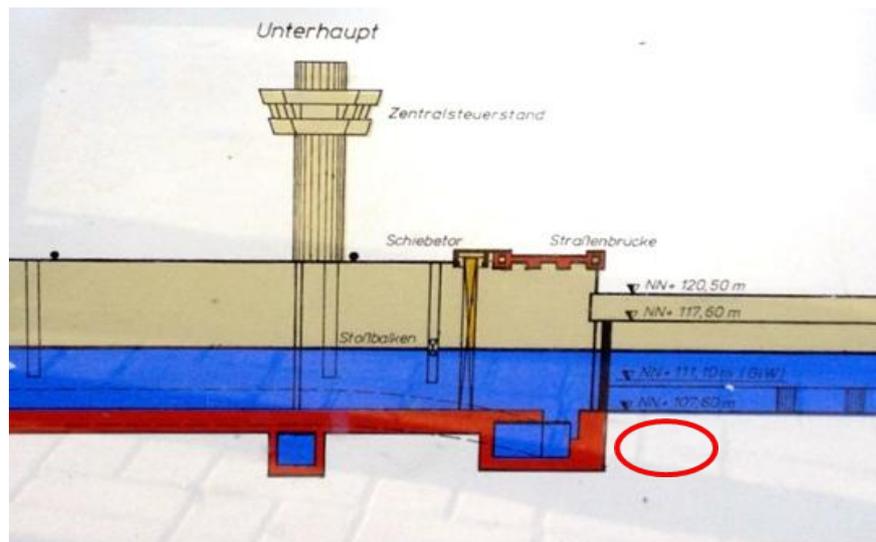


Abbildung 30: Unterhaupt der Schleuse Iffezheim (Foto: Schautafel Schleuse Iffezheim)

Auch der Drempeel hat an der Schleuse Probleme verursacht, durch Mängel am Bau. Nachdem die Sohle der rechten Kammer betoniert wurde, lief der Schiffsbetrieb weiter. Dadurch haben sich auf der frisch betonierten Sohle Sedimente und Schlamm abgesetzt. Bei den weiterführenden Baumaßnahmen wurden der Schlamm und das Sediment nicht entfernt. Somit wurde der hochliegende Drempeel direkt, ohne eine sachgemäße Säuberung, auf die Sedimentschicht auf betoniert. Der vom Senktor ausgehende Druck auf den Drempeel führte nach einigen Jahren Betrieb zu einer Verschiebung des Drempeels. Dies machte sich bei der Trockenlegung der Schleusenammer bemerkbar, in dem Wasser in die Kammer eingetreten ist. Da sich der Drempeel aber verkantete, konnte dieser mithilfe von Stahlseilen und Ankern gesichert und verspannt werden. Die Reparaturmaßnahme machte eine Sperrung der Kammer von ca. einem dreiviertel Jahr notwendig. Durch die ordnungsgemäße Durchführung des Betoniervorgangs mit einer vorhergehenden Reinigung der Sohle oder durch die Fertigstellung der gesamten Schleusenammer in einem Zug, könnte dieser Vorfall verhindert werden. Ein Versagen des Drempeels könnte sowohl für den Schiffsverkehr als auch für die Mitarbeiter der Schleuse schwerwiegende Folgen nach sich ziehen.

Ein weiterer Punkt ist die Ausrichtung des Zentralsteuerstands. Dieser sollte so ausgerichtet werden, dass die Sicht nicht vom Sonnenstand beeinflusst wird. In Zukunft soll eine Kamera-Überwachung der Schleuse möglich sein. Nach heutiger Rechtslage muss die Arbeitsstelle in Deutschland barrierefrei gestaltet werden, um eine Gleichberechtigung aller Personen zu gewährleisten. Nach diesen Gesichtspunkten wird ein neuer Zentralsteuerstand in Iffezheim geplant und umgesetzt werden.

---

## 5. Conclusio

---

Die Tagesexkursion an die Staustufe Iffezheim und zur Hochwasservorhersagezentrale BW war eine sinnvolle Ergänzung zur Wasserbau II Vorlesungsreihe. Wir konnten einen guten Einblick in die Arbeitsabläufe an wasserbaulichen Anlagen gewinnen. Einerseits bekamen wir bei der Staustufe Iffezheim einen Überblick über den Energiemarkt im Allgemeinen und die Rolle der Wasserkraft in den erneuerbaren Energien im Speziellen. Sehr hilfreich war auch der Einblick in die Planung- und die Bauphase der neuen Kraftwerksturbine. Andererseits konnten wir mit der Besichtigung der Schleusenanlage den Binnenschiffahrtbetrieb und die damit verbundenen Probleme und Erfahrungen kennenlernen. Nützlich war es auch die realen Dimensionen von Wasserbauwerken zu sehen. Außerdem zeigte uns die Exkursion Möglichkeiten für unsere berufliche Zukunft auf und dass es wichtig sein wird mit Fachleuten aus verschiedenen Richtungen zu kooperieren. Das stellte sich auch bei der Besichtigung der Hochwasservorhersagezentrale heraus, da hier gezeigt wurde, dass im Hochwasserfall Ingenieurbüros, Hydrologen, Feuerwehr und die Gemeinden und Städte auf eine gute Zusammenarbeit angewiesen sind. Besonders interessant die Schleusenanlage betreffend, waren für uns die Führung und der persönliche Erfahrungsschatz des Mitarbeiters vom Wasser –und Schiffahrtsamt Freiburg. Die Tagesexkursion bot die Möglichkeit die Kommilitonen sowie die Dozenten in einer lockeren Atmosphäre zu erleben. Insgesamt war es ein gelungener sonniger Tag am Rhein.



Abbildung 31: Gruppenbild Schleuse mit Schiff „Wilhelm Dettmer“ (Foto: Solbrig, Banek ,Lüke, David, Hecker, Otto und Dettmer et al )

# Anhang

WSD Südwest  
Verkehrsbericht für das Jahr 2012

Containerverkehr Oberrhein  
(Schleuse Iffezheim)

Anlage 10.2

2013		Anzahl der Schiffe	Anzahl der Container				Gesamt	Ladung
			bis 20 Fuß	bis 20 Fuß	bis 40 Fuß	bis 40 Fuß		
Januar	Berg	101	1909	2218	1825	1985	7.937	89.891
	Tal	87	671	2309	269	2842	6.091	102.187
	<b>Gesamt</b>	<b>188</b>	<b>2.580</b>	<b>4.527</b>	<b>2.094</b>	<b>4.827</b>	<b>14.028</b>	<b>192.078</b>
Februar	Berg	90	1.684	1.779	1.672	1.599	6.734	70.812
	Tal	95	792	2.996	535	2.950	7.273	125.565
	<b>Gesamt</b>	<b>185</b>	<b>2.476</b>	<b>4.775</b>	<b>2.207</b>	<b>4.549</b>	<b>14.007</b>	<b>196.377</b>
März	Berg	92	2.042	1.770	1.498	2.252	7.562	77.169
	Tal	122	858	3.983	693	3.892	9.426	167.716
	<b>Gesamt</b>	<b>214</b>	<b>2.900</b>	<b>5.753</b>	<b>2.191</b>	<b>6.144</b>	<b>16.988</b>	<b>244.885</b>
April	Berg	95	2.101	1.761	1.760	1.522	7.144	73.745
	Tal	92	592	3.022	928	3.310	7.852	124.476
	<b>Gesamt</b>	<b>187</b>	<b>2.693</b>	<b>4.783</b>	<b>2.688</b>	<b>4.832</b>	<b>14.996</b>	<b>198.221</b>
Mai	Berg	94	1.826	2.317	1.860	1.849	7.852	86.094
	Tal	93	907	2.670	660	2.851	7.088	116.010
	<b>Gesamt</b>	<b>187</b>	<b>2.733</b>	<b>4.987</b>	<b>2.520</b>	<b>4.700</b>	<b>14.940</b>	<b>202.104</b>
Juni	Berg	83	2.266	1.917	2.260	1.559	8.002	84.135
	Tal	96	212	3.429	306	3.618	7.565	147.190
	<b>Gesamt</b>	<b>179</b>	<b>2.478</b>	<b>5.346</b>	<b>2.566</b>	<b>5.177</b>	<b>15.567</b>	<b>231.325</b>
Juli	Berg	96	1.501	2.322	2.401	1.811	8.035	88.784
	Tal	88	852	3.040	674	3.078	7.644	122.306
	<b>Gesamt</b>	<b>184</b>	<b>2.353</b>	<b>5.362</b>	<b>3.075</b>	<b>4.889</b>	<b>15.679</b>	<b>211.090</b>
August	Berg	88	1.569	1.958	1.991	1.730	7.248	78.166
	Tal	106	639	3.069	449	3.250	7.407	130.603
	<b>Gesamt</b>	<b>194</b>	<b>2.208</b>	<b>5.027</b>	<b>2.440</b>	<b>4.980</b>	<b>14.655</b>	<b>208.769</b>
September	Berg	98	1.507	2.212	1.892	1.761	7.372	80.245
	Tal	96	709	2.650	368	3.044	6.771	115.591
	<b>Gesamt</b>	<b>194</b>	<b>2.216</b>	<b>4.862</b>	<b>2.260</b>	<b>4.805</b>	<b>14.143</b>	<b>195.836</b>
Oktober	Berg	93	2.012	2.205	1.469	1.492	7.178	78.506
	Tal	106	881	3.619	476	3.010	7.986	135.631
	<b>Gesamt</b>	<b>199</b>	<b>2.893</b>	<b>5.824</b>	<b>1.945</b>	<b>4.502</b>	<b>15.164</b>	<b>214.137</b>
November	Berg	97	1.375	2.163	1.637	1.526	6.701	78.525
	Tal	99	552	3.137	261	3.308	7.258	131.908
	<b>Gesamt</b>	<b>196</b>	<b>1.927</b>	<b>5.300</b>	<b>1.898</b>	<b>4.834</b>	<b>13.959</b>	<b>210.433</b>
Dezember	Berg	83	1.422	1.442	1.758	1.454	6.076	64.766
	Tal	104	735	2.826	321	3.560	7.442	132.990
	<b>Gesamt</b>	<b>187</b>	<b>2.157</b>	<b>4.268</b>	<b>2.079</b>	<b>5.014</b>	<b>13.518</b>	<b>197.756</b>

Statistik Schleuse Iffezheim - Jahr 2013

Monat	Anzahl der Schiffe		Transportaufkommen in Tonnen					Änderung in Prozent zum Vorjahr	Durchschnittliche Beladung pro Schiff in Tonnen
	zu Berg	zu Tal	Summe	Änderung in Prozent zum Vorjahr	zu Berg	zu Tal	Summe		
Januar	876	854	1.730	-6,84%	939.247	668.779	1.608.026	-15,07%	929,495
Februar	848	844	1.692	-14,85%	799.953	801.303	1.601.256	-3,47%	946,369
März	1.092	1.091	2.183	-17,25%	1.011.687	1.056.950	2.068.637	-8,20%	947,612
April	1.164	1.188	2.352	-5,62%	1.008.210	1.179.774	2.187.984	1,21%	930,265
Mai	1.175	1.199	2.374	-5,72%	1.058.145	1.132.799	2.190.944	2,78%	922,891
Juni	1.021	1.053	2.074	-16,77%	970.523	1.130.273	2.100.796	-5,54%	1012,920
Juli	1.280	1.299	2.579	-3,52%	990.508	1.140.890	2.131.398	-3,62%	826,444
August	1.308	1.341	2.649	-1,27%	894.353	1.030.086	1.924.439	7,20%	726,478
September	1.294	1.263	2.557	0,91%	965.504	1.083.929	2.049.433	-2,43%	801,499
Oktober	1.440	1.441	2.881	6,74%	1.206.080	1.290.896	2.496.976	4,03%	866,705
November	1.146	1.148	2.294	1,73%	1.148.200	1.161.726	2.309.926	6,45%	1006,942
Dezember	920	939	1.859	6,29%	905.545	662.763	1.568.308	-9,34%	843,630
<b>Gesamt</b>	<b>13564</b>	<b>13660</b>	<b>27224</b>	<b>-4,73%</b>	<b>11.897.955</b>	<b>12.340.168</b>	<b>24238123</b>	<b>-1,99%</b>	<b>890,322</b>

---

---

## Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1: Wasserbauliche Infrastrukturen am Oberrhein.....	3
Abbildung 2: Schleusen eines Wasserfahrzeuges.....	5
Abbildung 3: Funktionsweise Stemmtor .....	6
Abbildung 4: Funktionsweise Klapptore.....	7
Abbildung 5: Ausführungsart eines Hubtores.....	7
Abbildung 6 Wasserverdrängung am Drempele.....	9
Abbildung 7 Querschnittsverhältnis zwischen freiem Schleusenquerschnitt und Schiffsquerschnitt .....	9
Abbildung 8: Funktionsprinzip einer Sparschleuse.....	11
Abbildung 9: Schachtschleuse Minden.....	12
Abbildung 10: Typische Schleusenanordnung einer Flussschleuse mit Abmessungen .....	13
Abbildung 11: Bezeichnungen zur Berechnung des Füllquerschnittes .....	15
Abbildung 12: Draufsicht auf die Staustufe Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek) .....	18
Abbildung 13: Blick auf das Oberhaupt Schleuse Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek) .....	18
Abbildung 14: Blick auf das Unterhaupt der Schleuse Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek) .....	19
Abbildung 15 Luftbildaufnahme Vorhafen Iffezheim (Quelle: <a href="http://wsv.de/wasserstrassen/bauwerke_und_anlagen/index.html">http://wsv.de/wasserstrassen/bauwerke_und_anlagen/index.html</a> (24.1.14)).....	20
Abbildung 16: Oberhaupt mit hochliegendem Drempele und Senktor (Foto: Solbrig und Banek) .....	20
Abbildung 17: Senktor des Oberhauptes aus anderer Perspektive (Foto: Solbrig und Banek) .....	21
Abbildung 18: Luftblasen ausgelöst durch die Lufteintragsanlage (Foto: Solbrig und Banek) .....	21
Abbildung 19: Gestell für die Revision des Senktors (Foto: Solbrig und Banek) .....	22
Abbildung 20: Aufbau Unterhaupt Schleuse Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek).....	23
Abbildung 21: Schiebetor Unterhaupt Schleuse Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek).....	24
Abbildung 22: Pumpsumpf im Betriebsraum des Senktors (Foto: Hecker et al) .....	25
Abbildung 23: Querschnitt durch die Schleuse Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek) .....	26
Abbildung 24: Schleusenvorgang Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek) .....	26
Abbildung 25: Schachtnische des Schwimmpollers (Foto: Solbrig und Banek) .....	27
Abbildung 26: Stoßschutz Iffezheim (Foto: Solbrig und Banek).....	27
Abbildung 27: Einbau des Stoßschutzes an der Schleuse Iffezheim (Foto: Broschüre Wasser- und Schiffahrtsamt Freiburg) .....	29
Abbildung 28: Stoßschutz (Foto: Lüke, 2014) .....	29
Abbildung 29: Kette zur Bewegung des Senktors (Foto: Lüke, 2014) .....	29
Abbildung 30: Unterhaupt der Schleuse Iffezheim (Foto: Schautafel Schleuse Iffezheim) .....	31
Abbildung 31: Gruppenbild Schleuse mit Schiff „Wilhelm Dettmer“ (Foto: Solbrig, Banek ,Lüke, David, Hecker, Otto und Dettmer et al.....	33



---

---

## Literaturverzeichnis

---

### Literatur:

- Eberhard Lattermann, Binnenwasserstraßen, Seewasserstraßen und Seehäfen, Seebau und Küstenschutz (Berlin: Bauwerk-Verl., 2000)
- Eberhard Lattermann, Wasserbau-Praxis: Mit Berechnungsbeispielen Bauwerk-Basis-Bibliothek (2010)
- Heinz Patt and Peter Gonsowski, Wasserbau Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen (Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011)
- Konrad Zilch, Handbuch für Bauingenieure Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit (Heidelberg: Springer, 2012)
- Eberhard Lattermann, Wasserbau-Praxis: mit Berechnungsbeispielen (Berlin: Bauwerk, 2010)
- Hans-Werner Partenscky, Binnenverkehrswasserbau (Berlin: Springer, 1986)

### Internet:

- Vorlesungsunterlagen Wasserbau II, TU Darmstadt vom 28.10.2013
- [http://www.wasserbau.tu-darmstadt.de/media/fachgebiet\\_wasserbau/daten\\_pdf/lehre\\_2/wasserbau/uebungen/aufgabe\\_auftriebssicherheit.pdf](http://www.wasserbau.tu-darmstadt.de/media/fachgebiet_wasserbau/daten_pdf/lehre_2/wasserbau/uebungen/aufgabe_auftriebssicherheit.pdf)(25.01.14)
- <http://de.academic.ru/dic.nsf/technik/19660/Schleusentor> (25.01.14)
- W. Meinhold (2011):Kollisionsbeanspruchungen im Stahlwasserbau – Untersuchungen zum Schiffsstoß auf Schleusentore und abzuleitende Maßnahmen. [vzb.baw.de/publikationen.php?file=mitteilungsblaetter/0/bawmitteilungen\\_nr93\\_meinhold.pdf](http://vzb.baw.de/publikationen.php?file=mitteilungsblaetter/0/bawmitteilungen_nr93_meinhold.pdf), abgerufen am 19.01.2014
- <http://www.fen-net.de/er/stadtteile/kanal/kanal.htm>, abgerufen am 23.01.2014

### Sonstige:

- Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg; Broschüre: Wasser- und Schifffahrtsamt Freiburg, 3. überarbeitete Ausgabe, Freiburg 2010