XIV. Kapitel.

Schiffsschleusen.

Bearbeitet von

L. Brennecke,

Marine-Hafen-Bauinspektor in Kiel.

(Hierzu Tafel V bis XIV und zahlreiche Textfiguren.)

Für die erste u. zweite Auflage wurde dieses Kapitel von Oberbaudirektor Franzius in Bremen bearbeitet.

A. Allgemeines.

(13 Textfiguren.)

§ 1. Einleitung. Unter „Schleuse“ versteht man im allgemeinen jedes Bauwerk, welches zwei Wasserflächen von verschiedener Spiegelhöhe durch eine verschliefsbare Öffnung verbindet. Sobald diese Verbindung auch eine schiffbare ist, heifst die betreffende Schleuse eine Schiffsschleuse oder Schiffahrtsschleuse, gleichviel ob die Schiffahrt Hauptzweck oder nur Nebenzweck bei der Anlage ist. In dem vorliegenden Kapitel, welches in Rücksicht auf die Binnenschiffahrt die Kapitel X und XV und für die Seeschiffahrt das Kapitel „Seehäfen“ ergänzt, sollen nur die schiffbaren Schleusen besprochen werden, während hinsichtlich der Stauschleusen auf Kap. III und hinsichtlich der nur zum Spülen von Hafenmündungen dienenden Spülschleusen auf Kap. XX, endlich betreffs der in Deichen liegenden Entwässerungsschleusen oder Siele auf Kap. XIII Bezug genommen werden mufs. Es kann unter Umständen eine Entwässerungsschleuse auch für die Schiffahrt oder eine Schiffsschleuse auch zur Spülung dienen; in solchen und ähnlichen Fällen wird für die nachstehende Besprechung die betreffende Schleuse auch als Schiffsschleuse angesehen.

Das Obige läfst sich noch anschaulicher dahin ergänzen, dafs es der Zweck der Schiffsschleusen ist, den Schiffen zwar jederzeit oder auch nur zeitweilig den Durchgang zu gestatten, das Wasser jedoch nach Belieben am freien Durchflufs zu verhindern. Diese doppelte Forderung ist hervorgegangen zunächst aus den Ansprüchen an einen möglichst bequemen und sicheren Schiffahrtsbetrieb und sodann aus den Rücksichten, welche dabei auf die billigste Herstellung der Schiffahrtsanlagen sowie auf die Bewohnbarkeit und die Kultur der hiervon berührten Landstriche genommen werden müssen. Es erhellt dieses am deutlichsten, wenn die Hauptfälle, in denen Schiffsschleusen zur Anwendung kommen, genannt werden. Es sind dies einerseits die Schiffahrtskanäle und die Kanalisierungen der Flüsse oder die für die Binnenschiffahrt notwendigen Anlagen, andererseits die für die Seeschiffahrt in manchen Fällen erforderlichen Hafenschleusen in ihrer verschiedenen Gestalt.

Wie in den Kapiteln X und XV ausführlicher besprochen ist bezw. besprochen wird, dienen die Kanalschleusen für sich allein, und die zur Kanalisierung von Flüssen zu erbauenden Schleusen in Verbindung mit anderen Stauanlagen dazu, das Gefälle der Kanäle oder Flüsse an bestimmten Stellen unbeschadet ihrer Schiffbarkeit zusammen zu fassen. Bei den Kanälen soll daneben vorzugsweise die geringe Menge verfügbaren Wassers so benutzt werden, dafs es, in einzelnen horizontalen „Haltungen“ eingeschlossen, am Abfluſs möglichst gehindert wird. Bei den Kanalisierungen dagegen sollen die Schiffsschleusen vorzugsweise nur die durch Wehranlagen geschaffenen Staustellen für die Schiffe passierbar machen, nebenbei jedoch auch den Stau mit aufrecht erhalten. In beiden Fällen sind also die Schiffsschleusen von ähnlicher Bedeutung und in ihrer allgemeinen Anordnung völlig gleich.

Weit mannigfaltiger werden dagegen die Schiffsschleusen, welche zu Zwecken der Seeschiffahrt anzulegen sind. Es kommt hierbei vor allen Dingen in Frage, ob die zu verbindenden Wasserflächen, in der Regel das Aufsenwasser und der Hafen, dauernd oder nur zeitweilig verschiedene Spiegelhöhen besitzen. Im ersteren Falle kann die Schleuse zuweilen in ihrer Anordnung einer Kanal- oder Flufsschleuse sehr ähnlich sein; im letzteren Falle jedoch genügen oft noch einfachere Schleusen, welche nur zu gewissen Zeiten verschlossen sind, zu anderen dagegen völlig offen stehen. An der See unterliegen aber die Wasserstände namentlich infolge der Ebbe und Flut einem rascheren, häufigeren und vielseitigeren Wechsel, als an oberen Flufsstrecken, und hieraus entstehen Schleusenanlagen, welche nichts weniger als einfach sind. Denn bei manchen Seeschleusen ist das Wasser nur eine Zeit lang an der einen Seite höher und sinkt bald darauf wieder tiefer hinab als der Wasserstand an der anderen Seite. Es genügt alsdann oft nicht, dass die Schleuse nach der einen Richtung hin das höhere Wasser abhalte, sondern sie mufs dieses nach beiden Richtungen bewirken und daneben je nach den vorhandenen Fahrtiefen und den Anforderungen der Schiffahrt fortwährend oder nur zu gewissen Zeiten die Schiffe hindurchlassen können.

Hauptteile der Schleusen. Wie verschieden aber auch in den einzelnen Fällen die Aufgabe und die Anordnung der Schleusen sein mag, immer beruht die letztere auf gleichen Grundlagen für die Hauptteile der Schleuse. Diese sind das sogenannte Haupt, oder unter Umständen die Häupter, mit der Verschlufsvorrichtung und die Kammer, falls eine solche überhaupt vorhanden.

Unter einem Schleusenhaupt versteht man im weitesten Sinne die feste Umrahmung der Durchfahrtsöffnung einschliefslich der zur zeitweiligen Absperrung derselben dienenden Verschlufsvorrichtung und der notwendigerweise mit der Öffnung und deren Verschlufs verbundenen Nebenteile. Eine bestimmtere Angabe wird erst nach der Beschreibung dieser einzelnen Stücke möglich werden. Es ist aber schon in der vorstehenden Form enthalten, dafs ein einziges Haupt nur zeitweilig den Schiffen die Durchfahrt gestattet, wenn nämlich bei gleichen oder annähernd gleichen Wasserständen zu beiden Seiten eine genügend leichte Öffnung des Verschlusses und ein sicheres, gefahrloses Durchfahren der Schiffe erfolgen kann. Offenbar genügt also ein Haupt nur dann, wenn die Wasserstände zu beiden Seiten sich zeitweilig, aber mit einer genügenden Regelmäfsigkeit und Dauer ausspiegeln. Findet dieses nicht statt oder bleibt gar dauernd ein höherer Stand an der einen oder anderen Seite, so kann nur dadurch die regelmäfsige, leichte und sichere Durchfahrt gewonnen werden, dafs zwei gleichartige Häupter in einer der Länge der Schiffe entsprechenden Entfernung hintereinander gelegt werden. Der Zwischenraum beider Häupter heifst dann die Kammer und die Schleuse

wird eine Kammerschleuse. Die Kammer dient alsdann dazu, das von dem Ober- oder Unterwasser herkommende Schiff aufzunehmen, sobald der Wasserstand in der Kammer mit dem Ober- oder Unterwasser auf gleiche Höhe gebracht ist und die betreffende Verschlufsvorrichtung des dem Schiffe zunächst liegenden Hauptes geöffnet werden kann. Nachdem das Schiff in die Kammer eingefahren, wird dieses Haupt geschlossen, der Wasserstand der Kammer durch geeignete Vorrichtungen (Thorschütze oder Umläufe) auf die Höhe des Unter- bezw. Oberwassers gebracht, das in der Fahrrichtung des Schiffs diesem zunächst liegende Haupt sodann geöffnet und das Schiff aus der Kammer in das Unter- bezw. Oberwasser gezogen. Die Kammer ist also derjenige Raum, welcher nach Belieben mit dem Ober- oder Unterwasser in offene Verbindung gesetzt werden kann und dabei das durchfahrende Schiff freischwimmend und ohne eine andere Leistung oder Beanspruchung von seiner Seite, als die langsame Fortbewegung nach geöffnetem Verschlufs, auf den niedrigeren Wasserstand hinabsenkt oder auf den höheren erhebt.

Die Verschlufsvorrichtung eines Hauptes wird nun fast allgemein das Thor einer Schleuse oder das Schleusenthor genannt, wobei jedoch der Sprachgebrauch darin schwankend ist, ob unter Thor nur allein die beweglichen oder auch zugleich die festen Teile des Verschlusses verstanden werden. Dem allgemeinsten Begriffe eines Thores würde die letztere Auffassung mehr entsprechen, doch findet thatsächlich die erstere eine gröfsere Verbreitung und soll deshalb auch hier befolgt werden. Da nun ferner bei weitem am häufigsten ein Schleusenthor zwei bewegliche, um eine vertikale Axe drehbare Thorflügel besitzt, so wird nach verschiedenem Sprachgebrauch bald das Paar der zusammengehörenden Flügel, bald aber jeder einzelne Thor genannt.

Die letztere Bezeichnung ist zulässig, wenn z. B. auf Zeichnungen nur ein Flügel dargestellt, die Konstruktion desselben jedoch auch für den anderen mafsgebend ist und stillschweigend der zweite Flügel hinzugedacht wird. Aus diesem Gebrauche wird sich wahrscheinlich der übrigens unrichtige Sprachgebrauch gebildet haben, einen einzigen nur einen halben Verschlufs gewährenden Flügel ein Thor zu nennen.

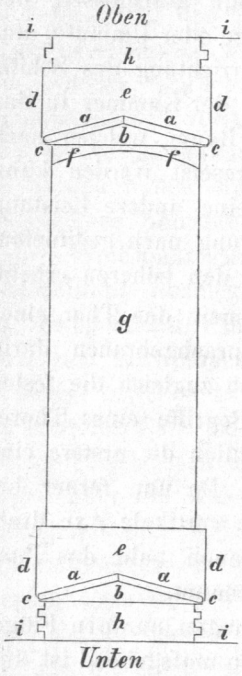
Die Bezeichnung „Schleusenthor“ gilt aber ferner und mit Recht auch für die seltener vorkommenden Verschlufsarten (§ 21), nämlich für das einflügelige Drehthor, für horizontal liegende klappenartige Thore, für Schiebethore, und endlich für frei bewegliche und in keiner festen Verbindung mit der Schleuse stehende Pontons. Neben dem Worte „Thor“ wird seltener und nicht nur für kleinere Schleusen das Wort „Thür“ gebraucht.

§ 2. Arten, Formen und Benennungen. Nach den verschiedenen Zwecken, örtlichen Verhältnissen und allgemeinen Anordnungen sind mehrere Arten von Schiffsschleusen sowie an jeder Art wieder gewisse Formen zu unterscheiden. Die Benennungen der Arten und Formen besitzen nun eine um so allgemeinere Giltigkeit, je mehr sie den Zweck der Schleuse erkennen lassen, und die aus örtlichen oder konstruktiven Rücksichten entstandenen Benennungen verdienen nur in zweiter Linie, also nur dann ihre Stelle, wenn über den Zweck kein Zweifel sein kann.

Benennungen. Es sei zunächst für die Feststellung der meisten und gebräuchlichsten Benennungen die Gliederung einer gewöhnlichen Kammerschleuse, nach Fig. 1 und zwar von den Thoren ausgehend gegeben. Jedes zweiflügelige Thor *a a* lehnt sich mit den Unterkanten gegen die Schwelle oder den Drempel *b* und mit seinen Hinterkanten gegen die Wendenischen *c c*; nach geschehener Öffnung liegen die Flügel in den Thorkammernischen *d d*, welche zu beiden Seiten die Thorkammer *e* und

deren Grundfläche, den Thorkammerboden, begrenzen. Zwischen dem Drempel des oberen Thores, welcher Drempel bei Flufs- und Kanalschleusen in der Regel nach unten hin durch einen Abfallboden oder eine Abfallmauer *f* begrenzt ist, und der Thorkammer des unteren Thores liegt die Kammer *g* zur Aufnahme des zu hebenden oder zu senkenden Schiffes. Aufserhalb der oberen Thorkammer und des unteren Drempels liegen fast stets die Vorschleusen *hh*, also die obere beziehungsweise untere Vorschleuse.

Fig. 1.



Wie bei der Thorkammer, so sind auch bei den Vorschleusen und der Kammer die betreffenden Böden von den Seitenwänden zu unterscheiden, wobei jedoch am Oberhaupte der Kammerboden sich nur bis zum Abfallboden, die Kammerwände sich dagegen bis zur Wendenische erstrecken. Die den Drempel begrenzenden Seitenwände werden auch zuweilen die Thorsäulen genannt.

Im ganzen werden dann drei Hauptabteilungen unterschieden: die Kammer *g* und die beiden Häupter, das Oberhaupt *heb* und das Unterhaupt *ebh*, mit den betreffenden Nebenteilen, als etwaigen Flügeln *ii* u. s. w. Die Bezeichnungen dieser beiden Häupter gehen zuweilen über in Aufsen- und Binnenhaupt, wenn die Schleuse ein Binnengewässer, Kanal, Hafen u. s. w. gegen ein äufseres Gewässer, wie Flufs, See u. s. w. begrenzt, wobei jedoch nach den Höhenverhältnissen dieser Gewässer das Aufsenhaupt entweder das Oberhaupt oder auch das Unterhaupt bilden kann.

Arten. Nach dem Zweck mögen sodann unter Annahme von vertikalen Drehthoren folgende Arten unterschieden werden:

1. Die einfache Kammerschleuse (Fig. 1), welche nur nach einer Seite hin höheres Wasser halten oder kehren, jedoch den Schiffen die Durchfahrt mit Hilfe des „Durchschleusens“ jederzeit gestatten soll, also im wesentlichen aus der Kammer und zwei Häuptern mit je einem Thor besteht.

2. Die Schutz- oder Sperrschleuse (Fig. 2), welche wie eine Deichschleuse (Kap. XIII), nur nach einer Seite, nach aufsen, aber auch nur zeitweilig höheres Wasser abhalten, zu anderen Zeiten offen stehen und freie Durchfahrt gestatten soll, und deshalb nur aus einem Haupt mit einem Flutthor besteht, welches aber der Sicherheit wegen, namentlich zum Abhalten hoher Sturmfluten, zuweilen verdoppelt wird.

Fig. 2.

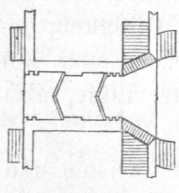


Fig. 3.

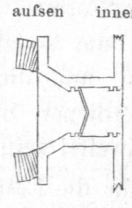
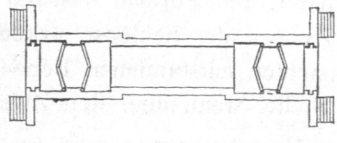


Fig. 4.



3. Die Dockschleuse (Fig. 3), welche nur nach innen zeitweilig höheres Wasser zurückhalten, zu anderen Zeiten offen stehen und freie Durchfahrt gestatten soll, daher ebenfalls nur aus einem Haupt mit einem, selten mit zwei Ebbethoren besteht.

Aus diesen drei Grundformen entstehen dann durch das Zusammentreffen verschiedener Zwecke die folgenden Formen:

4. Die Kammerschleuse (Fig. 4), welche nach beiden Richtungen hin höheres Wasser halten kann und doch jederzeit das Durchschleusen gestatten soll, also in jedem der beiden Häupter nach beiden Richtungen hin schliefsende Thore haben mufs, in der Regel also vier Thore hat, wenn nicht etwa die Thore auf beiderseitigen Druck eingerichtet sind.

5. Die Kammerschleuse, welche in der Regel nur von einer, ausnahmsweise auch von der anderen Richtung her höheres Wasser abhalten, in letzterem Falle jedoch nicht schiffbar sein soll und dann entweder als Kammer- und Sperrschleuse oder als Kammer- und Dockschleuse erscheinen kann, also in dem einen Haupt ein einfaches Thor, in dem anderen aber nach beiden Richtungen kehrende Thore haben mufs.

6. Die Schutz- oder Sperrschleuse, die zugleich Dockschleuse ist (Fig. 5), also abwechselnd nach beiden Richtungen kehren soll, um so seltener schiffbar ist und nach beiden Richtungen kehrende Thore haben mufs. Die Lage der Thore ist gewöhnlich die nach Fig. 5 *a*, selten die nach Fig. 5 *b*. Hierbei mögen auch die im § 15 besprochenen „Gegenthore“ für Dockschleusen (Fig. 5 *c*) erwähnt werden.

Fig. 5 *a*.

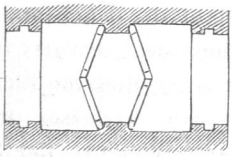


Fig. 5 *b*.

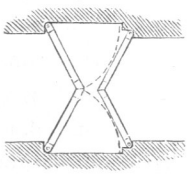
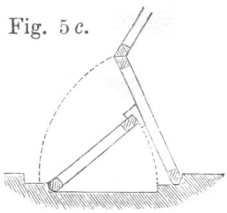


Fig. 5 *c*.

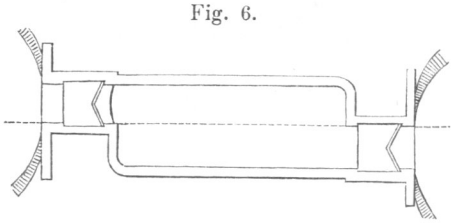


7. Die Fächerschleuse (und verwandte Arten), welche zwar nur ein Haupt und ein Thor hat, jedoch vermöge ihrer eigentümlichen Anordnung sich beliebig gegen den höheren Wasserstand öffnen und sich daher vorzugsweise als Spülschleuse und Schutzschleuse, dabei mit gewöhnlichen anderen Thoren zusammen auch als Teil einer Kammerschleuse benutzen läfst, vergl. § 21.

Andere Arten ergeben sich aus der Gröfse und Gestaltung der Kammern.

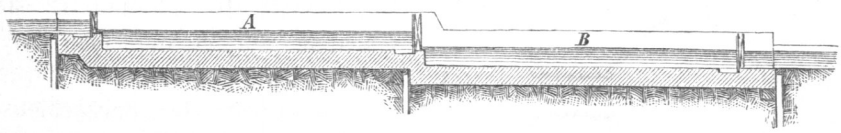
8. Die Schleuse, welche eine für zwei nebeneinander liegende Schiffe Raum bietende Kammer besitzt, im übrigen aber wie die gewöhnliche Kammerschleuse eingerichtet ist, s. Fig. 6 und F. 4, T. VIII.

Fig. 6.



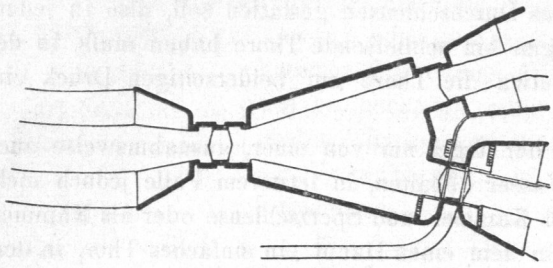
9. Die Kesselschleuse, welche in ähnlicher Weise für eine gröfsere Anzahl Schiffe in der Kammer Raum bietet.

Fig. 7.



10. Die Koppel- oder Kuppelschleuse (s. Fig. 7), welche nach einer Richtung hin ein gröfseres Gefälle überwinden soll, als mit einer einfachen Kammerschleuse möglich ist, wobei also zwei oder mehrere Kammerschleusen so hintereinander gelegt sind, dafs das Unterthor der oberen zugleich Oberthor der unteren Schleusen ist, weshalb sie auf n Kammern $n + 1$ Thore haben mufs.

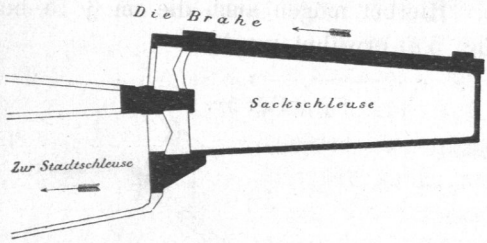
Fig. 8.



11. Eine besondere Art der Kammerschleuse, die man Weichenschleuse nennen kann, weil sie für Wasserstrafsen den Zweck der Weiche bei Bahngeleisen erfüllt, ist die Schleuse mit drei Häuptern Fig. 8 (Schleuse bei Aigues-Mortes). Sie zweigt einen Kanal von einem anderen ab und verbindet drei verschiedene Fahrrichtungen.

12. Eine vereinfachte Form der Weichenschleuse zeigt die Kopf- oder Sackschleuse Fig. 9 (Schleuse zu Bromberg). Sie hat nur zwei nebeneinander liegende Häupter und verbindet die unter spitzem Winkel zusammenlaufenden Enden zweier Fahrrichtungen.

Fig. 9.



Bei der Sackschleuse Fig. 9, für bestimmte Übergänge auch bei der Weichenschleuse Fig. 8 besteht der Übelstand, dafs die Fahrzeuge, wenn sie vorwärts in die Schleuse eingefahren sind, dieselbe rückwärts (mit dem Steuer voran) verlassen müssen. Um dies zu vermeiden, hat man die Schleusenkammer wohl zum Wenden der Schiffe eingerichtet und ihr einen kreisrunden oder polygonalen Grundrifs gegeben.

Fig. 10.

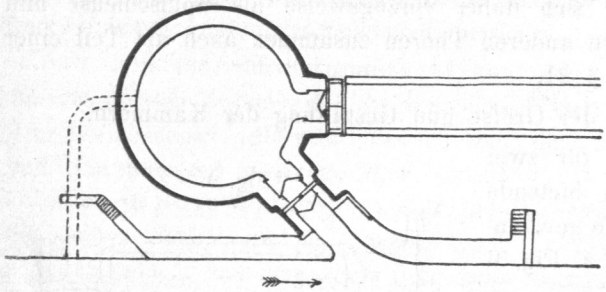


Fig. 11.

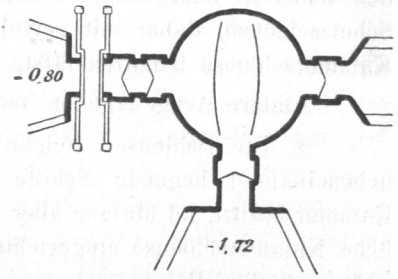
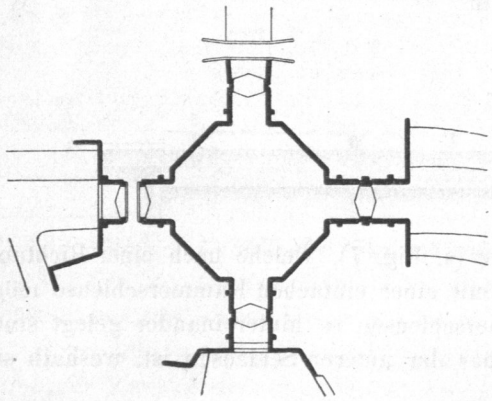


Fig. 12.



13. Man erhält so eine Schleusenform, die wegen der Ähnlichkeit ihres Zweckes mit dem der Drehscheiben der Eisenbahn Wendeschleuse genannt werden mag. Die Figuren 10, 11 und 12 stellen verschiedene Formen derselben dar. Fig. 10 (Schleuse bei Apremont) mit nur zwei Häuptern als Ersatz der Sackschleuse Fig. 9, Fig. 11 mit drei Häuptern (Schleuse bei Bézier) als Ersatz der Weichenschleuse Fig. 8, und Fig. 12 (Schleuse bei Dünkirchen) mit vier Häuptern und polygonalem Grundrisse in der Kreuzung zweier

Wasserstrafsen; dieser Schleuse könnte man den Namen Kreuzungs- und Weichenschleuse geben.[1])

Ähnlich der letzteren, jedoch von kreisförmigem Grundrisse, ist die Kesselschleuse für die Kreuzung des Ems-Jade-Kanals mit dem Emdener Stadtgraben. Infolge der eigentümlichen Verkehrsverhältnisse sind aber an die Kesselschleuse im Stadtgraben noch eine einfache und im Walthuser Tief noch eine Doppelschleuse angeschlossen.[2])

Je nach den Wasserverhältnissen der anschliefsenden Wasserstrafsen werden die verschiedenen Häupter der Weichen- und Wendeschleusen nur nach einer oder auch nach beiden Seiten hin kehrende Thore erhalten müssen, wodurch wieder eine ganze Reihe von Abarten entsteht.

Bei der Mehrzahl der genannten Schleusenarten tritt unter Umständen eine Verdoppelung der Thore derselben Kehrrichtung ein und zwar zunächst bei der gewöhnlichen Schutzschleuse, und bei der unter 6. genannten Schutz- und Dockschleuse zu gröfserer Sicherheit gegen hohe Sturmfluten, in seltenen Fällen auch bei reinen Dockschleusen mit grofsem Flutintervall, ferner bei der Kammerschleuse, um die Länge der Kammer gröfseren und kleineren Schiffen besser anzupassen. Die Schleusen an den Enden des Nord-Ostsee-Kanals zeigen aufserdem in ihren Mittelhäuptern noch die besondere Einrichtung der Sperrthore, deren Zweck ausschliefslich darin besteht, die Strömung in der Schleuse vor Schlufs der Flut- und Ebbethore zu beseitigen. Näheres im folgenden Paragraph am Schlusse.

Ferner entstehen besondere Arten von Schleusen dann, wenn statt vertikaler Drehthore andere Verschlufsvorrichtungen, als Schiebethore, Klappthore oder Pontons gewählt werden, vergl. § 21.

Aber nicht allein eine Verdoppelung der Thore, sondern auch eine Verdoppelung, selbst eine Verdreifachung der ganzen Schleuse ist unter Umständen am Platze. Hierbei können entweder nach Art der zweigleisigen Eisenbahnen Schleusen von gleichen Abmessungen als Doppelschleusen oder Zwillingsschleusen miteinander kombiniert werden oder man giebt den nebeneinander liegenden Schleusen verschiedene Abmessungen, um Schiffe von verschiedenen Gröfsen möglichst rasch zu befördern.

Endlich sind hier noch die Schleusen mit beweglichen Kammern (Trogschleusen) zu nennen, bei denen zur Überwindung eines grofsen Gefälles nicht das Schiff mittels des veränderlichen Wasserstandes in der Kammer, sondern letztere selbst mit dem darin schwimmenden Schiffe senkrecht oder auf einer schiefen Ebene gehoben wird, vergl. § 25.

Beispiele. An zwei Beispielen möge die Bezeichnung der einzelnen Teile wiederholt und die Bedeutung derselben näher besprochen werden. Indem hierzu die in F. 1—10, T. V und F. 1—8, T. VI dargestellten Schleusen dienen, mufs jedoch bevorwortet werden, dafs in besonderen Fällen noch einige aufsergewöhnliche, in diesen Beispielen nicht vorhandene Teile vorkommen können.

F. 1 u. 2, T. V stellt das Aufsenhaupt der in F. 6 derselben Tafel in ihrer Lage gezeichneten Schleuse des Papenburger Hafens[3]) dar. Die Schleuse ist eine Kammerschleuse, um jederzeit bei höherem Aufsenwasser Schiffe einfahren zu lassen. Sie ist zugleich Schutzschleuse, um das hohe Aufsenwasser von dem niedrigen Binnenlande und dementsprechend normierten Binnenwasser (s. F. 7) abzuhalten. Endlich kann sie auch als Dockschleuse gelten, weil sie mit dem Ebbethore das normale Binnenwasser verhindert, bei der Ebbe in die Ems zu laufen. Die Schiffe können bei höherem Binnen-

[1]) Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 298.

[2]) Deutsche Techniker-Zeitung 1893, S. 189.

[3]) Die wasserbaulichen Anlagen in Papenburg, von L. Franzius. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1866.

wasser also nicht hinauskommen. Die Schleuse besteht nach F. 6 demnach aus einem Aufsenhaupt mit einem Flutthore, aus einem Binnenhaupt mit einem Flutthore und einem Ebbethore und aus der zwischen beiden Häuptern liegenden Kammer. Da die Schiffe vor dem Einschleusen nicht im Fahrwasser der Ems liegen bleiben und nach dem Ausschleusen dasselbe nicht sogleich erreichen können, so mufste ein kleiner Vorhafen zwischen Aufsenfahrwasser und Schleuse hinzugefügt werden, in welchem einige Schiffe zur Vorbereitung für die Fahrt auf dem Kanal oder auf dem Flusse Platz finden. Von aufsen her gerechnet besteht nun das in F. 2 dargestellte Aufsenhaupt dieser Schleuse zunächst aus der anfangs zwischen zwei schrägen Flügeln liegenden Vorschleuse, welche sich bis an die Thorkammer erstreckt. Die Vorschleuse vermittelt hier den Übergang aus der engen eigentlichen Schleuse in den weiten Vorhafen, sie dient ferner dazu, die Deichböschung angemessen zu begrenzen und endlich auch, um Platz für doppelte Dammfalze zu geben. Bei reinen Kanalschleusen ist der letztere Zweck oft der einzige einer Vorschleuse; dann fällt der von schrägen Flügeln eingefafste Raum fort, s. F. 2 u. 4, T. VI. Die Thorkammer dient in allen Fällen lediglich zur Aufnahme der geöffneten Thorflügel in den Thornischen. Vorschleuse und Thorkammer haben ihren Vorschleusen- und Thorkammerboden. Nach der Thorkammer folgt jedesmal der Drempel im Boden mit den Thorsäulen in den beiderseitigen Wänden daneben. Nach vorn, oder in diesem Falle nach aufsen, sind diese beiden Teile begrenzt zunächst durch den im Grundrisse meist dreieckförmigen, nur bei grofsen Seeschleusen bogenförmigen Drempelanschlag, d. h. einen senkrechten Vorsprung im Boden, gegen den die Thorflügel mit ihrer fast stets horizontalen Unterkante schlagen, sodann durch die Wendenischen, oder den gekrümmten Vorsprung der Seitenwände, gegen den die Thorflügel mit ihrer senkrechten Hinterkante (der Wendesäule) sich lehnen und stemmen. Drempelanschlag und Wendenische bilden bei allen Schleusen die wichtigsten der festen Teile und geben mit den Thorflügeln zusammen erst das eigentliche vollständige Thor. Nach innen hin sind der Drempel, sowie die beiden die Wendenischen enthaltenden Thorsäulen oft nicht bestimmt begrenzt. Denn der Drempel geht zuweilen unmerklich in den Kammerboden oder in einen anderen Bodenteil über, während die Thorsäulen hinter der Wendenische ebenfalls in die Mauern der Kammer sich verwandeln. So hört streng genommen der Drempel in F. 2, T. V hinter dem aus F. 7 erkennbaren Absatz im Boden auf und es liegt zwischen diesem und der eigentlichen Kammer noch ein Hinterboden oder eine Art Vorschleusenboden. Erst nach diesem folgt nach einem nochmaligen Absatz der wirkliche Kammerboden. Das Binnenhaupt zeigt nach F. 6, 8 u. 9 zwei schmale Vorschleusen, zwei Thorkammern und zwei für die beiderseitigen Thore dienende, aber miteinander verbundene Drempel.

In diesem Falle ist ferner das Aufsenhaupt zugleich gewissermafsen das Oberhaupt, weil nur dann im eigentlichen Sinne durchgeschleust wird, wenn das Aufsenwasser höher als das Binnenwasser steht. Es liegt daher auch der äufsere Drempel höher als der doppelte innere, indem letzterer lediglich nach dem Normal-Binnenwasser, der äufsere dagegen nach der Flut der Ems bestimmt wurde.

Die in F. 1—8, T. VI dargestellte Schleuse der von Arnaville bis Metz kanalisierten Mosel[4]) hat fast genau die umgekehrte Anordnung. Es liegt das in der F. 2 dargestellte Unterhaupt mit einem Flutthore nach aufsen hin, wenn der Kanal als das Binnenwasser und die Mosel als Aufsenwasser angesehen wird. Oberhalb oder innerhalb des Flutthores liegt zunächst das untere Thor der Kammerschleuse, deren Thorkammerboden und der Kammerboden gleiche Höhe haben und diese Höhe erstreckt sich bis zum Abfallboden des in F. 4 u. 1 dargestellten Oberhauptes. Dann folgt der Oberdrempel, der Thorkammerboden und nach einem nochmaligen senkrechten Absatz der Vorschleusenboden.

Die ganze Schleuse ist nun zunächst eine einfache Kammerschleuse zum jederzeitigen Durchschleusen, so lange nicht das Unterwasser das Flutthor des Unterhauptes schliefst. Würde dies Flutthor fehlen, so würde das höhere Unterwasser die Thore der Schleusenkammer öffnen und in den 2 km langen, oben durch eine einfache Kammerschleuse geschlossenen Kanal treten. Dies mufste wegen der niedrigen Umgebung des Kanals vermieden werden, findet jedoch bei anderen Kanälen nicht selten statt, wo es denselben oder den davon abhängigen Grundstücken nicht schadet.

Es mufs noch bemerkt werden, dafs die Gestaltung der Schleusen im einzelnen in hohem Grade von den Thoren abhängig ist, insbesondere ergeben sich die Formen der Drempel, der Thornischen, der Wendenischen u. s. w. vorzugsweise aus der Anordnung der Thore. Wenn es sich um den Entwurf einer Schleuse handelt, sind deshalb nach Feststellung der Grundzüge die Erörterungen in den Paragraphen 15—21 alsbald zu Rate zu ziehen.

---

[4]) Siehe Kanalisation der Mosel u. s. w. von Schlichting. Zeitschr. f. Bauw. 1874.

§ 3. Anwendung und Lage der verschiedenen Arten. Anwendung und Lage der vorhin besprochenen Arten sind in der Regel voneinander abhängig und gestalten sich je nach Umständen sehr verschieden. Zur Vereinfachung seien hier diejenigen Rücksichten auf die Lage ausgeschieden, welche rein baulicher Art sind. Es gehören dazu die Beschaffenheit des Bodens, namentlich des Untergrundes, die günstige Lage des Bauplatzes für Materialzufuhr, für Abdammung, für etwaiges Ausschöpfen der Baugrube u. s. w. Alle diese Rücksichten werden erst bei Besprechung der Konstruktion nach ihrer Bedeutung näher beurteilt werden können; sie stehen übrigens, wenn sie nicht ausnahmsweise eine besondere Gröfse besitzen, stets in zweiter Linie gegen die Rücksichten auf den sicheren und bequemen Betrieb der Schiffahrt. Aus sonstigen örtlichen Umständen hervorgehende Gründe für die Wahl des einen oder anderen Platzes können nicht allgemein betrachtet werden, sondern mögen gelegentlich einiger Beispiele Erwähnung finden.

Nach dem in § 1 Gesagten finden die Schiffsschleusen ihre Anwendung hauptsächlich als Kanalschleusen, Flufsschleusen und Seeschleusen und es ist zunächst im allgemeinen zu bemerken, dafs für Kanalschleusen und Flufsschleusen die Kammerschleuse die gewöhnlich benutzte Form ist, während Seeschleusen häufiger ohne Kammer als mit einer solchen ausgeführt werden. Ein anderer Unterschied besteht darin, dafs die Kanalschleusen in der Regel eine Abfallmauer oder einen Abfallboden (s. S. 56) haben, während Seeschleusen fast ausnahmslos mit horizontal durchgehendem Boden hergestellt werden. Bei Flufsschleusen kommen sowohl horizontale Böden, wie Fallmauern vor.

Kanalschleusen. In den Schiffahrtskanälen nehmen die Schleusen verschiedene Formen an, je nachdem es sich um Scheitelkanäle, um Seitenkanäle oder um Seekanäle handelt. Die Schleusen der letzteren unterliegen den für Seeschleusen geltenden Regeln und sind deshalb nicht besonders zu besprechen.

Die Schleusen der Scheitelkanäle wurden früher mit wenigen Ausnahmen als gewöhnliche Kammerschleusen (Fig. 1, S. 56) ausgeführt, jedoch hat man, wenn es sich darum handelte, den Verkehr nach mehr als zwei Richtungen zu ermöglichen, die einfache Schleuse, wie im vorigen Paragraph bereits mitgeteilt, weiter ausbildend, die Weichenschleuse Fig. 8 u. 9, S. 58, und die Wendeschleuse Fig. 10, 11 u. 12, ebenda, geschaffen. Derartige Schleusen sind in der Anlage jedenfalls billiger, als die entsprechende Anzahl einfacher Schleusen, welche das Gleiche leisten sollen, erfordern aber mehr Wasser und werden daher nur eine beschränkte Anwendung finden können. Übrigens wird man häufig den Wasserverbrauch und die Herstellungskosten der Wendeschleusen dadurch herabmindern können, dafs man die Kammern nicht zum Wenden einrichtet, sondern in den Kanälen, nahe der Schleuse Wendestellen anordnet, die Schleuse dann also nur als Weichenschleuse baut.

Bei grofsen Gefällen wandte man früher ebenfalls die gewöhnliche Kammerschleuse ausschliefslich an, indem man entweder eine gröfsere Anzahl Einzelschleusen mit kurzen Haltungen dazwischen anordnete, oder auch mehrere (bis zu acht) Schleusen zu einer Schleusentreppe kuppelte, Fig. 7, S. 57. Letztere Anordnung erspart zwar Mauerwerk und Thore, erfordert aber sehr viel Wasser und verursacht namentlich grofse Zeitverluste. Dieselbe ist in unserer Zeit wohl nur noch da am Platze, wo in der Nähe eines Flusses ein aus demselben abzweigender Kanal so hoch liegt, dafs die letzte Schleuse als Kuppelschleuse mit einem solchen Gesamtgefälle angeordnet werden kann, dafs selbst das höchste Flufswasser nicht in den Kanal eintritt. Anstatt der Kuppelschleusen hat

Polhem bereits im vorigen Jahrhundert in Schweden eine einzige Schleuse mit 17,56 m Gefälle — eine sogenannte Schachtschleuse — anzuwenden versucht, die indessen wieder aufgegeben werden mufste. Die fortgeschrittene Entwickelung des Maschinenbaues hat nun in neuerer Zeit zur Überwindung starker Gefälle eine ganze Reihe von Entwürfen künstlicher Schiffshebewerke gebracht (vergl. § 25), von denen jedoch bisher nur wenige zur Ausführung gelangt sind. Wenn schon nicht zu leugnen ist, dafs diese Hebewerke eine bedeutende Wasser- und Zeitersparnis herbeiführen, so stehen sie doch in einem gewissen Gegensatz zu der einfachen, groben und dauerhaften Anlage eines Kanals, dessen schwächsten Punkt sie immer bilden werden.[5])

Diese Erwägungen haben in neuester Zeit dazu geführt, die einfache Kammerschleuse mit grofsem Gefälle wieder anzuwenden und selbst auf die Schachtschleuse zurückzugreifen. So sollten bei dem Nicaragua-Kanale 33,5 m durch drei Schleusen, bei dem letzten Projekte des Panama-Kanals 38 m durch vier Schleusen überwunden werden, während die erste Neuanwendung einer Schachtschleuse im Kanale St. Denis in Paris ein Gefälle von 9,92 m, der Entwurf für den Umbau des Burgunder Kanals sogar eine Schachtschleuse mit 20 m Gefälle aufweist. Der grofse Wasserverbrauch wird bei diesen neuen Schachtschleusen durch Sparbassins (vergl. § 24) wesentlich eingeschränkt, wennschon derselbe immer noch bedeutend gröfser, als bei künstlichen Hebewerken ist. Da das Durchschleusen eines Schiffes bei den letzteren auch weniger Zeit erfordert als bei den Schachtschleusen, so werden künstliche Hebewerke namentlich dann in Erwägung zu ziehen sein, wo bei Mangel an Speisewasser, aber lebhaftem Verkehre grofse Gefälle in der Nähe gröfserer Städte zu überwinden sind, da in solchen die Gelegenheit geboten ist, etwaige Reparaturen schnell ausführen zu lassen. Dabei sind die einfacheren Konstruktionen zu bevorzugen, weil sie mehr Gewähr für einen sicheren Betrieb bieten.

Der gesteigerte Verkehr auf den Kanälen führte dazu, anstatt der einfachen Kammerschleuse die Schleuse mit erbreiterter Kammer (Fig. 6, S. 57) anzuwenden oder statt derselben die Doppel- oder Zwillingsschleuse, welche aus zwei nebeneinanderliegenden, nur durch eine Mittelmauer getrennten Kammerschleusen besteht. Letztere sind nicht sehr viel teurer als die erstgenannten Schleusen, bieten diesen gegenüber aber den Vorteil, dafs sie einen ungestörten Kanalbetrieb gestatten und weniger Wasser verbrauchen. Hierbei sei bemerkt, dafs bei sehr bedeutenden und wichtigen Bauwerken, trotz der gröfseren Kosten, zu überlegen ist, ob es nicht zweckmäfsiger sei, Doppelschleusen nicht unmittelbar nebeneinander auf dasselbe Fundament zu stellen, sondern lieber einen Erdkörper zwischen beiden zu belassen. Bei Anwendung einer durchgehenden Fundamentplatte wird eine Schleuse weit mehr durch Beschädigungen der anderen (z. B. Quellen in der Sohle) in Mitleidenschaft gezogen, als wenn ein Körper von gewachsenem Boden zwischen beiden verbleibt. Ferner ist, wenn die Schleusen unmittelbar nebeneinander liegen, die Fertigstellung beider und damit die Eröffnung des Kanals von jeder derselben abhängig.

Mit der Zunahme der Schleppschiffahrt auf den Kanälen genügten auch die Doppelschleusen nicht mehr, und man ging dazu über, Schleusen zu bauen, welche sowohl einzelne Schiffe, als auch ganze Schiffszüge ohne unnötig grofsen Wasserverbrauch durchzuschleusen im stande sind. Es sind dies die Schleusen mit drei Häuptern hintereinander, bei denen je nach Bedarf entweder die ganze Kammerlänge zwischen den

[5]) Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 209.

beiden äufseren Thoren oder nur ein Teil der Länge zwischen dem mittleren Thore und einem der beiden äufseren benutzt wird. Auf Wasserstrafsen endlich mit sehr entwickelter Schiffahrt, die gleichzeitig grofsen Wasservorrat besitzen, hat man auch die Kammern der Schleusen zur Aufnahme einer grofsen Anzahl von Schiffen, also zu sogenannten Kesselschleusen erweitert. Eine solche Schleuse befindet sich in Brandenburg an der Havel, ferner in dem für Schleppschiffahrt eingerichteten, im Sommer 1892 eröffneten Merwede-Kanale in Holland und in diesem Lande an verschiedenen Orten.

Die Lage der Kanalschleusen wird im XV. Kapitel besprochen, namentlich unter „Tracierung".

Flufsschleusen. In weiterem Sinne des Wortes kann man zu den Flufsschleusen auch die in längeren, dem Hochwasser entzogenen Seitenkanälen der Flufskanalisierungen befindlichen Schleusen rechnen. Bei diesen Kanälen finden die vorhin besprochenen Kesselschleusen und Schleusen mit drei Häuptern gleichfalls nicht selten Anwendung. Aufserdem erhalten derartige Seitenkanäle an ihrem oberen Ende stets eine Schutzschleuse. In ihrer einfachsten Form bestehen diese aus einem Schleusenhaupte mit einem Thor, welches gegen das Hochwasser des Flusses kehrt. An den unteren Enden der Seitenkanäle dagegen wird häufig die Schutzschleuse mit der dem Flusse zunächst gelegenen Kammerschleuse vereinigt, welche dann ein Haupt mit zwei Thoren nach Fig. 5*a*, S. 57 erhält.

Während die Mehrzahl der besprochenen Schleusen sich meistenteils genau wie die in Scheitelkanälen liegenden verhalten, also keine andere Gestaltung als die Kanalschleusen bieten, versteht man unter Flufsschleusen in engerem Sinne diejenigen, welche im Flusse selbst oder in unmittelbarer Nähe eines solchen gelegen und dem Hochwasser ausgesetzt sind. Diese haben stets nur nach einer Richtung hin das Wasser zu kehren, bedürfen also nur nach einer Richtung hin schlagende Thore. Da der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser bei ihnen zwar verschieden und bei Hochwasserständen am kleinsten, aber trotzdem dauernd ist, so müssen die Schleusen stets mindestens zwei Thore und eine zwischenliegende Kammer haben. Weil das bei dem Durchschleusen verloren gehende Wasser bei einem Flusse gewöhnlich ohne Belang ist, so können meist ohne Nachteil in dieser Beziehung und zum Vorteil eines lebhaften Schiffsverkehrs die Schleusen eine zweischiffige Kammer haben, wenn nicht mit Rücksicht auf die verschiedene Gröfse der Schiffe und die noch raschere Beförderung zwei Schleusen von verschiedenen Abmessungen nebeneinander vorgezogen werden.

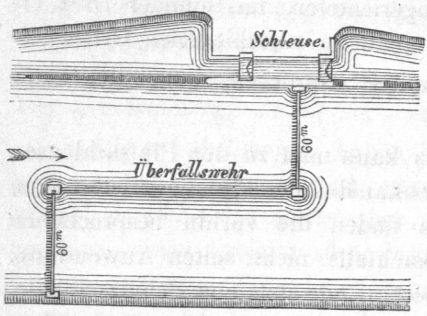
Mit Rücksicht auf den Tauerei- und Schleppverkehr sind die Flufsschleusen im engeren Sinne vorzugsweise als Schleusen mit drei Häuptern oder als Schleusen mit sehr langen Kammern auszuführen (Main-Kanalisierung bezw. Ems-Kanalisierung im Zuge des Dortmund-Ems-Kanals).

Die Flufsschleusen liegen fast stets in der Nähe des betreffenden Wehres oder gar in unmittelbarer Verbindung mit demselben. Als Beispiel der ersten Anordnung diene die im Jahre 1868 neu erbaute Weserschleuse bei Hameln, F. 10, T. VI. Ähnlich wie die alte aus derselben Figur zu ersehende Schleuse liegt die neue zwischen den zwei schrägen, durch eine kleine Insel voneinander getrennten Wehrhälften. Durch eine solche allgemeine Lage ist der Platz für die Schleuse fast unzweifelhaft vorgeschrieben. Der einzige Übelstand in diesem Falle wäre etwa, dafs die Schiffe an der oberen Wehrhälfte entlang fahren müfsten und, wenn stromauf nicht genügend gezogen oder stromab nicht sicher genug, etwa mit Hilfe des Ankers, gesteuert, in Gefahr geraten, über das

Wehr gerissen zu werden. Dagegen gestattet die gewählte Lage bequeme Vorhäfen, günstige Bauausführung und Sicherheit des Bauwerkes vor Eisbeschädigung.

Die Lage derjenigen Schleusen, welche sich unmittelbar an ein Wehr anschliefsen, ist durch die Lage und Anordnung des Wehres bedingt und deshalb bei den Flufskanalisierungen besprochen. Hier sei nur bemerkt, dafs im allgemeinen die Mitte der Schleuse oder eine in der Nähe derselben befindliche Stelle sich zum Anschlufs des benachbarten Wehres am besten eignet, vergl. Fig. 13. Wenn bei den Schleusen der oberen Seine (Fig. 71, § 13) diese Regel nicht befolgt und der Wehranschlufs an das Unterhaupt gelegt ist, so erklärt sich dies hauptsächlich aus der hier gewählten Konstruktion der flufsseitigen Kammerwände, welche eine gute Verbindung zwischen Wehr und Kammerwand nicht gestattet.

Fig. 13.



Die Schleusen in offenem Flusse sind den Beschädigungen durch Eisgang um so mehr ausgesetzt, je mehr ihre Axe in der Richtung des Fahrwassers liegt. Es ist schon aus diesem Grunde eine wenn auch leichte Trennungsmauer in der Verlängerung der flufsseitigen Schleusenmauer nach oben hin zweckmäfsig, zumal die Schleuse zur Sicherung der Fahrtiefe in der Regel an der tieferen und daher die stärkere Geschwindigkeit zeigenden Seite liegen mufs. Es darf daran erinnert werden, dafs die bei Erbauung des Wehres und der Schleuse oberhalb derselben vorhanden gewesene Tiefe schon nach kurzer Zeit infolge der Ablagerung von Sinkstoffen erheblich abnehmen kann. Unbedingt geschieht dies, wenn die Wehranlage lediglich eine feste ist. Wo das Wehr aus einem festen und aus einem beweglichen Teile besteht, wird deshalb auch die Schleuse neben dem mit der festen Sohle tiefer liegenden und daher die tiefere Stromrinne anziehenden beweglichen Wehrteile, dem sogenannten Schiffsdurchlafs, liegen müssen.

Über die allgemeine Anordnung von Kanal- und Flufsschleusen sind aufser den im vorigen Paragraph eingehender erörterten Beispielen zu vergleichen: F. 10 bis 15, T. VI, Weserschleuse bei Hameln, — F. 20 bis 23 daselbst: Moorkanalschleuse bei Papenburg mit sehr geringem Gefälle, daher fast horizontalem Boden, — Fig. 71 bis 75, § 13: Flufsschleuse in der oberen Seine mit horizontal durchgehendem Boden und F. 1 bis 6, T. VIII: Schleuse in der Oder bei Breslau.

Seeschleusen. Noch verschiedener in der Anordnung und Lage als die Flufsschleusen sind die der Seeschiffahrt dienenden Schleusen, wie bereits im § 1 erwähnt wurde. Es lassen sich dabei folgende Hauptfälle unterscheiden.

Wenn nur zeitweilig höheres Aufsenwasser abzuhalten ist, dieses aber wenigstens täglich einmal tiefer abfällt als das Binnenwasser, so kann bei nicht lebhafter Schiffahrt und wenn der Binnenwasserstand nur wenig über dem äufseren Niedrigwasser liegt, eine einfache Schutzschleuse genügen. Ist dabei das Aufsenwasser zeitweilig ein sehr hohes, so kann aus konstruktiven Gründen statt eines Thores die Herstellung von zwei hintereinander liegenden zweckmäfsig sein. Die Anwendung einer einfachen Schutzschleuse würde jedoch in den meisten Fällen mit vielen Nachteilen behaftet sein und ist deshalb, wie bei den meisten gröfseren Deichschleusen, keine gebräuchliche. Es pflegen vielmehr Ebbethore hinzugefügt zu werden, weil es fast stets erwünscht sein wird, dafs das Binnenwasser nicht unter ein gewisses Mafs hinabsinke, namentlich keine grofse Schwankungen durchmache. Durch letztere leiden nämlich fast sämtliche Ufer, wenn

auch nur durch den wechselnden Erddruck und Gegendruck des Wassers; die Sohle des Binnengewässers mufs für die Schiffahrt eine tiefere sein, als bei Innehaltung eines höheren Normalstandes und aufserdem würde unter Umständen eine lästige Strömung eintreten können, besonders dann, wenn das Binnenwasser zugleich zur Entwässerung dient.

Der umgekehrte Fall, dafs nur das Binnenwasser zeitweilig zurückgehalten werden soll, also eine einfache Dockschleuse genügt, ist weit häufiger. Er tritt namentlich dort ein, wo der Flutwechsel ein hoher und regelmäfsiger ist, wo das Binnenwasser, also der Wasserstand des Hafenbeckens, nahezu in der Höhe der gewöhnlichen Flut gehalten werden kann und wo die höheren Fluten ohne Schaden in dasselbe eintreten können. Da die Ufer der Hafenbecken oft schon infolge von Gleisanlagen eine hochwasserfreie Höhe erhalten müssen, so erscheint alsdann die Anbringung von Flutthoren oder die Anordnung der Schleuse als Schutzschleuse nicht notwendig. Wo der Flutwechsel besonders hoch, wie z. B. bei den meisten Flufsmündungen und Häfen Englands, legt man wohl vor dem eigentlichen Dock[6]), welches nur mit einfacher Dockschleuse bis zur Zeit des Hochwassers geschlossen ist, noch ein „Halbtidedock“ an, in welchem man mit Hilfe einer gleichen Dockschleuse einen Wasserstand von etwa halber Fluthöhe hält; der Nutzen solcher Anlagen für die Seehäfen wird in dem betreffenden Kapitel näher erörtert. Für die Schleusen ist die Anordnung insofern von Bedeutung, als jede derselben nur etwa den halben Wasserdruck des ganzen, an einzelnen Orten bis über 10 m steigenden Flutwechsels zu ertragen haben.

In Wilhelmshaven beispielsweise vertritt ein Vorhafen, welcher zwischen zwei Schleusenhäuptern liegt, zugleich die Stelle eines Halbtidedocks, obgleich derselbe aufserdem als Kammer einer Kammerschleuse benutzt werden kann, während das Hafenbecken zu Leer durch eine einfache Dockschleuse abgeschlossen ist. Wenn bei sehr hohem Flutwechsel auf die für die Schiffahrt sehr bequeme und vorteilhafte Einrichtung eines Halbtidedocks verzichtet wird, so kann es wenigstens notwendig werden, der Dockschleuse zwei Thore dicht hintereinander zu geben, um mit Hilfe von Schützen den Wasserdruck gleichmäfsig zu verteilen.

Da indessen in vielen Fällen auch von Dockhäfen ein zu hoher Aufsenwasserstand wegen niedriger Hafenufer abgehalten werden mufs, und, wie bereits bei den Schutzschleusen gesagt wurde, meistens auch bei diesen das Zurückhalten eines gewissen Binnenwasserstandes erwünscht sein wird, so ist eine Verbindung von Schutz- und Dockschleuse besonders häufig. Es wird allerdings durch das Hinzutreten des Schutzschleusenthores zu der Dockschleuse bei hohen Aufsenwasserständen die Frist für das Ein- und Auslaufen der Schiffe verringert. Die Schliefsung des Aufsen- oder Schutzthores findet übrigens meistens nur dann statt, wenn eine Sturmflut im Anzuge ist, was von den Hafenbeamten genügend sicher zu erkennen ist, sobald die Höhe des gewöhnlichen Hochwassers zu einer ungewöhnlich frühen Zeit unter entsprechenden Sturmerscheinungen wahrgenommen wird. Dagegen werden mäfsige Hochfluten, die den gewöhnlichen Dockstand nur um ein geringes Mafs überschreiten, ungehindert ein- und bei der nächsten Ebbe wieder ausgelassen. Diese Verbindung von Schutz- und Dockschleuse zeigen z. B. die Schleusen in den beiden neuen Bassins in Bremerhaven und das Binnenhaupt zu Wilhelmshaven.[7])

[6]) In England werden alle abgeschlossenen Hafenbecken „Docks“ genannt, während dies Wort in Deutschland hauptsächlich für die zum Bau und zur Reparatur der Schiffe dienenden Trockendocks, mitunter aber auch statt „Hafenbecken“ gebraucht wird.

[7]) Lagepläne der Hafenbecken zu Bremerhaven und Wilhelmshaven findet man in „Fortschritte der In-

Die Kammerschleuse ist dagegen für Seehäfen mit starkem Flutwechsel seltener als die vorgenannten Dockschleusen. Es hat dies darin seinen Grund, dafs die gröfseren Schiffe dort meistens nur zur Zeit des Hochwassers ein- oder auslaufen können, weil das Aufsenfahrwasser gewöhnlich nur alsdann mit Sicherheit fahrbar ist. Die viel kostspieligere Kammerschleuse würde daher nur den kleineren Schiffen zu gute kommen, wenn nicht das Aufsenfahrwasser auch bei niedrigeren Ständen für grofse Schiffe tief genug sein sollte.

Bei geringerem Flutwechsel ist eine Kammerschleuse eher von Nutzen, weil die Schiffahrt dabei weniger von dem Stande der Ebbe und Flut abhängt, und die Schiffe durch die jederzeit mögliche Durchschleusung oft an Zeit und günstiger Gelegenheit sehr gewinnen können. Eine Kammerschleuse wird ferner geradezu notwendig, wenn das Binnenwasser wesentlich tiefer steht als die gewöhnliche Flut aufsen, weil ein einfaches Haupt nur dann offen stehen würde, sobald das Aufsenwasser nahezu die Höhe des Binnenwassers erreicht hätte. Alsdann würde aber das Ausfahren den gröfseren Schiffen wenig nützen können, weil sie erst zur Zeit des nächsten Hochwassers die nötige Fahrwassertiefe finden würden. So ist z. B. die Schleuse in Papenburg von L. Franzius aus diesem Grunde als Kammerschleuse entworfen, obgleich die ältere Schleuse (T. V, F. 6) nur eine Schutzschleuse mit einem Ebbethore zum Zurückhalten eines normalen Binnenstandes im Kanale war. Reine Kammerschleusen für Seeschiffe sind u. a. ausgeführt für die Tilbury-Docks (vergl. Anm. 7) und die Victoria-Docks, London (T. VII, F. 16 bis 20), auch für den Hafen zu Bordeaux (daselbst F. 4—6).

Aus demselben Grunde, weshalb eine Dockschleuse oft mit einer Schutzschleuse verbunden wird, erhält eine nach binnen kehrende Kammerschleuse noch ein Flutthor und wird dadurch zugleich Schutzschleuse gegen höhere Fluten, so z. B. die grofse auf T. VII dargestellte Schleuse zu Geestemünde, vergl. den Lageplan Fig. 4 des XIII. Kap. Dieselbe hält in dem Hafenbecken nahezu die Höhe der gewöhnlichen Flut, sie gestattet dabei als Kammerschleuse bei niedrigerem Aufsenwasser jederzeit die Durchschleusung, obgleich vorzüglich nur zu gunsten kleiner Schiffe; das bei höheren Fluten zu schliessende Flutthor hält aber die um 4 m über gewöhnliche Flut steigenden Sturmfluten von dem Bassin ab, dessen Ufer nur die Höhe von 2,2 m über gewöhnlicher Flut haben.

Die in den Figuren 7, 8, 9 u. 21, T. VII dargestellte Schleusenanlage bei Emden besteht aus zwei zu verschiedenen Zeiten nach verschiedenen Gesichtspunkten erbauten Schleusen. Der ältere, im Jahre 1848 erbaute Teil ist die in F. 21, T. VII mit Schutzschleuse bezeichnete, aus zwei nebeneinander liegenden, ähnlichen Schleusen bestehende Anlage, der neuere, 1880 begonnene Teil ist eine mit Seeschleuse bezeichnete Kammerschleuse. Die ältere Schleuse diente dreierlei Zwecken; sie sollte mit Hilfe eines das Binnenfahrwasser zu beiden Seiten einschliefsenden Winterdeiches zunächst die Hochfluten von der Stadt Emden abhalten[8]), als Zugang zu dem Hafen derselben dienen und endlich das in diesen Hafen sich ergiefsende Binnenwasser eines grofsen Teiles von Ostfriesland bei Ebbe mit Hilfe der Ebbethore aufstauen. Als Schutzschleuse wurde sie wegen des bis 6 m hohen Wasserdrucks mit zwei hintereinander liegenden Flutthoren erbaut. Bei Erbauung des Ems-Jade-Kanals (vergl. Kap. XV) wurde nun zur Gewinnung einer bequemen und jederzeit zugänglichen Einfahrt die oben erwähnte Kammerschleuse an-

genieurwissenschaften", zweite Gruppe, 2. Heft (Leipzig 1894), Tafel II. Die Kammerschleuse der daselbst dargestellten Tilbury-Docks hat wegen sehr starken Flutwechsels drei Ebbethore erhalten.

[8]) Lahmeyer. Über Sicherung der Stadt Emden gegen Sturmfluten u. s. w. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1853.

gelegt. Dieselbe bedurfte nur eines Flutthors, weil für die Binnenentwässerung (vergl. Kap. XIII, S. 7) anderweitig gesorgt wurde, sodafs nunmehr der Wasserspiegel im Hafen stets auf Höhe etwa der gewöhnlichen Flut gehalten werden kann.

Die vollkommenste, aber auch kostspieligste Anordnung endlich ist die einer Kammerschleuse, in deren beiden Häuptern zwei nach jeder Richtung kehrende Thore liegen. Eine solche Schleuse wird nützlich oder notwendig, wenn bald auf der einen und bald auf der anderen Seite das Wasser höher steht und trotzdem fast jederzeit die Schiffe fahren können und sollen. Dies wird vorzugsweise nur bei geringem Flutwechsel der Fall sein und besonders dann, wenn auch der Binnenwasserstand Schwankungen ausgesetzt ist. So haben z. B. die auf Tafel VII dargestellten Schleusen des Amsterdamer Nordsee-Kanals doppelte Thore nach beiden Richtungen. Denn der gewöhnliche Flutwechsel beträgt an der Nordsee-Mündung desselben nur 1,4 m, sodafs bei etwas unregelmäfsigem Verlauf der Flut das Binnenwasser bald höher, bald niedriger als das Aufsenwasser stehen kann.

Ähnlich sind auch die in F. 13, T. V hinsichtlich ihrer Lage dargestellten Kammerschleusen des Hafens zu Harburg mit doppelten Flut- und Ebbethoren eingerichtet. Die Elbe hat bei Harburg 1,24 m gewöhnliches Flutintervall, wobei jedoch die höchste Sturmflut um 3,7 m über gewöhnliche Flut steigt und die niedrigste Ebbe noch 0,91 m unter das gewöhnliche Niedrigwasser hinabfällt, sodafs im ganzen 5,85 m gröfste Differenz besteht. Da die Wasserstände der Elbe bei Harburg sowohl von der Flutwirkung als auch von dem Oberwasser der Elbe abhängen und sehr häufig sich auch die Höhe des Hochwassers und Niedrigwassers verändert, so würde weder mit einfachen Ebbethoren noch mit einfachen Flutthoren eine bequeme Verbindung des Hafens mit der Elbe bewirkt worden sein. Wegen einer Wassermühle, die den Hafenspiegel als Unterwasser benutzte, mufste aufserdem lange Zeit dieser Spiegel möglichst niedrig gehalten werden, wogegen die Einrichtung der Schleusen einen fast beliebigen Stand zwischen Niedrig- und Hochwasser gestattet.[9]) Hierher gehören ferner die Schleusengruppe des Amsterdamer Nordsee-Kanals bei Ymuiden (F. 1—3, T. VII) und die Schleusengruppe des Nordsee-Kanals bei Amsterdam (Fig. 3 des XIII. Kapitels). Neuere Beispiele sind die Schleuse der zweiten Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven und die Schleuse der Hafenerweiterung zu Bremerhaven (vergl. Anm. 7), ferner die neue Schleuse des Amsterdamer Nordsee-Kanals bei Ymuiden. — Einige der besprochenen Schleusen haben aufser den Thoren an den Enden noch ein, selbst zwei Thore in der Mitte erhalten, teils gröfserer Sicherheit wegen, teils um beim Durchschleusen kleiner Schiffe Zeit zu sparen.

Endlich seien noch die Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanales erwähnt, welche gleichfalls nicht nur in beiden Endhäuptern, sondern auch noch in dem Mittelhaupte nach beiden Richtungen kehrende Thorpaare haben, s. Fig. 59, § 12 (Schleuse bei Holtenau). Der normale Wasserspiegel des Kanales soll dem Mittelwasser der Ostsee bei Kiel oder — 0,23 N. N. entsprechen. Die Ostseeschleusen sollen aber so lange offen bleiben, als der Spiegel der Ostsee nicht mehr als 0,5 m über oder unter Mittelwasser sich bewegt. Die Flut- oder Ebbethore dieser Schleusen müssen also geschlossen werden, wenn bereits nach der einen oder anderen Richtung hin Strömung durch die Kammern geht. Ebenso sollen die Elbschleusen bei Brunsbüttel (F. 13, T. XI) so lange offen bleiben, als der Kanal nach der Elbe hin entwässert und der Elbe-Spiegel nicht tiefer sinkt, als ungefähr $^1/_2$ m unter gewöhnlichem Niedrigwasser auf — 2 m N. N.

[9]) Näheres s. Centralbl. d. Bauverw. 1882, März.

Auch an der Elbe werden also die Thore, welche gegen den Kanal kehren, stets bei Strömung geschlossen werden müssen, die bis 0,8 m i. d. Sekunde betragen kann. Es ist aber auch der Fall nicht ausgeschlossen, dafs die gegen die Elbe kehrenden Flutthore geschlossen werden müssen, während bereits eine Strömung von der Elbe zum Kanale durch die Schleusen geht, wenn nämlich die Schleusenwärter bei beginnender Flut vergessen sollten, die Flutthore rechtzeitig zu schliefsen, oder sonstige Störungen vorkommen. Um nun den Schlufs der Flut- und Ebbethore auch dann ohne Gefahr für dieselben und die Bewegungsvorrichtungen vornehmen zu können, wenn die Strömung in den Schleusen bereits ziemlich bedeutend ist, sind im Mittelhaupte derselben sogenannte Sperrthore eingerichtet. Die Konstruktion dieser Sperrthore wird in § 19 beschrieben werden.

Diese Endschleusen sind Doppelschleusen. Man hat anfangs in Erwägung gezogen, ob des grofsen zu erwartenden Verkehrs wegen neben einer gewöhnlichen Schleuse eine Kesselschleuse nicht zweckmäfsiger sei, als eine Zwillingsschleuse, hat aber diesen Plan mit Recht fallen lassen, weil selbst in Brunsbüttel beide Schleusen täglich längere Zeit offen sein werden, sodafs ganze Flotten ein- und ausfahren können, ohne zu schleusen.

In Holtenau werden die Schleusen sogar jährlich im Durchschnitt nur an etwa 25 Tagen geschlossen werden müssen, während der übrigen Zeit aber offen bleiben. Es erscheint nebenbei bemerkt unter diesen Verhältnissen von wirtschaftlichem Standpunkte aus zweifelhaft, ob es richtig war, hier ein Bauwerk zu errichten, das im Bau und namentlich im Betriebe ebenso kostspielig ist, als die Schleuse in Brunsbüttel.

Schliefslich ist noch zu erwähnen, dafs die Lage der Seeschleusen in vielen Fällen durch zweckmäfsige Anordnung der zugehörigen Einfahrten (s. § 14) bedingt wird.

§ 4. Abmessungen. Weite, Tiefe, Kammerlänge und Höhe. Es sind hierunter nur diejenigen Abmessungen verstanden, welche auf den Schiffahrtsbetrieb von Einfluſs sind oder richtiger von demselben abhängen. Weil nämlich eine einzige Schleuse durch zu geringe Weite, Länge oder Tiefe es verhindern kann, dafs Schiffe, welche sonst mit Nutzen einen Fluſs oder Kanal befahren oder einen Hafen besuchen könnten, ihrer Gröfse wegen davon ausgeschlossen werden müssen, so ist es im höchsten Grade notwendig, die Abmessungen jeder neuen Schleuse oder gar einer Reihe von Schleusen dem Bedürfnisse der Schiffahrt entsprechend zu bestimmen. Weil aber andererseits mit der Vergröfserung jedes einzelnen der fraglichen Mafse die Kosten der betreffenden Teile des Bauwerks schon in mehr als einfachem Verhältnisse wachsen, die drei Hauptabmessungen sich aber meistens gegenseitig bedingen, so wird man auch sich scheuen, darin zu weit zu gehen. Dazu kommt, dafs zu grofse Mafse bei Kanälen wegen des unnützen Wasserverlustes und bei Seeschleusen wegen der schwierigeren Handhabung geradezu nachteilig sind.

Für jeden Kanal, jeden Fluſs und jedes Fahrwasser für Seeschiffe muſs also die Gröfse der Schleusen eine möglichst angemessene sein. Es darf dabei, wenn eine Verbesserung der Tiefenverhältnisse eines natürlichen Gewässers in naher Zeit erwartet werden kann, eine entsprechende Vergröfserung der Abmessungen über das zur Zeit vorliegende Bedürfnis hinaus nur alsdann unterlassen werden, wenn man etwa gerade jenes Umstandes wegen vorläufig in Holz oder ähnlicher Weise baut, oder wenn eine spätere Vermehrung der Zahl der Schleusen von vornherein als notwendig erscheint. Dies ist z. B. bei manchen neuen Hafenanlagen der Fall, für welche sowohl eine stetige Zunahme des Verkehrs bis zu gewissen Grenzen als auch eine Verbesserung des Fahr-

wassers erwartet werden darf. In solchen Fällen erscheint es oft zweckmäfsig, die erste Schleusenanlage nur nach dem zeitweiligen Bedürfnisse einzurichten und die Anlage einer gröfseren Schleuse der Zukunft vorzubehalten. Es kommt dabei noch der allgemeine Gesichtspunkt zur Geltung, dafs für manche Verhältnisse es am vorteilhaftesten ist, Schleusen von verschiedener Gröfse nebeneinander zu besitzen und für die entsprechenden Schiffe zu benutzen.

Um nun für die drei aus der Art der schiffbaren Gewässer sich ergebenden Hauptarten von Schleusen, Kanalschleusen, Flufsschleusen und Seeschleusen, eine allgemeine Grundlage für die Bestimmung der Weite, Tiefe und Länge zu gewinnen, ist es zunächst nötig, den für die verschiedenen Schiffsgattungen notwendigen Spielraum bei der Durchschleusung zu bestimmen. Wenn dann in dem einzelnen Falle die Mafse der zu erwartenden gröfsten Schiffe mit genügender Sicherheit ermittelt sind, so bedarf es nur der Addition der betreffenden Mafse, um die Abmessungen der zu erbauenden Schleuse zu erhalten.

Für alle Schiffe kann man im allgemeinen behaupten, dafs sie um so schwerer genau zu leiten, also auch mit Vermeidung von Gegenstofsen durch eine Schleuse zu bringen sind, je gröfser sie sind. Deshalb sollte auch der Spielraum wenigstens nach Breite und Länge der Schiffsgröfse entsprechen. Da jedoch alle Kanal- und Flufsschiffe wegen der im Verhältnis zu ihrem Gesamtgewicht gröfseren Länge und geringeren Tiefe leichter von aufsen oder mit Hilfe äufserer Stützpunkte zu leiten sind, als die kürzeren und tieferen Seeschiffe, und da ferner die letzteren dem Winde eine ungleich gröfsere Angriffsfläche bieten und oft gerade bei heftigem Winde und bewegtem Aufsenwasser noch sicher durchgeschleust werden müssen, so ergiebt sich schon hieraus die Notwendigkeit, für Seeschleusen gröfsere Spielräume als für Binnenschleusen anzunehmen. Endlich kommt in Betracht, ob die Schiffe nur langsam in die Schleuse hineingezogen werden, wie dies bei allen Kammerschleusen geschehen mufs, oder ob sie mit einer gröfseren Geschwindigkeit einfach hindurchfahren, wie dies bei vielen Dockschleusen gestattet wird und des regen Verkehrs wegen notwendig ist. Nach allem diesem ist es also erklärlich, dafs thatsächlich z. B. der Spielraum nach der Breite sich zwischen 10 cm und etwa 2 m auf jeder Seite bewegt. Vergleiche auch die Paragraphen 14 u. 27.

Der Spielraum nach der Tiefe hängt nicht so sehr von der Gröfse der Schiffe und ihrer Lenkbarkeit ab, als davon, ob die Schiffe stets in ruhigem Zustande durchgeschleust werden oder ob sie unter Umständen noch in einer gewissen Schwankung von vorn nach hinten sich befinden können, ferner ob sich zwischen Schleusenboden und Schiff fremde Körper befinden, wie z. B. bei grofsen Schleusen die Zugketten für die Thore oder nicht, s. § 22. Für Kanalschleusen kann abgesehen von der Wirkung der Öffnungen zum Füllen und Leeren der Kammer eine völlig ruhige Lage der Schiffe angenommen werden. Ein gewisses Schwanken der Schiffe ist dagegen schon bei Flufsschleusen möglich, bei den meisten Seeschleusen aber, welche unmittelbar an einem weiten, offenen Wasser liegen, fast unausbleiblich und um so gröfser, wenn, wie bei manchen Dockschleusen, die Schiffe unmittelbar und ohne erst zur Ruhe zu kommen vom offenen Wasser in den Hafen einlaufen.

Es kommt aber auch in Betracht, dafs bei wichtigen Schiffahrtskanälen auf eine demnächstige Vertiefung des Kanals Rücksicht zu nehmen ist, ferner dafs man überall da, wo die Gründung der Schleuse keine Schwierigkeiten bietet, die Tiefe reichlich bemessen sollte, um das Ein- und Ausfahren der Schiffe zu erleichtern. Versuche von

Barbet[10]) haben ergeben, dafs bei einem seitlichen Spielraum der 1,8 m tiefgehenden und 5 m breiten Schiffe von je 0,1 m, der Widerstand beim Einfahren mit zunehmendem Abstande des Schiffsbodens vom Drempel anfangs sehr rasch, danach langsam abnahm, sodafs 0,45 bis 0,5 m als das relativ günstigste Mafs für diesen Abstand gelten kann.

In der Länge genügt bei Kammerschleusen ein mäfsiger Spielraum zwischen den Begrenzungen der sogenannten nutzbaren Länge der Kammer. Diese Grenzen sind einerseits der Anfang der unteren Thorkammer, andererseits bei Schleusen ohne Fallmauer die Verbindungslinie der Wendenischen des Oberhauptes, bei Schleusen mit Fallmauer aber die Verbindungslinie der Anschlüsse dieser Mauer an die Seitenwände. Die Länge des Steuerruders der Schiffe kommt in der Regel nicht in Anrechnung. Bei Seeschiffen insbesondere kommen nur die festen Teile des Rumpfes in Betracht, indem das Bugspriet sowie die etwa über dem Heck (Hinterteil) hervorragenden Teile der Takelage frei über der Oberkante der Thore hinwegragen.

Wie nun bei der Bestimmung der Breite hauptsächlich die feste Einfassung der Thore sowie die Seitenwände der Kammer und der Vorschleusen in Frage kommen und in der Regel die Weite im Thore selbst die kleinste ist, so ist für die Tiefe vorzüglich die Höhe des Drempels mafsgebend. Es mufs jedoch die Tiefe stets für den kleinsten Wasserstand bemessen werden, bei welchem noch die Schiffahrt ganz oder vorkommenden Falls nur in eingeschränktem Mafse zu gestatten ist.

Nach dem Obigen sind entsprechend der verschiedenen Gröfse der Schiffe, der Geschwindigkeit, mit welcher sie in die Schleuse einfahren, sowie der etwaigen schwankenden Bewegung, die sie während der Fahrt noch besitzen, die in nachstehender Tabelle angegebenen Spielräume zu geben:

Arten der Schleusen.	Breite		Tiefe		Länge		Bemerkung.
	von	bis	von	bis	von	bis	
Kanalschleusen	0,1	0,2	0,2	0,5	0,5	1,0	Der Spielraum der Breite ist für jede Seite, also doppelt, derjenige der Tiefe und Länge nur einfach zu rechnen.
Flufsschleusen	0,15	0,3	0,25	0,5	1,0	1,5	
Seeschleusen mit Kammer . . .	0,3	1,0	0,3	0,5	1,5	2,0	
Einfache Dockschleusen . . .	1,0	2,0	0,3	0,5	—	—	

Hierzu ist noch zu bemerken, dafs man die Spielräume für die Breite und Länge einschränken wird, wenn es an Speisewasser für den Kanal gebricht.

Was nun die Mafse der Schleusen selbst anlangt, so ist es unmöglich, dafür bestimmte und allgemein giltige Zahlen anzugeben. Es kommt eben auf die vorhandene oder zu erwartende Gröfse der gröfsten Schiffe an. Hinsichtlich der Flufs- und Kanalschleusen mufs auf das Bezug genommen werden, was im IX. Kapitel unter „Schiffahrtsanlagen“ und im XV. Kapitel unter „Voruntersuchungen“ gesagt ist. Für Flufsschleusen ist noch besonders zu beachten, ob aufser den eigentlichen Lastschiffen auch noch Dampfschiffe zum Schleppen oder Personentransport fahren. Dies pflegt bei Kanälen seltener vorzukommen, bei Flüssen jedoch die Regel zu sein. So mufste z. B. für die neue Schleuse zu Hameln mit Rücksicht auf die Raddampfer, welche die Weser befahren, die Weite der Schleuse zu 11 m genommen werden, während die gröfsten Lastschiffe der Weser nur 7,53 m Breite besitzen. Bei einem gröfseren teils aus Flüssen, teils aus Kanälen bestehenden Wasserstrafsennetze wird man gut thun, den Kanalschleusen solche Abmessungen zu geben, dafs die flacher aber breiter gebauten Flufsschiffe mittlerer Gröfse

[10]) Ann. des ponts et chaussées 1885, II. S. 727.

auf die Kanäle übergehen können, wobei vorausgesetzt wird, dafs auch die Kanäle genügende Breite erhalten, um das Begegnen zweier Flufsschiffe zu gestatten. Dadurch wird wenigstens der Verkehr der Flufsschiffe für das ganze Netz zu jeder Zeit gesichert, wenn schon die tiefer und schmaler gebauten eigentlichen Kanalschiffe die Flüsse mit voller Ladung nur bei günstigen Wasserständen befahren können.[11])

Die gröfsten Verschiedenheiten zeigen begreiflicherweise die Seeschleusen. Es giebt manche nur für kleine Küstenfahrer bestimmte Schleusen von etwa 6 m Weite, wogegen für die gröfsten Schiffe einzelne Kammerschleusen und manche Dockschleusen sogar 30 m Weite haben. Die gröfste Tiefe derselben überstieg früher selten 7,5 m unter dem niedrigsten Spiegel, bei dem noch Schiffe von etwa 7 m Tiefgang einlaufen sollten. Die Länge der Kammerschleusen, hinter denen ein Dock mit fast vollem Flutstande liegt, wird oft nur für mittlere Schiffe bestimmt, sodafs längere Schiffe gezwungen werden, erst nach einer Ausspiegelung des äufseren und inneren Wassers durchzufahren. So ist z. B. der Geestemünder Schleuse nur eine nutzbare Kammerlänge von 73 m gegeben, während die gröfsten im Bau begriffenen Dampfschiffe jetzt über 200 m lang sind. Die gröfsere der beiden älteren Nordseeschleusen des Amsterdamer Kanals hat 120 m zwischen den zusammengehörenden Drempelspitzen, also nach Abzug der Dicke eines Thores reichlich 119 m. Es ist bei ihr nur auf Segel- und Schraubenschiffe gerechnet und die Weite zu 17,27 m bestimmt, während bei der Geestemünder Schleuse mit 23,35 m Weite in der Höhe der gewöhnlichen Flut auch auf grofse Raddampfer Rücksicht genommen wurde. Eine Schleuse des Kanada-Docks in Liverpool hat dagegen rund 30 m Weite und 150 m Länge zwischen den Thoren, und die neue Schleuse für Bremerhaven wird 200 m lang und in den Thoren 28 m weit.[12])

Die Höhe der Seitenwände mufs nach dem Zweck der Schleuse und der Belegenheit bestimmt werden. Es ist jedoch die Höhe der Thore von ebenso grofser Bedeutung; diese wird im § 15 für die einzelnen Fälle näher besprochen werden. In der Regel werden die Seitenwände wenigstens neben den Thorsäulen etwas höher als die Thore gehalten, um letztere besser verankern zu können.

Im übrigen sei auf die im Texte und in den Figurentafeln enthaltenen Beispiele verwiesen.

B. Die Schleusenkörper.

(72 Textfiguren.)

§ 5. Konstruktion des Schleusenkörpers im allgemeinen. Untergrund, Baustoffe. Bedeutung der Schleuse und Kostenvergleichung. Im nachfolgenden seien die Bedingungen für die Wahl des Materials und der Bauweise einer Schleuse besprochen, wobei zunächst nur die festen Teile derselben, der sogenannte Schleusenkörper, im Gegensatze zu den beweglichen Teilen, den Thoren nebst ihrem Zubehör, in Betracht gezogen werden sollen. Im allgemeinen kann dabei gesagt werden, dafs die Konstruktionen der Schleusen in neuerer Zeit bei den verschiedenen Nationen sehr viel ähnlicher geworden sind, als sie vordem waren. Es sind die durchdachten und bewährten Formen beibehalten, während die aus Vorurteil oder Gewohnheit entstandenen Anordnungen sich nahezu verloren haben.

---

[11]) Die Schleusengröfse der neuen Kanalentwürfe von Sympher. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 180.

[12]) Vergl. „Fortschritte der Ingenieurwissenschaften“, zweite Gruppe, 2. Heft, S. 72. Daselbst S. 8 u. ff. findet man Angaben über die Gröfse u. s. w. neuerer Seeschiffe.

Die heutzutage in jedem Lande noch auftretenden Verschiedenheiten haben besonders in örtlichen Umständen ihren Grund, wobei zunächst die Beschaffenheit des Untergrundes die mit Rücksicht auf sichere und gute Ausführung zu befolgende Bauweise vorzüglich bestimmt, während aufserdem die Wahl des Baustoffes von den sich nach der Örtlichkeit richtenden Kosten desselben und zugleich von der gröfseren oder geringeren Bedeutung der ganzen Schleuse oder gewisser Teile, also von dem Grade der verlangten Dauerhaftigkeit abhängt. Dies mag nun, abgesehen von allen besonderen Fällen und Fragen, im grofsen und ganzen näher untersucht werden.

Im allgemeinen kann man von den Schleusen sagen, dafs sie meistens auf ungünstigem Baugrunde erbaut werden müssen. Dieses gilt jedoch am wenigsten für die Kanalschleusen, von denen ein grofser Teil und vorzüglich die der oberen Haltungen meistens auf festem Boden liegen. Bei den unteren Haltungen dagegen werden vielfach die Thäler kleiner Flüsse aufgesucht; dann treffen die Schleusen schon häufiger auf lose angeschwemmten Boden. Die neben Wehren anzulegenden Schleusen finden in stark fliefsenden Flüssen meistens ein aus einzelnen festen, aber leicht beweglichen Teilen bestehendes Bodenmaterial, ferner eine im offenen Wasser liegende Baustelle und verlangen daher umfangreiche Sicherungsmafsregeln gegen das Fortschwemmen der losen Bodenteile und umständliche oder eigentümliche Hilfsmittel zur Ausführung. Die schwierigsten Fälle bieten jedoch in der Regel alle Seeschleusen, zunächst wegen ihrer gröfseren Tiefe gegen das offene Wasser und sodann deshalb, weil sie oft in tiefliegenden Marschen mit schwammigem Untergrunde erbaut werden müssen.

Die Marsch besteht, wie bekannt, meistens aus einem von gewöhnlicher Flut abwärts etwa einen bis einige Meter tief reichenden Klaiboden, dann aber folgt ein mehrere (oft bis 16) Meter tief zusammengeschwemmter Moorschlamm oder gewachsener Dargboden. Der Boden einer 7 bis 8 m unter gewöhnlichem Hochwasser tiefen Schleuse erreicht also in manchen Fällen noch längst nicht den festen Untergrund. Das in seinem Querschnitte U-förmige Bauwerk, welches nur in seinem Boden eine Querverbindung besitzt, dabei eine Lichtweite von 20 bis 30 m und eine Länge von etwa 50 bis über 150 m hat, soll nun zeitweilig und wechselnd an einzelnen Stellen einen Überdruck des Wassers von etwa 4 bis etwa 12 m ertragen und trotzdem nicht im geringsten seine Form verändern oder undicht werden. Es ist schon hiernach ohne weiteres klar, dafs grofse Seeschleusen auf weichem Untergrunde und bei hohem Wasserdruck zu den allerschwierigsten Aufgaben der Konstruktion und der Ausführung gehören. Es kann unter Umständen notwendig sein, das Bauwerk wie einen schwimmenden Kasten, also einem Schwimmdock ähnlich, zu konstruieren, nur mit dem Unterschiede, dafs es in allen Fällen genügendes Gewicht haben mufs, um nicht aufzutreiben. Die Gefahr des Auftreibens kommt, wie im § 9 näher angegeben ist, thatsächlich unter Umständen bei hölzernen Böden unfertiger Schleusen vor. Denn es handelt sich dabei oft um Wasserdrücke von über 12 m, wenn z. B. die Schleuse etwa 8 m tief unter gewöhnlichem Hochwasser liegen und einen etwa 1 m dicken Boden erhalten soll, dabei aber während völliger Entleerung von innerem Wasser aufsen eine 3 bis 4 m über den gewöhnlichen Stand sich erhebende Sturmflut eintritt. Mufs dann eine derartige Schleuse mit Hilfe von Abdammung dicht am offenen Wasser erbaut werden, so können die Schwierigkeiten der Ausführung kaum von anderen Ausführungen übertroffen werden. Denn unter derartigem Wasserdruck verwandeln sich die meisten festen Bodenarten, wie Sand und dessen verschiedene Mischungen, in halbflüssige Massen, Triebsand und Schlamm, bei denen

plötzliches Einrutschen der Baugrubenufer, Bersten halbfertiger Böden oder gar Brechen der Abdammung infolge der Bewegung des Untergrundes zu befürchten und zu bekämpfen sind. Aus diesem Grunde erscheint von vornherein für alle grofsen und tiefen Seeschleusen die früher gebräuchliche Bauweise mit Abdammungen und starkem Wasserschöpfen für die Ausführung von hölzernen oder auf Holz ruhenden steinernen Böden nur noch selten mit Vorteil anwendbar. Es werden wegen der schwierigeren Konstruktion und Ausführung Holzböden in solchen Fällen reichlich so teuer als massive.

Es ist daher erklärlich, dafs man in neuerer Zeit für solche Schleusen sich mehr denjenigen Bauweisen zuneigt, bei welchen man ganz oder fast unabhängig wird von dem stärksten Wasserdruck und wobei die teueren und oft kaum genügend stark zu machenden Abdammungen, sowie das kostspielige und manchmal die Gefahren nur vergröfsernde Wasserschöpfen fortfallen oder auf ein sehr bescheidenes Mafs beschränkt werden. Letzteres geschieht durch Anwendung eines über die ganze Sohle des Bauwerks sich erstreckenden Betonfundamentes, welches, mit Hilfe von Kästen oder noch besser von Trichtern unter Wasser hergestellt, vor dem Auspumpen der Baugrube die Sohle dichtet. Wo aber wegen zu weichen Baugrundes die Ausführung einer durchgehenden Sohle einen Bruch derselben in der Mitte befürchten lassen könnte (vergl. § 6 und § 12), bietet die Prefsluftgründung ein auch unter den schwierigsten Verhältnissen nie versagendes Mittel zur Herstellung, sei es nur der Mitte der Sohle, oder des ganzen unter Wasser liegenden Teils des Bauwerks. Auch Senkbrunnen oder Senkpfeiler hat man ohne Hilfe von Prefsluft zur Herstellung der Seitenwände mit Vorteil angewendet (§ 12).

Baustoffe. Von den Materialien kommen vorzugsweise gute Steine und hydraulischer Mörtel, Holz und Eisen in Betracht, während Buschwerk und rohe Steine nur in untergeordneter Weise Platz finden.

Der Beton besteht bekanntlich aus kleinen Steinen und hydraulischem Mörtel. Man kann die Verwendung grofser Betonmassen geradezu bahnbrechend für den Bau der Seeschleusen und der ihnen verwandten Trockendocks ansehen. Obwohl die erwähnten Schwierigkeiten und Gefahren der tiefen Schleusen dabei sehr vermindert werden, so erfordert doch ihre Betonierung eine grofse, kaum zu übertreibende Vorsicht, um Quellen und hohle Räume unter dem Boden zu vermeiden. Es kommt nämlich für eine oft einige 1000 qm grofse Bodenfläche, welche, wenn auch nur für kurze Zeiten einem etwa 6—8 m Druckhöhe entsprechenden Auftriebe ausgesetzt ist, auf vollständige Dichtigkeit und genügende Festigkeit gegen Zerbrechen an (vergl. § 6), wobei fast stets eine ungleich höhere Beanspruchung des Betons eintritt als z. B. bei Fundamenten von Brückenpfeilern, welche nur den einfachen senkrechten Druck des Bauwerks zu ertragen haben. Erst durch die Vervollkommnung der Betonmaschinen und der zum Absenken dienenden Apparate ist die sichere Herstellung so grofser Betonflächen ermöglicht.

In neuerer Zeit wird die Anwendung des Betons eine immer umfassendere und allgemeinere. Nicht nur zur Schüttung der Böden unter Wasser, sondern auch zur Herstellung der Seitenwände in trockner Baugrube oder unter der Taucherglocke ist derselbe aus vielen Gründen dem Mauerwerk vorzuziehen; um nur einige anzuführen, sei auf die billigere und schnellere Herstellung des Betons gegenüber dem Mauerwerk, ferner auf die leichter zu erreichende Gleichmäfsigkeit und Dichtigkeit hingewiesen.

Von den Steinen sind vorzüglich die gewöhnlichen Backsteine zur Herstellung grofser Massen besonders der Hintermauerung, die Klinker für etwaige Bögen und die Verblendung der äufseren schlichten Flächen, endlich die Werksteine oder Quader für

alle Kanten, Vorsprünge und besondere Sicherheit erfordernden Teile zu verwenden. Bruchsteine dürfen nur ausnahmsweise, wenn sie sehr lagerhaft und gleichmäfsig dick sind und wenn anderes Material nur mit unverhältnismäfsigen Kosten zu beschaffen ist, angewandt werden, dabei fast stets nur zur Hintermauerung. Denn es läfst sich bei ihnen trotz sorgfältiger Aufsicht kaum vermeiden, dafs in den Stofs- und Lagerfugen hohle Räume bleiben. Bei allem Schleusenmauerwerk ist aber Wasserdichtigkeit das erste und wichtigste Erfordernis, weil der häufige Wechsel der Wasserstände auch die kleinsten Fugen zu erweitern und miteinander zu verbinden sucht. Ist aber erst in gröfserem Umfange ein Netz von Fugen und Hohlräumen entstanden, so ist die Haltbarkeit des Mauerwerks gegen zeitweilige hohe Wasserdrücke, gegen das Anstofsen grofser Schiffe oder die nicht immer zu vermeidenden Erschütterungen bei dem Zuschlagen der Thorflügel nur noch eine sehr geringe. Es giebt Beispiele von aus Bruchsteinen gebauten Schleusen, wobei diese nach einigen Jahrzehnten baufällig geworden sind. Ein Beton aus Bruchsteinschotter ist daher stets dem eigentlichen Mauerwerk vorzuziehen.

Fast ebenso notwendig als die Lagerhaftigkeit und der gute Verband aller zu den eigentlichen Mauern zu verwendenden Steine ist die Wetterbeständigkeit aller äufseren bald der Luft, bald dem Wasser ausgesetzten Steine. Von Backsteinen sind deshalb unbedingt nur wirklich glasig gebrannte Klinker verwendbar, d. h. solche, die bei dem Brennen zu einer dichten und glasharten Masse geschmolzen sind. So lange weichere und poröse Stellen darin bleiben, erfüllen sie nicht die Bedingungen der völligen Wetterbeständigkeit. Man darf jedoch nicht zu weit in dem Grade des Zusammenschmelzens gehen, weil dabei die Steine teils rissig werden, teils zu sehr die regelmäfsige Form verlieren und keine dichte Mauerung gestatten. Bei den norddeutschen Klinkern z. B. ist die braune Farbe deshalb in der Regel der violetblauen vorzuziehen. Da nun, wie schon erwähnt, alle vorspringenden Teile wegen des Anstofsens von Schiffen, die Wendenischen auch behufs Bildung genau gekrümmter Flächen aus Werksteinen aufgeführt werden müssen, das Werksteinmauerwerk aber bei genauer Arbeit sich im allgemeinen weniger setzt als Backsteinmauerwerk, so mufs das letztere, soweit es sich mit den Anforderungen einer genügenden Ausfüllung aller Fugen verträgt, mit möglichst engen Fugen und nicht zu rasch aufgemauert werden. Man wird sonst Risse im fertigen Mauerwerk kaum vermeiden können.

Alle Werksteine endlich müssen bei genügender Wetterbeständigkeit und Härte eine sehr sorgfältige Bearbeitung auch der Stofs- und Lagerfugen erhalten, um die an den Bruchsteinen gerügten Nachteile nicht ebenfalls zu zeigen. Die Sorgfalt bei der Ausfüllung der Fugen kann nicht übertrieben und nur mit Erfolg geübt werden, wenn die Quader mittels guter Hebezeuge vorsichtig in ein volles Mörtelbett gesetzt werden. Das trockene Versetzen und nachherige Vergiefsen ist zwar weit einfacher und billiger, wird auch stets von den Unternehmern vorgezogen, giebt jedoch keine genügende Sicherheit.

Zum Mörtel eignen sich gute, langsam bindende und nicht bei dem Binden gedeihende oder treibende Cemente, oder als Zusatz zum gewöhnlichen Kalk ein aus sicherer Quelle stammender, möglichst fein gemahlener Trafs. Für alle bis zur Höhe des gewöhnlichen Wasserwechsels unter Wasser liegenden Teile der Schleuse ist unbedingt die beste Mischung eines langsam, aber auch nicht zu langsam bindenden Mörtels zu nehmen, während für das obere Mauerwerk ein durch gröfseren Sandzusatz billiger kommender Mörtel zulässig ist. Da an jedem Ort die Auswahl der verschiedenen hydraulischen Mörtel eine andere ist, und das Mischungsverhältnis von den einzelnen Bestandteilen abhängt, so mufs in dieser Beziehung eine sorgfältige Erkundigung nach den Eigenschaften

derselben und möglichst eine Untersuchung vieler Proben auf Zug, Druck, Schwinden oder Schwellen der Wahl der Mörtelmaterialien und ihres Mischungsverhältnisses vorangehen.

Von Hölzern eignen sich alle Nadelhölzer, besonders Kiefernholz, zu den Rammpfählen, Spundbohlen, Belagbohlen und den gegen Wasserbewegung oder starken Druck und sonstige Angriffe geschützt liegenden Teilen am besten. Sie besitzen die gröfsere Elasticität und sind am besten in grofsen Längen gradfaserig zu erhalten. Zu allen stark durch Druck, Stofs, Wasserbewegung u. s. w. beanspruchten, zeitweilig an der Luft liegenden Holzteilen ist unbedingt hartes Holz, in Deutschland meist nur Eichenholz zu verwenden, so z. B. zu den Drempeln, frei liegenden Gurten oder Holmen, und allen aus dem Wasser in die Luft reichenden Stücken der in Holz konstruierten Schleusen. Ein grofser Übelstand ist für Deutschland, dafs die inländischen Eichen von grofser Dicke und Länge so selten geworden sind, dafs oft zahlreiche Bäume gefällt und geschnitten werden müssen, bis sich darunter endlich ein mafshaltendes und hinreichend fehlerfreies Stück z. B. für die Schlagschwellen oder die Mittelschwelle einer grofsen Schleuse findet. Des zu grofsen Wertes und des mit bestimmten Abmessungen verbundenen Verlustes wegen werden solche Hölzer selbst von grofsen Holzhandlungen nicht vorrätig gehalten. Es ist deshalb mehrfach notwendig geworden, so z. B. bei der Papenburger Schleuse, wo die Mittelschwellen etwa 16 m lang sind, ausländisches Holz (kanadisches Eichenholz) zu verwenden.

Da die Dauer guter Hölzer, wenn sie stets unter Wasser liegen und keiner Strömung, Angriffen des Bohrwurms oder dergl. ausgesetzt sind, als unbegrenzt gelten kann und hartes Holz bei zweckmäfsiger Konstruktion auch über dem Wasser eine Dauer von 15 bis 30 Jahren erlangt, so ist die Verwendung des Holzes zum Schleusenbau durchaus nicht zu unterschätzen. Die wichtigsten Vorzüge des Holzbaues sind dabei: die Billigkeit, die kurze Zeit zur Herstellung und das geringe Gewicht bei etwaigem schlechten Untergrunde. Der Holzbau ist also in solchen Fällen besonders in Erwägung zu ziehen, wo die Ausführung massiver Schleusen sehr schwierig und kostspielig sein würde und wo es aufserdem nicht unwahrscheinlich ist, dafs nach einer kurzen Reihe von Jahren infolge gestiegener Bedeutung der ganzen Anlage eine gröfsere Schleuse erwünscht sein wird. Über die Einzelheiten des Holzbaues siehe § 9 und 11.

Das Eisen, und zwar in seinen verschiedenen Arten, als Gufseisen, Flufseisen, Stahl und Schmiedeeisen, hat im allgemeinen nur bei den Thoren (s. § 17 und 19) die Bedeutung eines selbständigen Materials, während es bei dem festen Schleusenkörper nur als Hilfsmaterial zur Verbindung anderer Materialien, besonders der Hölzer, auftritt. Über die vereinzelt vorkommende Verwendung in gröfserem Mafse siehe § 13. Ebendaselbst sind auch die anderen ausnahmsweise zu verwendenden Materialien besprochen.

Bedeutung der Schleusen. Was nun die Bedeutung der Schleusen anlangt, so wird die Verschiedenheit am deutlichsten durch zwei Fälle entgegengesetzter Art. Wenn z. B. es sich um die Anlegung eines Moorkanals handelt, welcher eine früher völlig unwegsame und wüste Gegend erst aufschliefsen und zunächst nur dem Transport des gewonnenen Torfes dienen soll, so wird in vielen Fällen, wenn nicht durch die günstige Lage eine baldige gröfsere Bedeutung des Kanales gewifs ist, es zweifelhaft bleiben, ob der Kanal nur diesen örtlichen landwirtschaftlichen oder auch den allgemeinen Verkehrszwecken zu dienen haben wird. Für die ersteren Zwecke reichen meistens sehr kleine Abmessungen aus, während für letztere gröfsere wünschenswert sind. In solchen Fällen ist ein billiger Holzbau vorteilhaft und zwar in einer Gröfse, welche den zunächst

absehbaren Verhältnissen entspricht, weil sich nach etwa 30 Jahren die wirtschaftlichen Zustände der Umgegend wahrscheinlich sehr geändert haben werden. Dazu kommt, dafs im eigentlichen Hochmoor Holz sich verhältnismäfsig lange hält und leicht zu befördern ist, während vor Eröffnung eines Schiffahrtsweges das schwere Steinmaterial nur mit ganz unverhältnismäfsigen Kosten auf den Platz zu bringen sein würde. Diesem Falle, wo der Holzbau anfangs entschieden den Vorzug verdient, steht derjenige gegenüber, wo es sich um die Erbauung einer grofsen Seeschleuse eines schon bestehenden Hafens handelt. Hier wird die Bedeutung der Schleuse in keiner Weise zweifelhaft sein. Es wird ferner wegen der grofsen Schwierigkeit des Baues und der damit verbundenen kostspieligen Nebenarbeiten überhaupt nicht zweckmäfsig scheinen, eine wenn auch in den Materialien billige, aber nur kurze Dauer versprechende Schleuse zu erbauen. Eine gröfsere Ausbesserung oder eine Erneuerung würde endlich dem Handel unberechenbare Nachteile zufügen können, wenn nicht etwa eine zweite Schleuse während jener Zeit zu benutzen wäre. Es mufs also im allgemeinen, je gröfser die Bedeutung der Schleuse, auch die Bauweise derselben um so dauerhafter sein.

Kostenvergleichung. Wenn in einzelnen Fällen die vorstehenden allgemeinen Betrachtungen über die Bedeutung der Schleuse und die baulichen Umstände bei ihrer Herstellung nicht ausreichen, um die Wahl des Materials und der Bauweise zu entscheiden, so bedarf es einer Kostenvergleichung. Hierbei sind jedoch zu unterscheiden die reinen Anlagekosten und die für die Unterhaltung und Erneuerung aufzuwendenden Kosten. Die ersteren ergeben sich nach Aufstellung der miteinander in Vergleich zu ziehenden Projekte, welche dabei nur im grofsen zu bearbeiten sind, jedoch alle wichtigen Nebenarbeiten, wie Abdämmung, Wasserschöpfen mit zu umfassen haben. Sehr oft genügt allein ein solcher Vergleich der ersten Anlagekosten, namentlich dann, wenn die verfügbaren Geldmittel sehr beschränkt sind und eine billige, übrigens zulässige Konstruktion einer teueren gegenübersteht. In einigen Fällen dagegen wird es jedoch notwendig sein, auch die nach der Erbauung aufzuwendenden Reparatur- und Erneuerungskosten miteinander zu vergleichen.

Die gesamte aus der ersten Anlage und der Verpflichtung zur Unterhaltung und Erneuerung sich ergebende Baulast X für ein bereits bestehendes Bauwerk ist in Geld ausgedrückt:

$$X = \frac{\beta}{z} K + \frac{\left(1 + \frac{z}{100}\right)^m K}{\left(1 + \frac{z}{100}\right)^n \left[\left(1 + \frac{z}{100}\right)^m - 1\right]},$$

worin K das Neubaukapital, z den Zinsfufs in Prozenten, z. B. 3, 4 oder 5 u. s. w., β den Prozentsatz der durchschnittlichen jährlichen Unterhaltungskosten von K, also $\frac{\beta}{100} K$ die jährliche Unterhaltung ausdrückt, während m und n die Zahl von Jahren bezeichnen, welche das Bauwerk von seinem Neubau bezw. vom gegenwärtigen Zeitpunkte stehen kann. Für ein neues oder zu bauendes, aber fertig gedachtes Bauwerk ist also $n = 0$ zu setzen und man kann alsdann die Gleichung schreiben:

$$X = \frac{\beta}{z} K + \frac{\left(1 + \frac{z}{100}\right)^m K}{\left(1 + \frac{z}{100}\right)^m - 1} = \frac{\beta}{z} K + K + \frac{K}{\left(1 + \frac{z}{100}\right)^m - 1},$$

in welcher letzteren Form auf der rechten Seite das erste Glied die kapitalisierte Unterhaltungslast, das zweite Glied das einfache Neubaukapital, das dritte endlich das Kapital bedeutet, welches m Jahre verzinst wieder aufs neue das nötige Neubaukapital nebst dem zur Bildung desselben nach m Jahren immer wieder erforderlichen Überschusse ergiebt. Es kommt nun darauf an, für eine Schleuse von der gegebenen Lage und Benutzung die Werte von β und m nach Erfahrung aus anderen ähnlichen Fällen zu bestimmen. Bei dem Werte β wird es sich um eine ordnungsmäfsige Instandhaltung handeln, wobei also übertriebener Luxus ebenso ausgeschlossen ist als eine nachlässige Unterhaltung. Letztere würde nicht allein für den Durchschnitt der ganzen Neubauperiode m, durch das sich am Ende notwendig steigernde Unterhaltungsbedürfnis, den Wert β mindestens ebenso hoch halten als eine ordnungsmäfsig und immer rechtzeitig eintretende Unterhaltung, sondern sie würde auch daneben die Neubauperiode m zum Schaden des Verpflichteten verkürzen. Für den Körper einer massiven Schleuse kann m je nach der Güte des Materials, dem Grade der Benutzung u. s. w. zu 100 bis 200 Jahren, für den einer aus Eichenholz gebauten Schleuse dagegen zu 30 Jahren gerechnet werden. Der Prozentsatz β der jährlichen Reparaturkosten ist für Mauer-

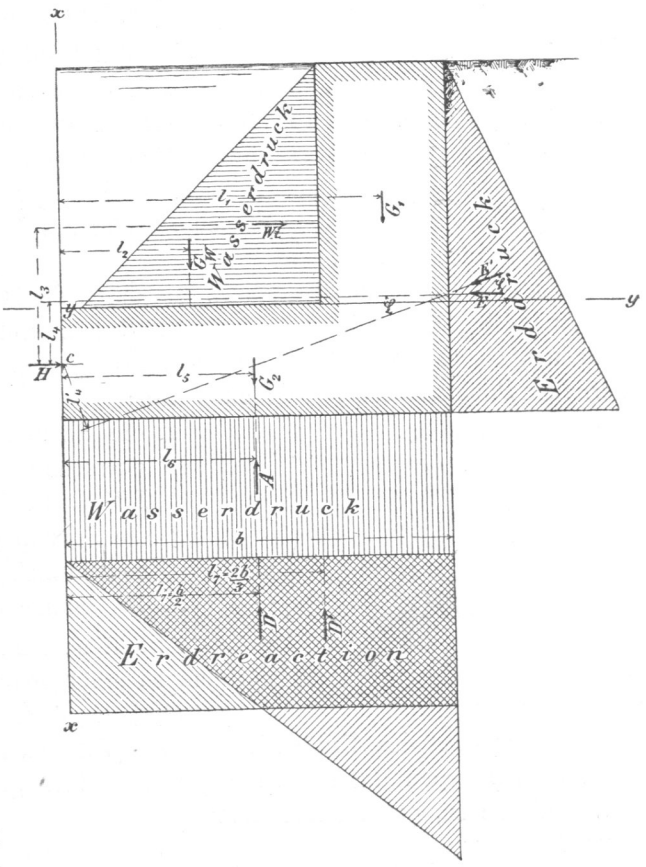
werk je nach der Güte der Baustoffe sehr verschieden. Da die Reparaturen — eine Schleuse ohne gebrochene Sohle vorausgesetzt — sich wesentlich nur auf die Instandhaltung der Ansichtsflächen beschränken, so werden die Kosten auch desto geringer werden, je gröfser das Bauwerk ist. Für vier Trockendocks in Kiel haben die Reparaturen des Mauerwerks z. B. jährlich nur 0,035% des Herstellungswertes für 1 Jahr erfordert. Es ist also ausreichend β für Mauerwerk je nach den Verhältnissen zwischen 0,2 bis 0,75, für Holz 3 bis 4 zu setzen.

Für den Boden der Schleuse wird man in den meisten Fällen eine längere Dauer als für die Seitenwände annehmen dürfen. Von merklichem Einflufs in der Rechnung ist dies jedoch höchstens bei reinen Holzschleusen, da die $m$te Potenz für Steinkonstruktion ohnehin so grofs ist, dafs das dritte Glied der letzten Gleichung immer sehr klein ausfällt. Die Rechnung wird übrigens um so genauer, je mehr man die ungleichartigen Teile voneinander getrennt behandelt.

Für die Thore wird, je nachdem sie aus Holz oder Eisen bestehen, m zu 15 bis 20 bezw. 40 bis 50 und β zu 2 bezw. 1 bis $1^1/_4$ zu setzen sein. Die Unterhaltung eiserner Thore, die dem Seewasser ausgesetzt sind, wird mehr kosten, als solcher, welche sich im Süfswasser befinden. Ferner wird die Unterhaltung desto kostspieliger werden, je älter die Thore werden. Bei verhältnismäfsig neuen Schwimmdocks in Kiel und Danzig (ersteres älter und mehr gebraucht) sind bis jetzt jährlich für die Unterhaltung 4,23 bezw. 3 M. für jede Tonne Eisen oder im Mittel etwa 1% des Neuwertes verausgabt.

§ 6. Theorie der Schleusenkörper. Die nachstehenden Betrachtungen sollen sich vorwiegend auf diejenigen theoretischen Ableitungen beschränken, welche eine besondere Eigentümlichkeit des Schleusenbaues bilden. Es sollen dabei gleichzeitig die nahe verwandten Trockendocks mit behandelt werden, weil die Beanspruchung von Boden und Wänden dieser Bauwerke gleichsam die Grenzfälle der Schleusenbeanspruchung liefert.

Fig. 14.



Zunächst werde ein massiver Schleusen- oder Dockquerschnitt von einfacher Kastenform betrachtet, wie ihn Fig. 14 zur einen Hälfte zeigt.

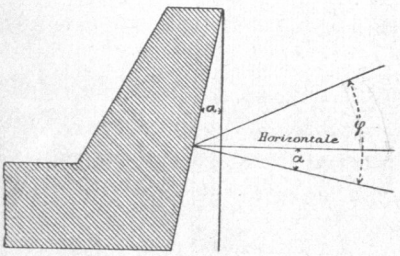
Die Seitenwand oberhalb der Linie $y\,y$ wird ähnlich beansprucht, wie eine Stützwand. Von aufsen wirkt gegen dieselbe der Erddruck, bezw. bei gröberem, lehmfreien Hinterfüllungsboden, Wasserdruck und Erddruck; von innen ein verschieden hoher Wasserdruck, der bei Docks sehr oft ganz fehlt und auch bei Schleusen zeitweise fehlen kann, wenn nämlich zum Zwecke von Ausbesserungen in der Sohle die Schleuse trocken gelegt werden mufs.

Die Berechnung der Wand allein bis zur Linie $y\,y$ bietet daher nichts neues und kann nach der in dem ersten Bande dieses Handbuches (2. Aufl.) im Kap. V behandelten Weise ausgeführt werden, wobei indessen folgende Eigentümlichkeit der Schleusenwände zu beachten ist. Wie Häseler in genanntem

Kapitel zeigt, kann bei gewöhnlichen Stützmauern angenommen werden, dafs die Richtung des Erddrucks mit der Senkrechten zur gedrückten Wandfläche den natürlichen Böschungswinkel (oder genauer, den Reibungswinkel für Boden an Mauerwerk) einschliefst, weil, wenn anfänglich der Erddruck gegen die Wandfläche auch senkrecht gerichtet sein sollte, wie dies nach den Versuchen von Donath[13]) wahrscheinlicher ist, die Mauer infolge des Erddrucks sehr bald eine kleine Kippbewegung machen würde, welche zur Folge hätte, dafs nach derselben die Richtung des Erddrucks um den Reibungswinkel gegen die Senkrechte zur Fläche geneigt sein müfste. Bei Schleusenwänden ist dies keineswegs immer der Fall. Der Erddruck wird allerdings wie bei einer gewöhnlichen Stützmauer unter dem Reibungswinkel geneigt wirken, wenn man zuvor die Sohle fertigstellt, darauf die Seitenwände ganz aufführt und zum Schlufs dieselben mit Boden hinterfüllt, denn bei dieser Bauweise würde die letzte Bewegung der Seitenwand sicher ein Nachinnenneigen infolge des zuletzt zur Wirkung kommenden Erddrucks sein. Diese Bauweise ist aber für die Sohle selbst, wie wir weiter unten sehen werden, sehr gefährlich, weil sie bei weichem Untergrunde in der Längenaxe der Schleuse einen Bruch erzeugen würde. Hinterfüllt man aber die auf den Sohlenenden allmählich aufwachsenden Seitenwände fortschreitend mit Boden, so ist es zweifelhaft, wie der Erddruck gerichtet sein wird, wenn das Bauwerk beendet ist. Die Seitenwand macht nämlich in diesem Falle einmal eine Bewegung nach aufsen infolge der durch die Last der Seitenwand erzeugten Durchbiegung der Sohle, aufserdem aber wie vorher die Bewegung nach innen, infolge des Erddruckes gegen die Wand, sodafs es unbestimmt bleibt, wie sich diese beiden Bewegungen schliefslich zusammensetzen. Man wird daher gut thun, bei der Bestimmung der Form und Stärke der Seitenwände die Bauweise derselben zu berücksichtigen und nötigenfalls den Erddruck horizontal gerichtet anzunehmen. Bei dieser (ungünstigsten) Berechnungsweise würde allerdings die zulässige Kantenpressung des Mauerwerks entsprechend hoch angenommen werden können.

Betrachtet man nun den Schnitt $x\,x$ durch die Mitte der Sohle (Fig. 14), so werden zur rechnerischen Ermittelung der in demselben auftretenden Spannungen die bekannten allgemeinen Gleichgewichtsbedingungen eines Systems von unveränderlich verbundenen materiellen Punkten dienen. Es mufs also:

Fig. 15.



1. die Summe der auf den halben Schleusenquerschnitt wirkenden senkrechten Kräfte $\Sigma V = 0$ sein;
2. die Summe der wagerechten Kräfte $\Sigma H = 0$ und endlich
3. die Summe der Momente $\Sigma M = 0$ sein.

Stellt man nach Fig. 14 die drei Gleichungen auf, so erhält man:

$$G_1 + G_w + G_2 + E' \,.\, sin\varphi - A - D = 0, \ldots 1.$$

wenn man zunächst den Erddruck mit dem Wasserdruck vereint in der Lage E' unter dem Winkel φ gegen die Horizontale, welche hier gleichzeitig die Senkrechte gegen die Wandfläche ist, geneigt annimmt.[14])

[13]) Zeitschr. f. Bauw. 1891.

[14]) Wenn die Wandfläche nicht senkrecht ist, sondern um den Winkel α von der Senkrechten abweicht und φ wieder der Reibungswinkel zwischen Mauerfläche und Hinterfüllungserde ist (Fig. 15), so lautet das vierte Glied der Gl. 1: $E' \,.\, sin\,(\varphi - \alpha)$.

$$E' \cdot \cos\varphi - H - W_i = 0 \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 2.$$

$$G_1 \cdot l_1 + G_w \cdot l_2 + W_i \cdot l_3 + G_2 \cdot l_5 + E' \cdot l_4 - A \cdot l_6 - D \cdot l_7 - M_x = 0 \quad \ldots \quad 3.$$

In diesen Gleichungen bedeuten G_1 und G_2 die Gewichte von Wand und Sohle, G_w Gewicht der Wasserfüllung, W_i den Horizontalschub dieses Wassers gegen die Wand, A den Auftrieb gegen die Sohle, D die Erdreaktion gegen dieselbe, l mit verschiedenem Index die aus der Figur ersichtlichen Hebelarme, H den in der Sohle auftretenden Schub, M_x endlich das daselbst vorhandene Biegungsmoment.

Diese drei Gleichungen zeigen zunächst folgendes:

Das Glied $E' \cdot l_4$ in Gl. 3 vergröfsert den Wert von M_x. In der Darstellung der Fig. 14 ist dasselbe positiv. Es wird $= 0$, wenn die Richtung von E' durch die Mitte c des Sohlenschnittes geht, da alsdann $l_4 = 0$ ist. Wird φ noch kleiner, so wird $E' \cdot l_4$ negativ und $E' \cdot l_4$ erreicht den für M_x günstigsten gröfsten negativen Wert, wenn φ gleich Null wird.

Es ist also vorteilhaft für die Sohle, φ möglichst klein zu nehmen und zwar ist, da die Gröfse des Hebelarmes l_4 aufserdem der Breite des Schleusenquerschnittes proportional ist, ein kleines φ für die Sohle um so wirksamer, je breiter eine Schleuse oder ein Dock ist.

Ein kleiner Winkel φ setzt allerdings eine hohe Kantenpressung für die Seitenwände voraus; da man diese aber durch Vorlage im Innern und (bei Docks wenigstens unbedingt) durch Unterschneidung der Rückwand herabmindern kann, während die Sicherung der Sohle gegen Aufbrechen schwieriger ist, so bleibt es für den ganzen Querschnitt vorteilhaft, φ möglichst klein zu nehmen. Es ist daher für die Standsicherheit vorteilhaft, die Aufsenflächen der Seitenwände recht glatt zu machen, um möglichst geringe Reibung zu erzielen. Es ist ferner nützlich, zur Hinterfüllung möglichst reinen Sand zu verwenden, in welchem der volle Wasserdruck zur Geltung kommt, eine Forderung, die bei Schleusen allerdings im vollen Umfange nicht durchführbar ist. Bei solcher Hinterfüllung hat man als äufseren Druck gegen die Seitenwand den stets senkrecht zur Wandfläche gerichteten vollen Wasserdruck und aufserdem den Erddruck, je nach der Herstellungsweise senkrecht oder unter einem kleinen Winkel gegen die Senkrechte zur Wand geneigt. Das Gewicht γ des Bodens, soweit dieser sich im Grundwasser befindet, hat man aber in diesem Falle wegen des Gewichtsverlustes durch Eintauchen im Wasser nur mit rund 1 Tonne für das Kubikmeter in die Rechnung einzufügen. In dieser Weise ist bei den weiter unten folgenden zeichnerischen Untersuchungen stets verfahren.

Wenn man nun über E und φ Annahmen gemacht hat, so ist man doch noch nicht im stande, jene drei Gleichungen zur Ermittelung der Sohlenspannung im Schnitte $x\,x$ zu benutzen, weil zur Bestimmung der vier Unbekannten A, D, M_x und l_7 nur die beiden Gleichungen 1 und 3 vorhanden sind. Man mufs daher noch über die Gröfse des Auftriebs A gegen die Sohle eine Annahme machen.

Die Gröfse von A hängt von der Bodenart ab, welche den Baugrund bildet. In reinem grobem Sande oder Kies mufs mit dem vollen Wasserdrucke gerechnet werden, während der Auftrieb um so geringer wird, je feiner das Korn des Baugrundes wird und je mehr lehmige oder thonige Bestandteile derselbe enthält.[15]) Es wird daher überall, wo die Sohle eines Docks oder einer Schleuse in ebenso innige Berührung mit einem

[15]) Zu vergleichen: Über die Gröfse des Wasserdrucks im Boden, von L. Brennecke. Zeitschr. f. Bauwesen 1886, S. 101.

lehmigen oder thonigen Baugrunde gebracht ist, als die einzelnen Teile des natürlich gelagerten Bodens unter sich haben, nicht der volle Auftrieb zur Geltung kommen können, sondern nur ein — unter günstigen Umständen ganz geringer — Teil desselben.

Aber einesteils ist es schwer, die Gröfse dieses Teils festzustellen, andernteils kann selbst bei undurchlässigem Boden infolge schlechter Ausführung die Berührung zwischen der Sohle des Bauwerks und dem Baugrunde eine so mangelhafte werden, dafs an einzelnen Teilen, oder selbst bei der ganzen Sohle, der volle Auftrieb zur Geltung kommt. Es empfiehlt sich daher zwar, für einen möglichst dichten Anschlufs der Sohle an den Baugrund durch Verwendung von reichlichem Mörtel in den unteren Schichten Sorge zu tragen, trotzdem aber einen verhältnismäfsig hohen Auftrieb anzunehmen. Bei einigermafsen durchlässigem Sandboden wird es immer geraten sein, auch den vollen Auftrieb in Rechnung zu ziehen.

Hat man nach diesen Gesichtspunkten die Gröfse von A festgesetzt, so bleibt noch der Wert von l_7, des Hebelarms des Erddrucks D anzunehmen. Über die Gröfse desselben kann nur gesagt werden, dafs wahrscheinlich $\frac{b}{3} < l_7 < \frac{b}{2}$ ist. So lange die Sohle des Bauwerks sich noch nicht durchgebogen hat, ist die Festigkeit des Baugrundes (Gleichartigkeit desselben vorausgesetzt) unter der ganzen Breite gleich grofs und l_7 mufs $= l_6 = \frac{b}{2}$ sein. Biegen sich aber die Enden der Sohle unter dem Gewichte der Seitenwände bei weichem Baugrunde nach unten, so wird die Verteilung ungleichmäfsig und l_7 nähert sich mehr dem Werte $\frac{b}{3}$.[16])

Wenn man nun mit diesen Annahmen für A und l_7 in die Diskussion der drei Gleichungen eintritt, so ergiebt sich zunächst aus Gl. 3)

$$D = G_1 + G_2 + G_w + E' . \sin\varphi - A \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 4.$$

Der Wert G_w (Gewicht der Wasserfüllung) ist veränderlich und wird $= 0$, wenn das Dock oder die Schleuse leer sind; desgleichen ändert sich der Wert von A mit der Höhe des Grundwasserstandes. Daraus folgt, dafs auch der Wert von D veränderlich ist und dafs die Erdreaktion am kleinsten wird, wenn $G_w = 0$ und $A =$ Maximum; dagegen am gröfsten, für $G_w =$ Maximum und $A =$ Minimum. Der letztere Fall würde bei Schleusen vorhanden sein, wenn das Grundwasser um die Schleuse herum und unter dem Boden unter dem Druck des Unterwasserspiegels stände, was man bei Hinterfüllung der Seitenwände mit Sand oder Kies stets annehmen mufs, während die Kammer selbst mit dem Oberwasser in Verbindung stände. Bei Docks dagegen wird insofern eine Beschränkung eintreten, als man den Grundwasserstand bei gleicher Hinterfüllung stets ebenso hoch als den freien annehmen kann. Der gröfste Wert von D wird also hier eintreten, wenn das Dock bei höchstem Wasserstande (aufsen und innen) voll Wasser ist.

Wie die späteren graphischen Untersuchungen zeigen, ist es für die Stabilität des Bauwerkes von gröfster Wichtigkeit, dafs der kleinste Wert von D, also:

$$D_{min} = G_1 + G_2 + E' . \sin\varphi_{min} - A_{max} > 0 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 5.$$

genommen werde.

Um ein möglichst grofses Gewicht des Bauwerkes ohne zu bedeutende Kosten zu erzielen, kann man alle Teile, welche weniger stark beansprucht werden, aus billigerem Material (Sparbeton) herstellen, und wird dabei selbstverständlich bei gleichen Preisen dem schwereren Stoffe vor dem leichteren stets den Vorzug geben, vergl. § 8 und 10.

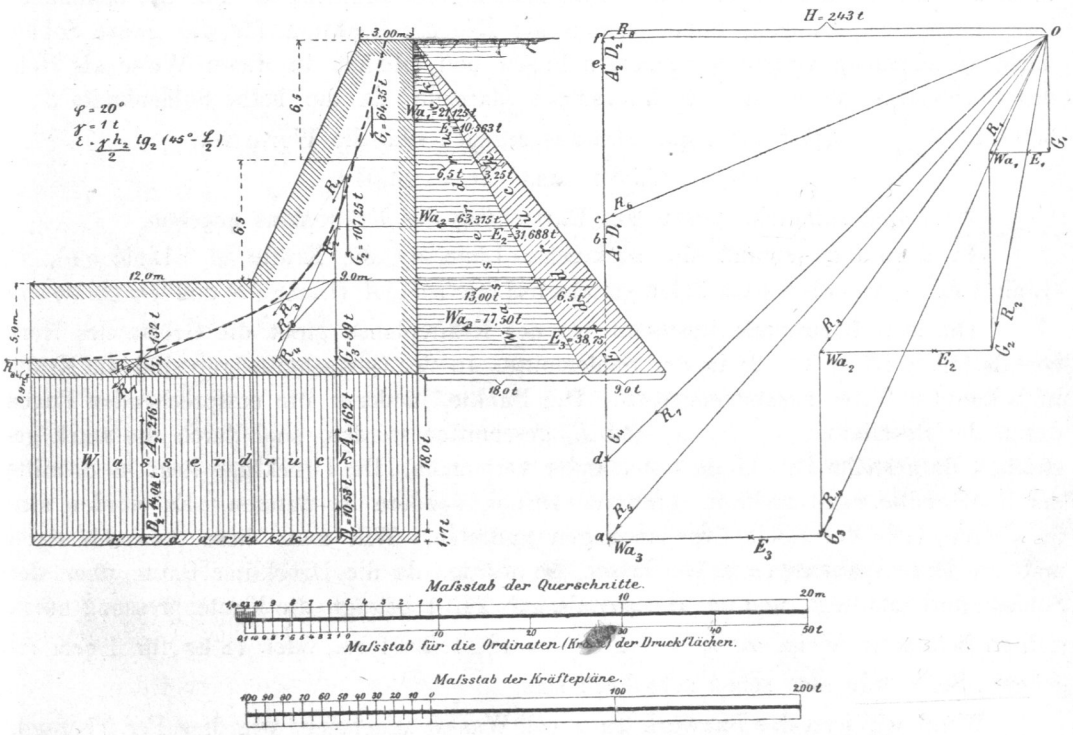
---

[16]) Weitere Auseinandersetzungen hierüber findet man in der Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 523: Über Berechnung und Bauweise gemauerter Schleusen und Trockendocks, von L. Brennecke.

Man könnte nun aus den Gleichungen 1 bis 3 für die verschiedenen mafsgebenden Werte von G_w, A und $l_7 = \frac{b}{2}$ als dem ungünstigsten Falle, rechnerisch die Werte von M_x und H finden und aus beiden die Beanspruchung der Sohle in der Mitte berechnen. Sind die ermittelten Spannungen zu grofs, so müfste man durch Änderung der Gewichte G_1 und G_2 und ihrer Hebelarme l_1 und l_5, sowie durch Änderung der Form der Wände und Sohle, welche wieder eine Änderung der Gröfse und Richtung der Kräfte W, E, A und D bedingen, die Werte von M_x und H so lange zu vermindern suchen, bis die daraus sich ergebenden Spannungen in der Sohlenmitte in den gewünschten Grenzen bleiben. Dies Verfahren macht eine grofse Reihe von Versuchsrechnungen erforderlich und ist auch deswegen nicht empfehlenswert, weil es einen klaren Einblick in die statischen Verhältnisse des Querschnittes nicht bietet.

Einen solchen gewinnt man weit besser bei der graphischen Untersuchung, deshalb soll im Nachstehenden die Drucklinie für verschiedene Querschnitte und unter verschiedenen Annahmen für A und G_w ermittelt werden. Des leichteren Verständnisses halber werden die möglichst einfach gestalteten, beliebig gewählten Querschnitte nur in wenige grofse Lamellen zerlegt. Um die Darstellung ferner zu vereinfachen, ist angenommen, dafs das Hochwasser sowohl im Innern des Bauwerks, als auch in der durchlässigen Hinterfüllung der Seitenwände bis zur Oberkante der letzteren steige, das niedrigste Wasser dagegen 6,5 m niedriger sei.

Fig. 16.



Dieser Mafsstab gilt auch für die Figuren 14, 17, 21, 22, 24, 29 bis 34.

Die Sohle sei zuerst ganz fertiggestellt, die Seitenwände seien alsdann darauf gesetzt und fortschreitend hinterfüllt. Infolge dieser Bauweise ist zunächst die Richtung des Erddrucks gegen die Seitenwände horizontal angenommen (Fig. 16). Der Baugrund

sei durchlässig, sodafs auch hier mit dem vollen Auftriebe gerechnet werden mufs. Der Wasserdruck beträgt also für 1 qm bei höchstem Grundwasserstande, wie ihn Fig. 16 zeigt, gegen die Sohle und die Seitenwände unmittelbar an der Sohle 18 t. Diese Gröfse hat also die Grundlinie des Dreiecks, welches den Wasserdruck gegen die Seitenwand, sowie die Höhe des Rechtecks, welches den Auftrieb A gegen die Sohle darstellt, zu erhalten. Die Gröfse des Erddrucks ist im ganzen $E = \frac{\gamma h^2}{2} tang^2 \left(45^0 - \frac{\varphi}{2}\right)$ gesetzt, worin γ (mit Rücksicht auf den Gewichtsverlust durch Eintauchen in Wasser) $= 1 \frac{t}{cbm}$, $h = 18$ m, $\varphi = 20°$ genommen sind. Die einzelnen Teile von E, nämlich E_1, E_2 und E_3 ergeben sich in bekannter Weise. Das Gewicht von 1 cbm frischen, wassergesättigten Mauerwerks sei $= 2{,}2$ t. Die Figur 16 zeigt zunächst die Drucklinie für das im Innern ganz wasserfreie Bauwerk, während aufsen der höchste Wasserstand herrscht. Diese Annahmen ($G_w = 0$ und $A =$ Maximum) liefern also aus Gl. 5 den kleinsten Wert der gesamten Erdreaktion D, nämlich:

$$D = D_1 + D_2 = G_1 + G_2 + G_3 + G_4 + E \,.\, sin\, \varphi_{min} - A_{max},$$

oder, da $sin\, \varphi = 0$, für 1 m Tiefe des Querschnittes:

$$D_1 + D_2 = 64{,}35 + 107{,}25 + 99 + 132 + 0 - 18 \,.\, 21 = 24{,}6 \text{ t}.$$

Wenn der Baugrund gleichmäfsig fest ist, so wird auch die Erdreaktion gleichmäfsig verteilt sein. Ein ungleichmäfsige Verteilung derselben kann erst eintreten, wenn der Boden infolge der durch das Gewicht der Seitenwände veranlafsten Biegung der Sohle unter den Wänden stärker verdichtet wird als unter der Sohlenmitte. Für die spannungslose, noch nicht gebogene Sohle werden wir also die Reaktion für die ganze Sohlenfläche gleichmäfsig verteilt anzunehmen haben und erhalten in dieser Weise als Höhe des Rechtecks, welches den Reaktionsdruck darstellt, da die halbe Sohlenbreite 21 m beträgt, $\frac{24{,}6 \text{ t}}{21 \text{ qm}} = 1{,}17$ t für 1 qm. Daraus ergeben sich die Werte von

$$D_1 = 10{,}53 \text{ t} \quad \text{und} \quad D_2 = 14{,}04 \text{ t}.$$

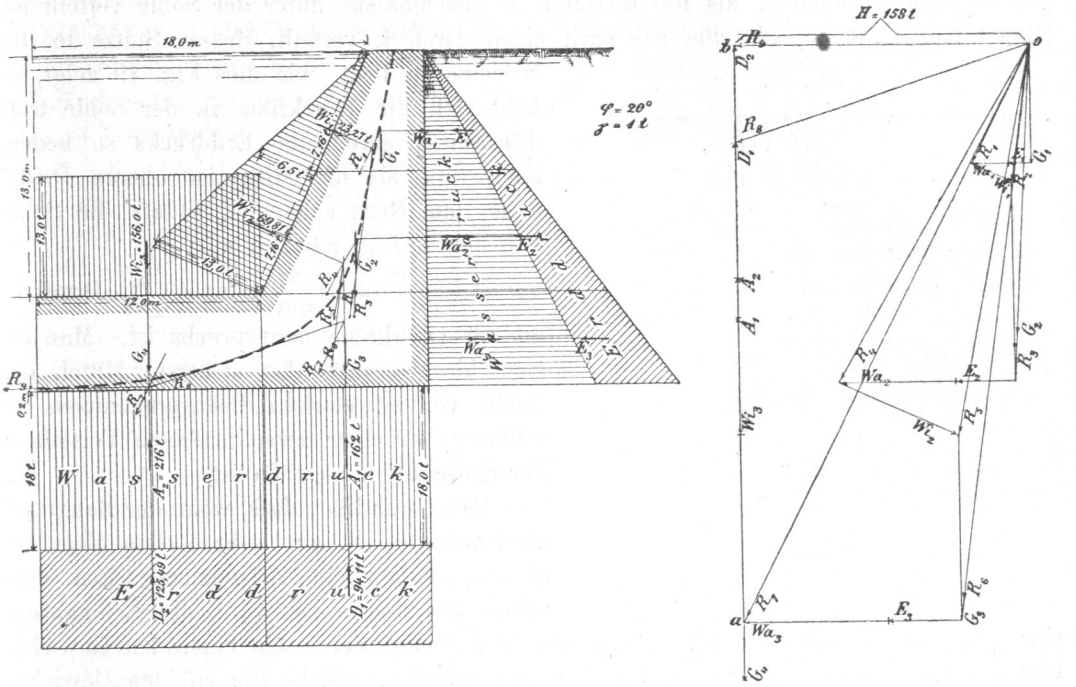
Jetzt sind sämtliche Kräfte zur Darstellung des Kräfteplans gegeben.

In demselben enthält die senkrechte Linie af die Kräfte A_1 (Linie ab), D_1 (Linie bc), G_4 von oben nach unten gerichtet (Linie cd), A_2 (Linie de) und D_2 (Linie ef).

Die stets horizontale Resultante R_8 des Kräfteplanes giebt die Gröfse des Horizontalschubes (H in Gl. 2) in der Sohlenmitte. In der Querschnittsfigur sind die Kräfte in bekannter Weise zusammengesetzt. Die Punkte, in denen die entsprechenden Fugen durch die Resultanten R_1, R_3, R_6 und R_8 geschnitten werden, sind durch die stark gestrichelt dargestellte Drucklinie miteinander verbunden. Die Drucklinie liegt im Schnitte der Sohlenmitte nicht mehr im mittleren Drittel, sondern im unteren. Es würden also im oberen Teile der Sohle Zugspannungen auftreten. Will man diese vernachlässigen und nur Druckspannungen gelten lassen, so würde, da die Drucklinie 0,9 m über der Sohlenunterkante liegt, und der Horizontalschub 243 t beträgt, die Kantenpressung unten sich in bekannter Weise zu $k = \frac{2}{3} \cdot \frac{243}{0{,}9} = 180$ t für 1 qm, oder 18 kg für 1 qcm ergeben. Sie würde also schon sehr hoch sein.

Wenn wir jetzt das Bauwerk ganz voll Wasser annehmen, wie dies Fig. 17 zeigt, so ändert sich die Erdreaktion D_1 und D_2. Das in Gl. 4 mit G_w bezeichnete Gewicht des Wassers in der Schleuse ist $= \frac{17 + 12}{2} \,.\, 13 = 195$ t und es wird $D_1 + D_2$ um ebensoviel gröfser, also gleich $195 + 24{,}6 = 219{,}6$ t und zwar $D_1 = 94{,}11$ t und $D_2 = 125{,}49$ t.

Fig. 17.



Anstatt D aus Gl. 3 oder 4 zu berechnen, kann man hierfür auch den Kräfteplan benutzen. Man zerlegt die Resultante der auf die Seitenwand wirkenden Kräfte R_7 in Fig. 17 in ihre Vertikal- und Horizontal-Komponente. Zu ersterer $a\,b$, welche man abgreift, zählt man G_4 und W_3^i (den Druck des Wassers auf den mittleren Teil der Sohle) und zieht den gesamten Auftrieb $A = A_1 + A_2$ ab.

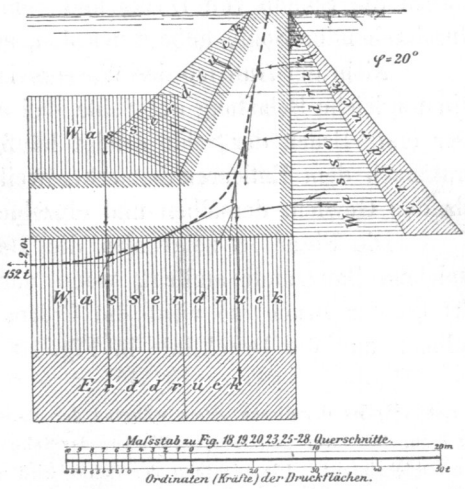
Man hat dann wieder sämtliche Kräfte, um den Kräfteplan fertig zu zeichnen, die Kräfte auch in der Sohle zusammenzusetzen und die Drucklinie einzuzeichnen. Dieselbe liegt in diesem Falle in der Mitte nur noch 0,2 m über der Unterkante der Sohle, sodafs — wenn man Zugspannungen aufser Betracht läfst — trotz des jetzt erheblich kleineren Horizontalschubes von rund 158 t die Kantenpressung betrüge:

$$k = \frac{2 \cdot 158}{3 \cdot 0{,}2} = 527 \ \frac{\text{t}}{\text{qm}} \text{ oder } 52{,}7 \ \frac{\text{kg}}{\text{qcm}}.$$

Dieselbe wäre also bereits viel zu grofs.

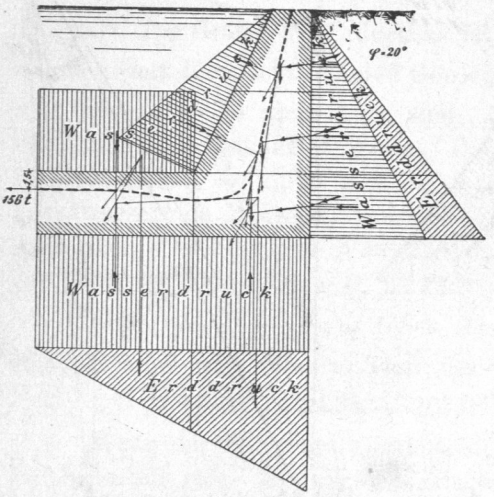
Bisher (Fig. 16 und 17) ist der Bodendruck als senkrecht gegen die Seitenwand gerichtet angenommen worden ($\varphi = 0$). Nimmt man denselben unter 20° geneigt an, so erhält man die in Fig. 18 dargestellte Drucklinie, welche in der Sohlenmitte etwa 2 m unterhalb derselben liegt. Es werden also in diesem Falle unbedingt bedeutende Zugspannungen in der Sohle auftreten müssen, welche dieselbe zum Aufbrechen bringen würden.

Fig. 18.



Diese Zugspannungen und die damit verbundene Gefahr für die Sohle sind aber nur so lange vorhanden, als die Reaktion D gleichmäfsig unter der Sohle verteilt ist. Nimmt man z. B. an, dieselbe sei nach einem Dreieck verteilt, dessen Spitze in der Sohlenmitte liegt, wie dies Fig. 19 zeigt, so hebt sich die Drucklinie in der Sohle trotz des schräg gerichteten Erddrucks so bedeutend, dafs sie die Mitte im oberen Drittel nahe dem Kern schneidet, sodafs die Sohle nun nur mäfsig, nämlich mit:

Fig. 19.



$$k = \frac{2 \cdot 158}{3 \cdot 1{,}5} = 70 \frac{\text{t}}{\text{qm}} \text{ oder } 7 \frac{\text{kg}}{\text{qcm}} \text{ Druck}$$

an der Oberkante beansprucht ist. Man ersieht hieraus, dafs das sicherste Mittel, die Sohle vor zu starken Beanspruchungen zu schützen, in einer zweckmäfsigen Verteilung der Erdreaktion gegeben ist.

Es ist nun klar, dafs, wenn der Baugrund starr wäre, z. B. aus sehr festem Fels bestände, sodafs ein Zusammendrücken desselben ausgeschlossen wäre, die Erdreaktion sich genau im Verhältnis der über den einzelnen Stellen der Sohle lagernden Gewichte verteilen würde und dafs dann unter den Seitenwänden, welche die gröfsten Gewichte darstellen, auch die stärksten Drücke vorhanden sein würden. Die Drucklinie mufs bei solchem Untergrunde also günstig verlaufen, kann nicht unter die Sohle hinaustreten, d. h. es kann eine Biegungsspannung, welche im oberen Teile der Sohlenmitte Zugspannungen erzeugte, nicht auftreten, weil die Enden der Sohle durch die schweren Seitenwände, des unnachgiebigen Baugrundes wegen, nicht nach unten gebogen werden können. Je nachgiebiger aber ein Baugrund ist, je mehr er die Eigenschaften einer Flüssigkeit besitzt, desto stärker wird die Biegung der Sohle in der Mitte werden müssen, und die Biegung wird zunehmen, bis der Boden unter den Seitenwänden soviel mehr verdichtet ist, als unter der Mitte, dafs eine genügend ungleiche Verteilung der Erdreaktion erreicht und die Drucklinie in den Querschnitt gehoben ist. Dies ist der Grund, weswegen die Sohlen von Docks und Schleusen, welche auf nachgiebigem Baugrunde mit durchgehender Sohle gebaut wurden, so häufig gebrochen sind.

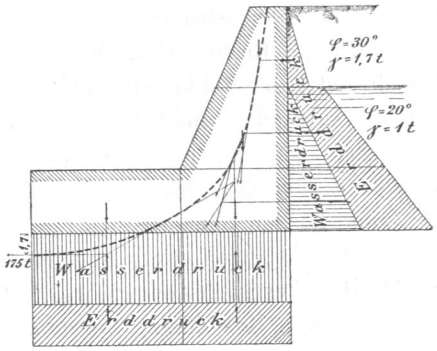
Nicht der Auftrieb des Wassers ist die erste Veranlassung zur Zerstörung, sondern die ungleiche Belastung der Sohle, bei nahezu gleichmäfsiger Verteilung der Erdreaktion. Der erste Bruch der Sohle erfolgt häufig, wenn das Bauwerk voll Wasser ist, wird aber erst nach dem Entleeren bemerkt, weil dann der Auftrieb gegen die Sohle stärker ist, als das Gewicht derselben und einzelne Teile heben kann.[17])

Die Figur 18 zeigt also die Beanspruchung einer Docksohle, welche auf sehr weichem Baugrunde aufliegt, wenn das Dock voll Wasser ist, vor erfolgtem Bruche. Erfolgt der Bruch, so wird die Erdreaktion etwa die Dreiecksgestalt in Fig. 19 einnehmen und die Drucklinie in Fig. 19 würde also die Beanspruchung der Sohle nach

[17]) Ist der Bruch schon während der Bauausführung erfolgt und wieder dicht gemacht, so steht zu befürchten, dafs nach Einlassen des Wassers der Sohlenrifs sich erweitert, weil dann die ungünstigste Beanspruchung der Sohle eintritt. Die Dichtung der Sohle wird daher am zweckmäfsigsten nach Füllung der Schleuse unter Wasser mit Hilfe von Prefsluft ausgeführt.

unter Wasser erfolgter Ausbesserung des Risses darstellen. Man findet ferner durch die graphische Untersuchung bestätigt, dafs die Sohle eines Docks oder einer Schleuse bei der Annahme des vollen Auftriebs ungünstiger beansprucht ist, wenn das Bauwerk voll Wasser ist, wie dies auch schon aus den drei Gleichungen 1 bis 3, wenn auch nicht so anschaulich, hervorgeht. Fig. 20 im Verein mit Fig. 16 führt nun noch den ebenfalls bereits gelegentlich der Gleichungen besprochenen Nutzen eines hohen Druckes gegen die Seitenwände vor Augen. Fig. 20 zeigt nämlich die Drucklinie für das leere Bauwerk, wenn in der Hinterfüllungserde der niedrigste Grundwasserstand und damit verbunden gegen die Sohle der geringste Auftrieb vorhanden, die Erdreaktion aber gleichmäfsig verteilt ist. Wie bei Fig. 16 ist der Erddruck horizontal (d. i. senkrecht gegen die Wand) gerichtet angenommen. Da infolge dessen der Erddruck keine senkrechte Seitenkraft liefert, so ist in beiden Figuren die Summe des Auftriebs und der Erdreaktion, also die Gesamtwirkung von unten, dieselbe. Der geringe Erddruck gegen die Seitenwand in Fig. 20 veranlafst aber, dafs die Drucklinie in der Sohlenmitte 1,7 m unter der Unterkante der Sohle liegt, während sie in Fig. 16 0,9 m über der Unterkante lag. Eine ungleichmäfsige Verteilung der Erdreaktion wird auch hier die Drucklinie sofort wieder in die Sohle hineinheben, wovon man sich leicht überzeugen kann. Auf die ungleiche Verteilung kommt also, wie auch hieraus hervorgeht, Alles an.

Fig. 20.



Um diese zu erreichen, giebt es verschiedene Wege. Der erste wäre der, dafs man den Baugrund durchweg ganz und gar unnachgiebig macht, weil dann, wie schon oben bemerkt, der Gegendruck überall genau im Verhältnis zur zeitweilig darüber lagernden Last stehen würde. Diese Unnachgiebigkeit ist aber in der Praxis selten auch nur annähernd zu erreichen. Am nächsten würde dieser Forderung ein Pfahlrost kommen, der durch eine mächtige Schlamm- oder Dargschicht hindurch eine Fels- oder feste Kiesschicht erreichte. Immerhin würden auch hier, wenn die Pfähle lang wären, unter der gröfseren Last der Seitenwände Zusammendrückungen stattfinden können, welche in der durchgehenden Sohle Biegungsspannungen (Zug an der Oberfläche), wenn auch ungefährliche, erzeugten. Sobald die Pfähle aber ganz in weichem Boden stecken, kann von vollkommener Unnachgiebigkeit nicht mehr die Rede sein. In diesem Falle könnte man nur den Baugrund unter den Seitenwänden künstlich, z. B. durch Pfahlrost befestigen, unter der Sohle dagegen nicht. Dadurch erreicht man offenbar eine ungleichmäfsige Reaktionsverteilung in dem gewünschten Sinne. Denn wenn man einen starren, schweren Körper, als welchen man ein massives Dock oder eine Schleuse im Vergleich zu dem nachgiebigen Baugrunde betrachten darf, auf eine zwar durchweg nachgiebige, aber in den einzelnen Teilen verschieden feste Unterlage legt, so wird der Körper von den festeren Teilen mehr Gegendruck erhalten, als von den weicheren.

Ferner könnte man bei von Hause aus bereits einigermafsen festem Grunde, z. B. feinem Sande, auch den umgekehrten Weg einschlagen, nämlich den Sand unter dem mittleren Teile der Sohle auflockern. Wenn dies Verfahren auch bei Docks ungefährlich wäre, könnte es bei Schleusen, wo die Unterspülung in der Richtung vom Ober- zum Unterwasser dadurch begünstigt würde, keine Anwendung finden.

Ein in einer von diesen Ausführungsweisen hergestelltes Bauwerk, bei dem stets eine im ganzen hergestellte Sohle und seitlich auf dieselbe gesetzte Wände vorausgesetzt sind, würde bereits erheblich gröfsere Sicherheit gegen ein Aufbrechen der Sohle bieten, wiewohl es nicht möglich wäre, diese statisch nachzuweisen, weil das Verhältnis der Festigkeit des Baugrundes unter den Seitenwänden zu der Festigkeit desjenigen unter der Sohle und damit die Verteilungsart der gesamten Erdreaktion D stets unbekannt bleiben wird.

Einige Rechenschaft hierüber könnte man sich allenfalls dann geben, wenn man sowohl unter der Sohle, als auch unter den Seitenwänden Pfähle rammte, die aber unter den Seitenwänden dichter gestellt würden. Wären auf einer gleich grofsen Grundfläche unter der Sohle m, unter den Seitenwänden aber n Pfähle vorhanden (wobei $n > m$), so würde sich die Tragfähigkeit des Baugrundes und damit die Verteilung der Reaktion für beide Stellen ebenfalls wie m zu n verhalten, wenn man die Tragfähigkeit der einzelnen Pfähle gleich grofs annehmen und die Tragfähigkeit des Baugrundes zwischen den Pfählen vernachlässigen will. Immerhin würde dies, der vielen Annahmen wegen, nur eine rohe Berechnung werden.

Wesentlich genauer kann man nach dem jetzigen Stande der Wissenschaft die Rechnung durchführen, wenn man zuerst die Seitenwände aufführt und die Sohle nachträglich dazwischen setzt. Dadurch erlangt man die ungleichmäfsige Verteilung der Erdreaktion, denn der Baugrund wird unter den Seitenwänden fester zusammengepreſst, als unter dem mittleren Teile der Sohle. Man kann aber auch aus dem Gewichte der Mauermassen unter Zuhilfenahme der Erddruck-Theorie das Verhältnis der verschiedenen Festigkeiten des Baugrundes ermitteln und gewinnt damit den Verteilungsmodus für alle späteren Belastungsfälle, ist also im stande, die Lage der Stützlinien für dieselben festzustellen.[18])

Nachstehende Beispiele mögen zeigen, in welcher Weise bei diesen Untersuchungen vorgegangen werden mufs.

Es möge zunächst ein Dock oder eine Schleuse untersucht werden, welche in trocken gelegter Baugrube gebaut wurde. Man hat dabei zwei Fälle zu unterscheiden. Es wird nämlich die Bodenpressung unter den Seitenwänden eine andere werden, je nachdem man die Hinterfüllung derselben mit Boden nach oder vor erfolgter Einsetzung der Sohle zwischen die vorher fertiggestellten Wände vornahm.

Fig. 21 zeigt die Druckflächen des Bodendrucks für den ersten, Fig. 22, S. 88 für den zweiten Fall. Beidemale ist die Fuge zwischen Seitenwand und Sohle der Einfachheit halber senkrecht angenommen, während sie in der Ausführung so geneigt zu gestalten wäre, dafs die Sohle als umgekehrtes Gewölbe — sei es nun ein wirkliches oder nur ein scheitrechtes — zwischen beiden Wänden eingefügt würde.

Wird die Sohle eingefügt, bevor die Seitenwand hinterfüllt ist (Fig. 21), so drückt die Mittelkraft R aus den Gewichten der alleinstehenden Seitenwand senkrecht auf den Baugrund und ruft, da sie nicht durch die Sohlenmitte geht, einen Gegendruck des Bodens hervor, der in bekannter Weise durch das Paralleltrapez $cefg$ dargestellt wird.[19])

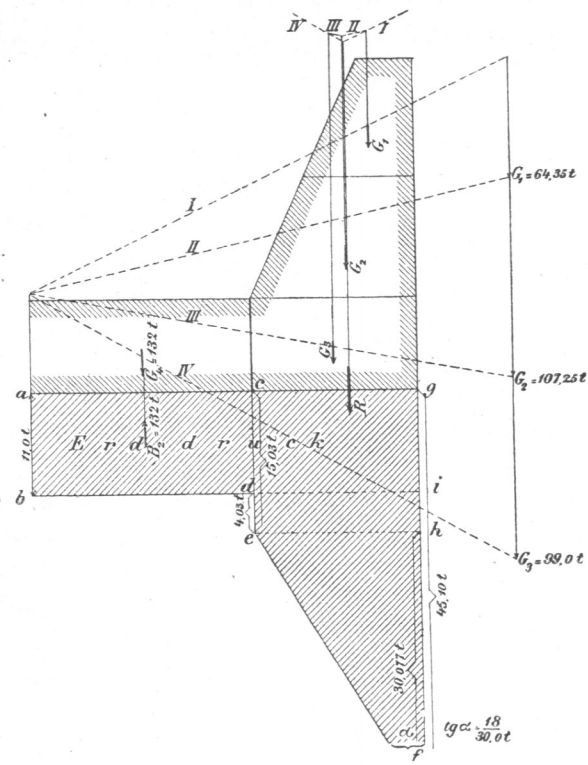
---

[18]) Über Berechnung und zweckmäfsige Bauweise gemauerter Schleusen und Trockendocks, von L. Brennecke. Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 523.

[19]) Erster Band dieses Handbuchs (2. Aufl.), zweite Abteilung, Kapitel V: Konstruktion der Stütz- und Futtermauern.

Fig. 21. *Ermittelung der Verteilungslinie.*

Bauweise: Seitenwand in trockener Baugrube fertiggestellt, darauf die Sohle eingesetzt und dann die Wand mit Boden hinterfüllt.



Setzt man darauf die Sohle dazwischen, so erzeugt diese durch ihr Gewicht den Erddruck $a\,b\,d\,c$. Die Gesamtfigur $a\,b\,d\,e\,f\,g$ giebt also ein Bild der Bodenfestigkeit unter der ganzen Sohle, indem die senkrechten Abstände der einzelnen Punkte der Begrenzungslinie $b\,d\,e\,f$ von der Linie $a\,g$ den Einheitsdruck für die betreffenden Sohlenstellen darstellen. Wird nun die Seitenwand hinterfüllt und Wasser in die Baugrube eingelassen, so wird, wenn man zunächst wieder durchlässigen Baugrund annimmt, gegen die Sohle der Auftrieb zu wirken beginnen und wenn später die Schleuse oder das Dock leer gepumpt werden mufs, wird der Bodendruck unter der Sohle wesentlich geringer werden, als er in der trockenen Baugrube war, weil das Gewicht des Bauwerkes jetzt gröfstenteils durch den Auftrieb aufgenommen wird.

Es möge nun die Elasticität des Mauerwerks vernachlässigt und angenommen werden, dafs an jeder Stelle der Sohle der frühere Erddruck um ein gleiches Mafs durch den Wasserdruck ersetzt werde, sodafs also der Linienzug $b\,d\,e\,f$ seiner Gestalt nach für die Verteilung der Erdreaktion mafsgebend bleibt und daher „die Verteilungslinie“ genannt werden kann.

Wenn man also z. B. einen Belastungsfall hätte, bei welchem nach Gl. 1, wegen des sehr hohen Auftriebs A, für D nur ein Wert übrig bliebe, welcher zwischen dem Inhalte der Druckflächen $d\,e\,f\,i$ und $e\,f\,h$ läge, so würde dieser Druck als ein Paralleltrapez (nur unter der Seitenwand) darzustellen sein, welches das volle Dreieck $e\,f\,h$, aber anstatt des Rechtecks $d\,e\,h\,i$ ein entsprechend niedrigeres enthielte. Wäre endlich die Gesamtreaktion kleiner als das Dreieck $e\,f\,h$, so würde man dieselbe als ein ähnliches Dreieck mit dem Winkel a an der unteren Spitze darzustellen haben, dessen Höhe in der Richtung $h\,f$ läge, wie dies z. B. die Figuren 25, 30, 31 u. 33 zeigen.

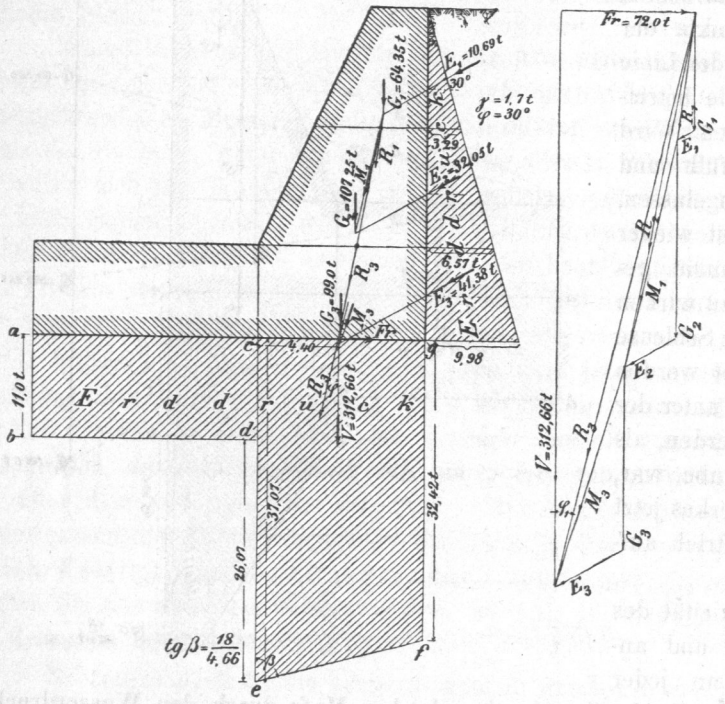
In gleicher Weise giebt Fig. 22 die Darstellung der Verteilungslinie $b\,d\,e\,f$ mit dem Winkel β an der unteren Spitze, für den Fall, dafs die Sohle zwischen die Seitenwände eingefügt wird, nachdem letztere zuvor mit Boden hinterfüllt worden.

Der Böschungswinkel des Bodens ist hier zu 30° angenommen und ebenso grofs der Reibungswinkel für die Reibung zwischen Seitenwand und Erde, die hier sowohl, wie bei der Ausführung nach Fig. 21 vorhanden sein wird. Die gröfsere Höhe des Drucktrapezes unter der Seitenwand ($c\,e$) liegt hier infolge des Erddruckes gegen die freistehende Wand nach der Axe des Bauwerkes zu. Die Resultante aus Gewicht der Seitenwand und Erddruck R_3 ist nicht senkrecht, sondern schräg gegen die Sohle

gerichtet. Die Druckfläche $c\,e\,f\,g$ stellt nur die Verteilung der senkrechten Seitenkraft V von R_3 dar, während die im Kräfteplane mit Fr bezeichnete wagerechte Seitenkraft, bevor die Sohle eingesetzt wurde, durch die Reibung zwischen der Unterfläche der Seitenwand und dem Baugrunde aufgenommen wurde. Da nun kein Grund vorhanden ist, weshalb diese Reibung nach Einsetzung der Sohle verschwinden sollte, so kann man annehmen, dafs dieselbe dauernd ist und durch ihren Einfluſs die Biegungsspannungen in der Sohlenmitte vermindert.

Fig. 22. *Ermittelung der Verteilungslinie.*

Bauweise: Seitenwand in trockener Baugrube gebaut, darauf mit Boden hinterfüllt und zuletzt die Sohle eingesetzt.



In den Untersuchungen, welche sich auf die Ausführungsweise nach Fig. 22 ausschliefslich beziehen, wie Fig. 24 und 28, sowie in denen, welche sich auf beide Ausführungsweisen beziehen (Fig. 25), sind daher in der Sohle sowohl die Drucklinien gezeichnet, welche entstehen, wenn man die Reibung berücksichtigt, als auch diejenigen, welche voraussetzen, dafs die Reibung zu vernachlässigen sei.

Für die Bestimmung der Gröfse der Reibung, welche den Erdreaktionen D bei den verschiedenen Belastungsfällen zukommt, ist hier, abweichend von der oben erwähnten Arbeit in der Zeitschrift für Bauwesen 1892, stets der Reibungswinkel φ_1 aus dem Kräfteplane der Fig. 22 zu Grunde gelegt, um das Verfahren zu vereinfachen, vergl. den Kräfteplan Fig. 24.[20])

Nach diesen Auseinandersetzungen werden die übrigen graphischen Darstellungen leicht verständlich sein.

Fig. 23 zeigt zunächst das Bauwerk ohne Wasser im Innern, während aufsen der niedrigste Wasserstand vorhanden ist unter der Annahme, dafs die Herstellung gemäfs Fig. 21 erfolgte, also die Hinterfüllung der Seitenwände nach Einsetzen der Sohle geschah. Fig. 24 entspricht denselben Wasserdruckverhältnissen von aufsen, aber unter

[20]) In genannter Arbeit war vorgeschlagen, die Reibung gleich dem jeweiligen Drucke $D_1 \,.\, tang\,\varphi_1$ zu setzen, solange $D_1 \,.\, tang\,\varphi_1 \leqq Fr$ in Fig. 22, falls $D_1 \,.\, tang\,\varphi_1 > Fr$ würde, aber als Reibung Fr beizubehalten, d. h. $tang\,\varphi_1$ oder φ_1 entsprechend zu verkleinern. Nach der jetzigen Annahme ist die Reibung dagegen stets $= D_1 \,.\, tang\,\varphi_1$ gesetzt, auch wenn dieser Wert gröfser wird als Fr in Fig. 22. Dieser Fall tritt übrigens bei der Bauweise, welche der Fig. 22 zu Grunde liegt, gar nicht ein, sondern nur bei dem mit Prefsluft gegründeten Bauwerke für die in Bezug auf das Aufbrechen der Sohle ungefährlichen Fälle, in denen dasselbe ganz mit Wasser gefüllt ist.

Voraussetzung der Herstellung nach Fig. 22. In Fig. 24 sind in der Sohle zwei Drucklinien gezeichnet, von denen die höher liegende unter Berücksichtigung der Reibung zwischen der Grundfläche der Seitenwand und dem Baugrunde entstanden ist. Man ersieht daraus, dafs die Berücksichtigung dieser Reibung die Drucklinie höher hebt, also meistens günstig wirkt. Diese günstige Wirkung ist eine doppelte, denn die Reibung verkleinert nicht nur den Hebelarm des auf Biegen der Sohle wirkenden Horizontalschubes, sondern vermindert auch diesen selbst. Vergleicht man die Lage der drei Drucklinien der Figuren 23 und 24 mit derjenigen der Drucklinie in Fig. 20, welche ebenfalls für den niedrigsten Wasserstand aufsen, aber unter der für die Sohle wesentlich günstigeren Annahme, dafs auch der Erddruck horizontal wirke, dargestellt ist, so erkennt man den grofsen Nutzen, welchen das nachträgliche Einsetzen der Sohle für die Standsicherheit des Bauwerks bringt.

Fig. 23.

In trockener Baugrube gebaut, Sohle vor Hinterfüllung der Seitenwand eingesetzt.

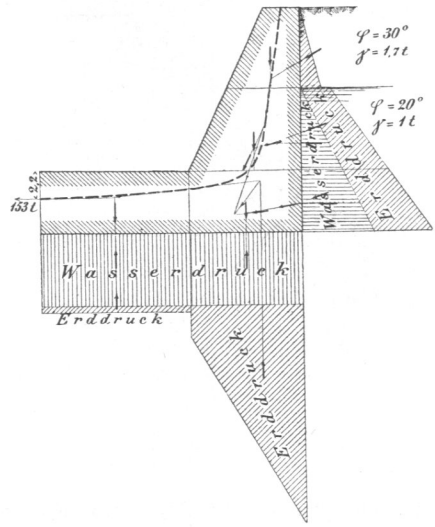


Fig. 24.

In trockener Baugrube gebaut, Seitenwand erst hinterfüllt und dann die Sohle eingesetzt.

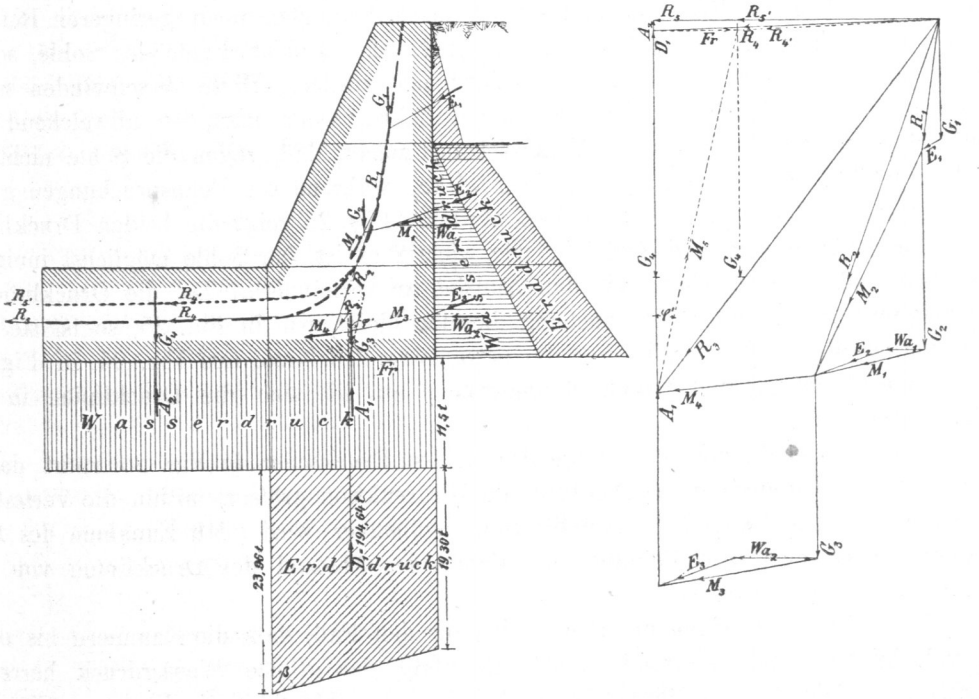


Fig. 25 zeigt die drei Drucklinien, welche den beiden Herstellungsweisen nach Fig. 21 und 22 entsprechen, wenn das Bauwerk wasserleer ist, aber aufsen der höchste Wasserstand gegen Seitenwand und Sohle wirkt. Die Drucklinie, welche am höchsten

Fig. 25.

R_6 (nach Einsetzung der Sohle hinterfüllt) günstiger.

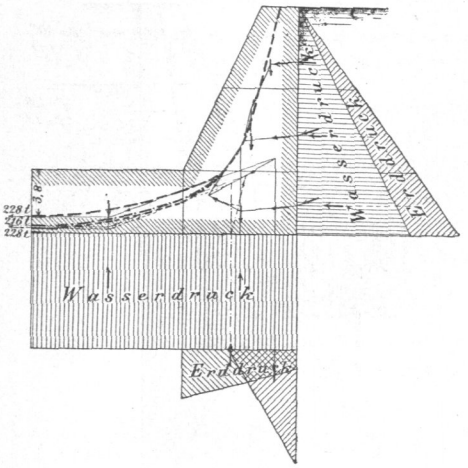
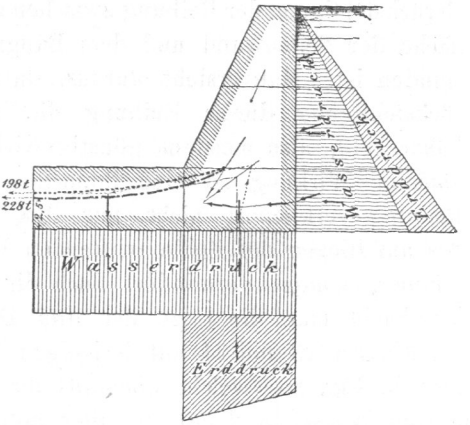


Fig. 26.

Drei Viertel des vollen Auftriebs gegen die Sohle angenommen.



liegt, entspricht der Annahme Fig. 21 (Hinterfüllung der Wand nach Einsetzung der Sohle). Diese Bauweise ist also gegen das Aufbrechen der Sohle die günstigste, weil sie bei dem in Fig. 25 dargestellten Belastungsfalle den geringen Rest der Erdreaktion am weitesten nach dem Ende der Sohle verlegt, wo er am wirksamsten zur Hebung der Drucklinie in der Mitte ist. Die Drucklinien, welche der anderen Bauweise (Fig. 22) entsprechen, weichen nur wenig voneinander ab, was bei der geringen, noch vorhandenen Erdreaktion und der dadurch bedingten noch geringeren Reibung nicht anders sein kann. Sie liegen aber ziemlich nahe der Unterkante der Sohle, sodafs in der Oberkante starke Zugspannungen entstehen würden. Diese verschwinden sofort, indem sich die beiden Drucklinien bedeutend heben, wenn man, — abweichend von den bisherigen Annahmen — die Voraussetzung macht, dafs gegen die Sohle nicht der volle Auftrieb, sondern nur $^3/_4$ desselben wirke, während die Beanspruchungen gegen die Seitenwand aus Fig. 25 beibehalten werden. Fig. 26 zeigt die beiden Drucklinien unter diesen Annahmen und zugleich, wie wichtig es ist, die Sohle möglichst innig an den Baugrund anzuschliefsen, um den Auftrieb zu vermindern. Da die Drucklinie in der Seitenwand bei dieser Untersuchung dieselbe bleibt, wie in Fig. 25, so ist sie hier nicht dargestellt, sondern es ist nur die betreffende Resultante aus Fig. 25 in Fig. 26 nach Lage, Richtung und Gröfse übernommen, an die sich die Drucklinien in der Sohle anschliefsen.

Die wesentlich günstigere Lage der beiden Drucklinien in Fig. 26 rührt daher, dafs infolge Verminderung des Auftriebs die Erdreaktion gröfser, mithin die Verteilung des Gesamtdruckes $(A + D)$ gegen die Sohle günstiger wird. Mit Zunahme des Erddruckes wächst auch die Reibung und damit der Abstand der Drucklinien von der Sohlenunterkante in Fig. 26.

Fig. 27 und 28 zeigen die Drucklinien für den Fall, dafs die Kammern bis oben hin voll Wasser sind, während aufsen gleichfalls der gröfste Wasserdruck herrscht. Fig. 27 entspricht der Ausführungsweise von Fig. 21, Fig. 28 derjenigen von Fig. 22. Alle drei Drucklinien verlaufen in der Sohlenmitte hoch über deren Oberkante und treten teilweise bereits in der Fuge zwischen Seitenwand und Sohle über die letztere hinaus. In der Unterfläche der Sohle werden also durchweg Zugspannungen herrschen.

Fig. 27.

Bauweise: Im Trockenen gebaut, Sohle vor Hinterfüllung der Seitenwände mit Boden eingesetzt (entsprechend Verteilungslinie Fig. 21).

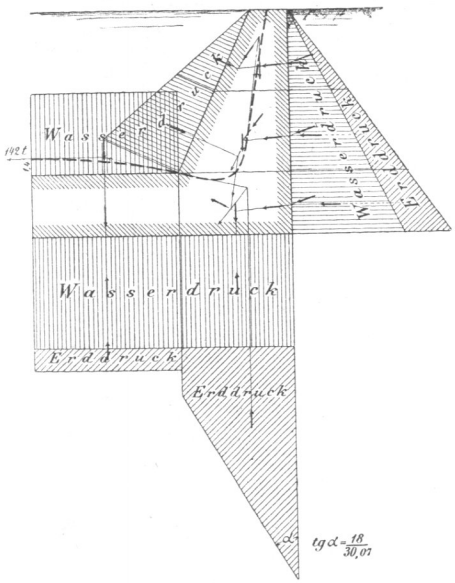
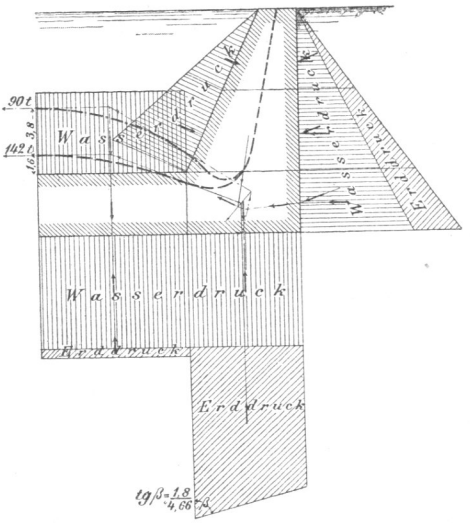


Fig. 28.

Bauweise: Im Trockenen gebaut, Sohle nach Hinterfüllung der Seitenwand mit Boden eingesetzt (Verteilungslinie Fig. 22).



Es kann dies auch nicht anders sein, denn durch das grofse Gewicht der Wasserfüllung mufs die Sohle nach unten gebogen werden, weil infolge ihrer Herstellungsweise der Boden unter den Seitenmauern sehr viel fester zusammengedrückt ist, als zwischen denselben. Diese Lage der Drucklinie ist übrigens oft nicht so gefährlich, als sie scheint, da eine Zerstörung der Sohle selbst dann nicht immer zu befürchten ist, wenn sich in der Unterfläche kleine Risse bilden sollten, weil sie trotzdem noch Druckspannungen aufzunehmen vermöchte, also den Beanspruchungen, welche bei entleerter Kammer auftreten und die allein ein Aufbrechen durch den Auftrieb herbeiführen können, noch gewachsen bliebe. Aufserdem kann die Durchbiegung der Sohle nach unten meistens auch nur eine ganz unbedeutende werden, sodafs kaum Risse entstehen werden, denn in den weitaus meisten Fällen wird die Belastung des Bodens unter der Sohle vor Aushub der Baugrube durch die darüberliegenden Erdschichten gröfser gewesen sein, als die Belastung durch das Mauerwerk der Sohle und das darüberstehende Wasser bei voller Kammerfüllung. Ein Nachgeben des Bodens kann also infolge der Belastung nach Fig. 27 und 28 in der Regel nur dann stattfinden, wenn der Boden durch das Ausheben der Baugrube gelockert wurde. Ist diese Lockerung nur in der Oberfläche vorhanden, so mufs man sie durch festes Aufstampfen des Betons unschädlich zu machen suchen. Erstreckt sich die Lockerung aber auf gröfsere Tiefen, weil der Boden (Sand) durch das Pumpen aufgewühlt wurde, oder weil derselbe sich bläht, wenn er mit der Luft in Berührung kommt, so würde Prefsluftgründung zweckmäfsiger, weil sicherer, sein, wie weiter unten nachgewiesen wird.

Im allgemeinen beweisen die Figuren 23 bis 28, dafs es bei der gewählten Form des Querschnittes zweckmäfsiger ist, nach Aufführung der Wände in trockener Baugrube zunächst die Sohle einzufügen und erst dann die Wände mit möglichst durchlässigem Boden zu hinterfüllen, weil bei dieser Reihenfolge die Drucklinien in der Sohle in engeren Grenzen bleiben.

Fig. 29.

Bauweise: Im Trockenen gebaut, Sohle vor Hinterfüllung der Seitenwände mit Boden eingesetzt (Verteilungslinie Fig. 21).

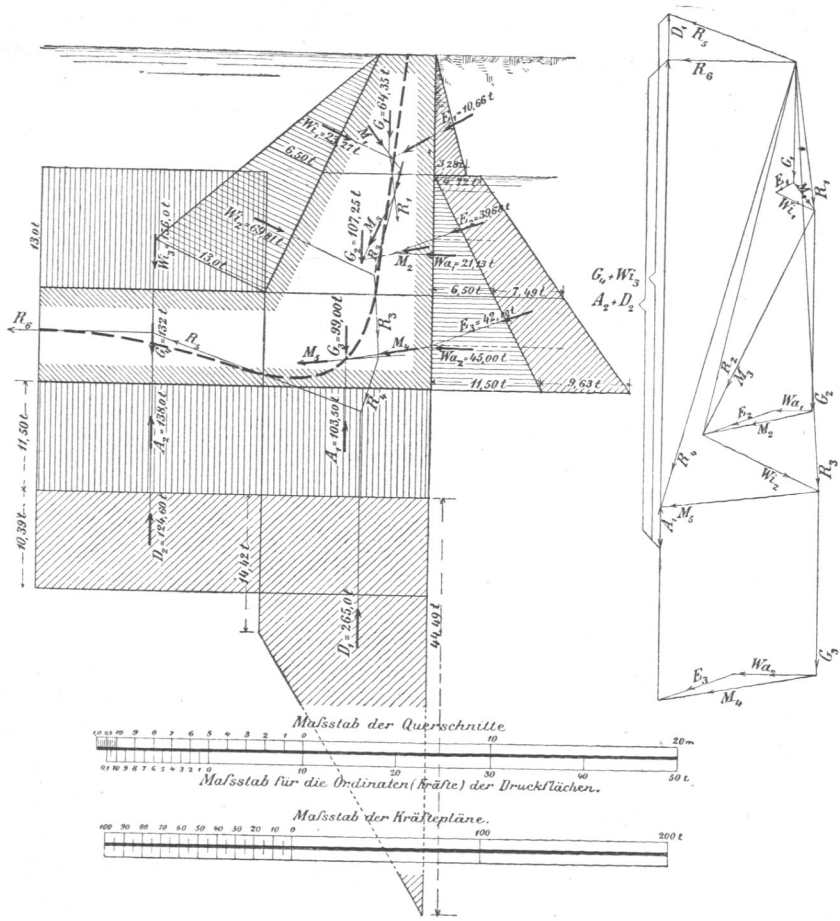


Fig. 29 zeigt noch die Drucklinie für den besonders bei Schleusen häufig zu erwartenden Fall, dafs im Innern derselben der Oberwasserstand vorhanden ist, während das Grundwasser längs der Wände und der Auftrieb gegen die Sohle dem Unterwasserstande entspricht. Es ist hier die Bauweise nach Fig. 21 angenommen. Die Erdreaktion erreicht hier, abgesehen von der Zeit während der Herstellung in trockener Baugrube, wie bereits bei der Besprechung der Gleichungen bemerkt, ihren gröfsten Wert. Der Verlauf der Drucklinie ist ein wesentlich günstigerer, als in Fig. 27, welche unter übrigens gleichen Voraussetzungen neben und unter dem Bauwerke den höchsten Wasserdruck annimmt. Am ungünstigsten beansprucht ist die Ecke zwischen Sohle und schräger innerer Wandfläche, wo möglicherweise eine Fuge entstehen kann. Es kommt dies daher, dafs der Wasserdruck gegen die innere Wandfläche gröfser ist, als Wasserdruck und aktiver Erddruck gegen die äufsere, wie aus dem Kräfteplane ersichtlich ist. Die Fuge kann aber nicht bedeutend werden, weil dies der passive Erddruck von aufsen verhindert. Damit dieser kräftig zur Geltung komme, ist es nützlich, den Boden, namentlich oberhalb des Grundwassers, in dünnen Lagen fest zu stampfen.

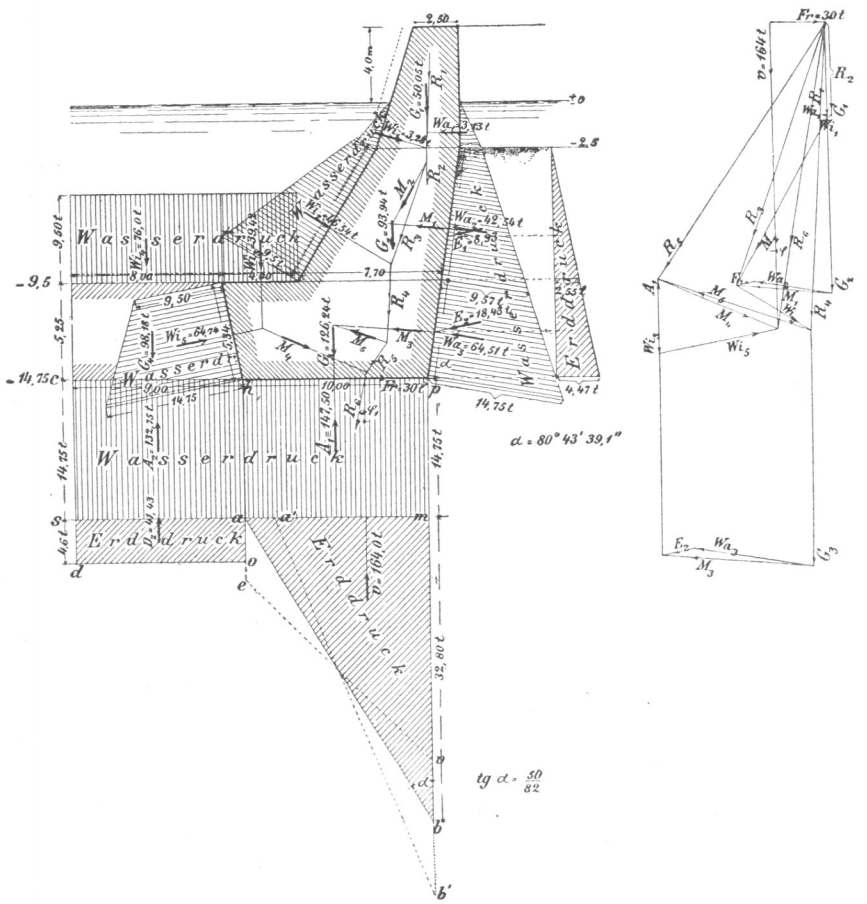
Die Figuren 30 bis einschliefslich 34 zeigen die Drucklinien eines Docks, welches mit Hilfe von Prefsluft unter Wasser hergestellt wurde. Auch hier ist wieder als un-

günstigster Fall der volle Auftrieb gegen die Sohle, aber andererseits als günstig für diese, voller Wasserdruck gegen die Seitenwand angenommen.

Bei Anwendung der Preſsluftgründung für das ganze Bauwerk stellt man zweckmäſsiger Weise zunächst die Seitenwände nur im Rohbau fertig, fügt darauf die Sohle ebenfalls ohne ihre obere Verblendung ein, schlieſst das Dock oder die Schleuse an den Enden ab, pumpt es leer und setzt die Verblendung im ganzen ein. Wie diese Arbeiten unter Wasser mit Hilfe von Preſsluft ausgeführt werden können, wird weiter unten in § 12 mitgeteilt.

Fig. 30. *Ermittelung der Verteilungslinie für Preſsluft-Gründung.*

Bauweise: Hinterfüllung der Seitenwand bis — 2,5 mit Boden während der Ausführung derselben und vor Einsetzen der Sohlenmitte.

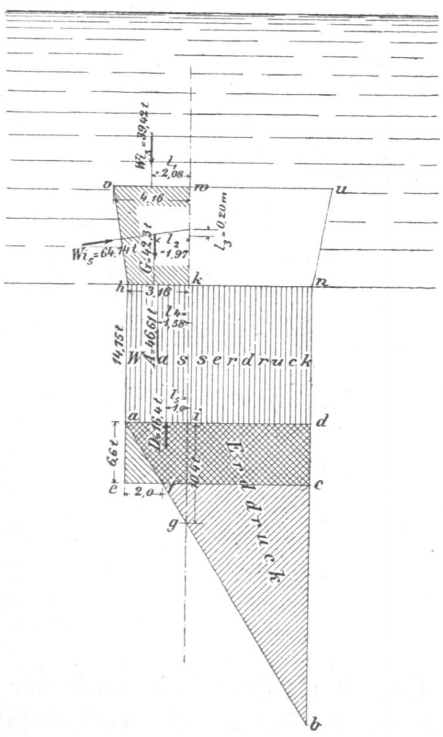


Diesem Bauvorgange entsprechend ist in Fig. 30 als Querschnitt auch nur der Rohbau in ausgezogenen Linien dargestellt und zur Ermittelung der Verteilungslinie *d o a b* benutzt, während die innere Grenze des fertig verkleideten Bauwerkes durch punktierte Linien dargestellt ist. Die Seitenwände sind hier bis zur Höhe — 2,5 unterschnitten und ebenso auch das Widerlager für den nachträglich einzusetzenden mittleren Teil der Sohle. Für die Darstellung der Verteilungslinie ist ein mittlerer Wasserstand — 4 m unter dem höchsten — angenommen, weil man sicher sein kann, daſs dieser während der Herstellung der Seitenwände und der Sohle einmal vorhanden sein, daſs

also der ermittelte Grad der Bodenverdichtung unter der Sohle sicher erreicht werden wird. Fällt das Wasser während der Herstellung des Rohbaues tiefer fort, so wird die Verteilungslinie noch günstiger. Endlich ist noch angenommen, dafs der unterschnittene Teil der Seitenwände während des Aufbaues fortlaufend bis Ordinate — 2,5 hinterfüllt werde. Die Berechnung des Erddruckes gegen die Seitenwand ist nach Kapitel V des ersten Bandes dieses Handbuches (2. Aufl.), Konstruktion der Stütz- und Futtermauern, erfolgt. Aufser diesem Erddrucke wirkt, wenn die Mauer fertiggestellt ist, gegen sämtliche unter Wasser gelegene Flächen derselben — auch gegen die Sohle — der volle Wasserdruck. Diese angreifenden Kräfte geben mit den Mauergewichten zusammen die Resultante R_6, welche die Sohle zufällig auf $^1/_3$ ihrer Länge von dem äufseren Ende schneidet und mit der Senkrechten zur Sohle wieder den Winkel φ_1 bildet, welcher die Reibung zwischen Sohle und Baugrund darstellt. Die Gröfse der Reibung Fr (wagerechte Seitenkraft von R_6 im Kräfteplane) ist etwa $= 30$ t für 1 m Tiefe der Schleusenwand. Die senkrechte Seitenkraft von R_6 ist etwa 164 t. Derselben entspricht als Druckfigur das Dreieck $a\,b\,m$, dessen Grundlinie $a\,m = 10$ m und dessen Höhe $b\,m = 32{,}8$ t ist.

Wird nach Fertigstellung der Seitenwände die Sohlenmitte ebenfalls unter Wasser eingesetzt, so erzeugt dieselbe einen gleichmäfsig verteilten Erddruck unter sich, der zusammen mit dem Auftriebe gegen die Sohle gleich dem Gewichte der Sohle, zuzüglich des über derselben lagernden Wassers ist. In dieser Weise erhält man als Druckfigur für die Erdreaktion unter der Sohlenmitte das Rechteck $s\,d\,o\,a$ von 9 m Grundlinie und 4,6 $\frac{\text{t}}{\text{qm}}$ Höhe, bei 41,4 t $= D_2$ Inhalt.

Fig. 31.



In Bezug auf die Form der Verteilungslinie $d\,o\,a\,b$ ist noch folgendes zu bemerken: Während der Ausführung der Seitenwand wird nach Fertigstellung des beiderseits unterschnittenen Sohlenstückes $h\,n\,u\,v$ (Fig. 31) unter diesem eine Erdreaktion vorhanden sein, welche (genau genug) durch das Rechteck $a\,e\,c\,d$ dargestellt ist, dessen Höhe $= 6{,}6\,\frac{\text{t}}{\text{qm}}$ beträgt. Es wird also an dem Punkte h der Sohle, unter welchem nach Fertigstellung und Hinterfüllung der Seitenwand die Spitze a des Druckdreiecks $a\,b\,d$ liegt, mithin der Sohlendruck alsdann $= 0$ ist, während der Aufmauerung und Hinterfüllung der Erddruck allmählich von 6,6 $\frac{\text{t}}{\text{qm}}$ auf 0 sinken. Damit müssen in dem Sohlenteile $v\,h\,n\,u$ Biegungsspannungen eintreten, welche in dem Schnitte $w\,k$ (Fig. 31) sich aus der Gleichung:

$$M_x = -\,W_3^{\mathrm{i}}\,.\,l_1 - G\,.\,l_2 + W_5^{\mathrm{i}}\,.\,l_3 + A\,.\,l_4 + D\,.\,l_5$$

berechnen lassen und für die vorliegenden Verhältnisse bei w eine Zugspannung von etwa 1,3 $\frac{\text{kg}}{\text{qcm}}$ und bei k eine ebenso grofse Druckspannung ergeben. Die Zugspan-

nungen bei w würden noch gröfser werden, wenn die Begrenzungslinie $a\,b$ der Druckfigur für die fertig aufgemauerte Seitenwand etwa die Lage $a'\,b'$ in Fig. 30 erhalten hätte. Aufserdem würde in diesem Falle ein Abheben der Sohle vom Boden auf der Strecke $a\,a'$ eintreten. Wenn Zugspannungen von 1,3 $\frac{\text{kg}}{\text{qcm}}$ für Beton, welcher unter der Taucherglocke hergestellt, schon deswegen unbedenklich ist, weil nach Einsetzung des mittleren Sohlenteiles, wie die Figuren 32, 33 und 34 zeigen, in dem Schnitte $w\,k$ (Fig. 31) bei dem Punkte w stets nur noch Druckspannungen auftreten, welche die Zugspannung von 1,3 $\frac{\text{kg}}{\text{qcm}}$ wieder aufheben, so wäre ein Abheben der Sohle für Schleusen, der Unterspülungsgefahr wegen, unbedingt zu vermeiden. Man würde also für diese die Seitenwand der Vorsicht halber höher hinauf mit Boden hinterfüllen müssen, als in Fig. 30 dargestellt ist, um ein Trapez als Druckfigur unter der Sohle, an Stelle des Dreiecks $a\,b\,m$ (Fig. 30), zu erhalten. Ist für das Trapez, Fig. 30, die Seite $a\,e$ unter h so grofs als die Höhe $a\,o$ des Rechtecks in Fig. 31, so ist sicher jede Zugspannung und jedes Abheben bei w ausgeschlossen. Bei der Ausführung von Trockendocks ist eine Reaktionsverteilung nach Figur $a\,b\,m$ nicht bedenklich, da selbst beim Abheben eines Teiles der Sohle kein Schaden entstehen kann.

Die Figuren 32, 33 und 34 zeigen nun die mit Hilfe der Verteilungslinie $d\,o\,a\,b$ aus Fig. 30 dargestellte Drucklinie des fertig verkleideten Bauwerkes bei verschiedener Beanspruchung. Fig. 32 für das leere Bauwerk bei niedrigstem Stande des Grundwassers, Fig. 33 desgl. bei höchstem Stande und Fig. 34 für das bis oben mit Wasser gefüllte Bauwerk bei gleichzeitig höchstem Wasserstande aufsen.

Fig. 32 bis 34. Bauweise: Prefsluft-Gründung nach Fig. 30.

Fig. 32.

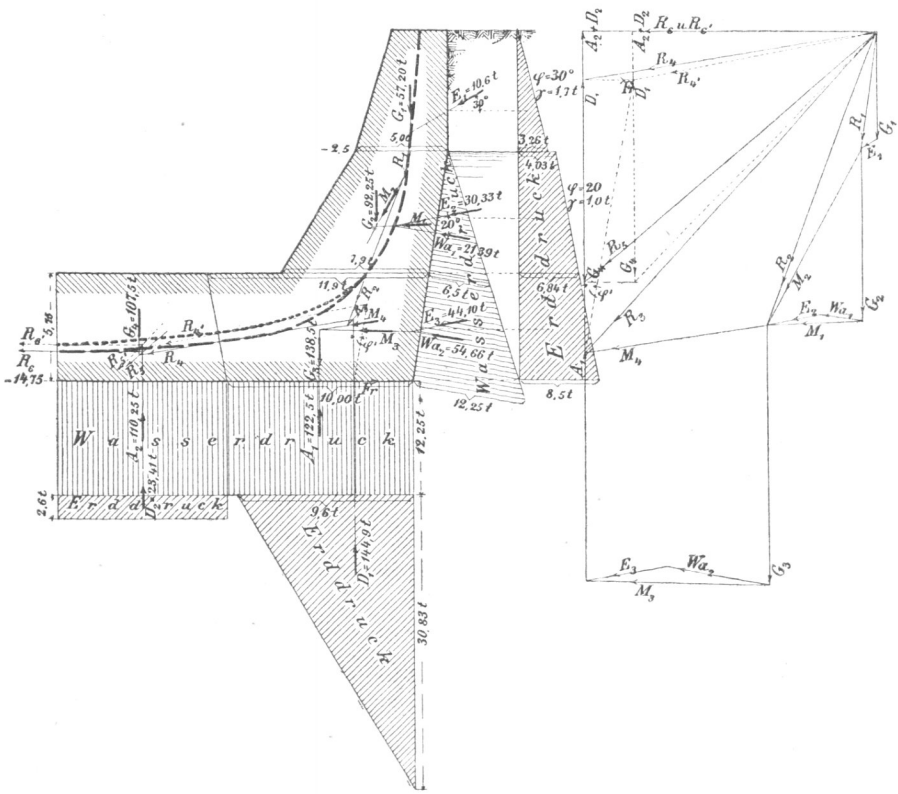


Fig. 33.

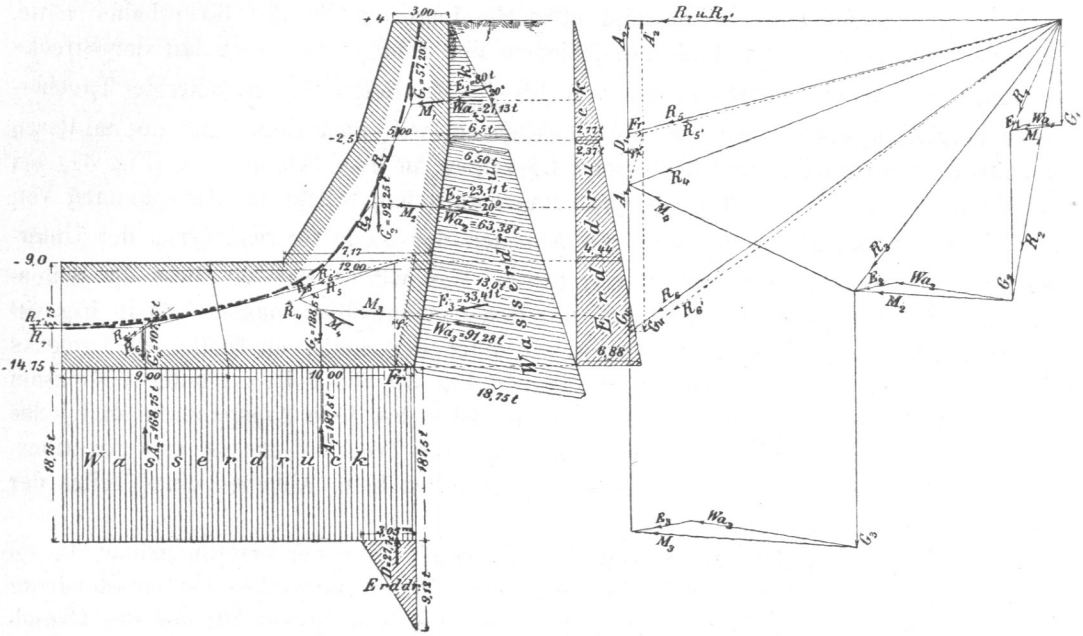
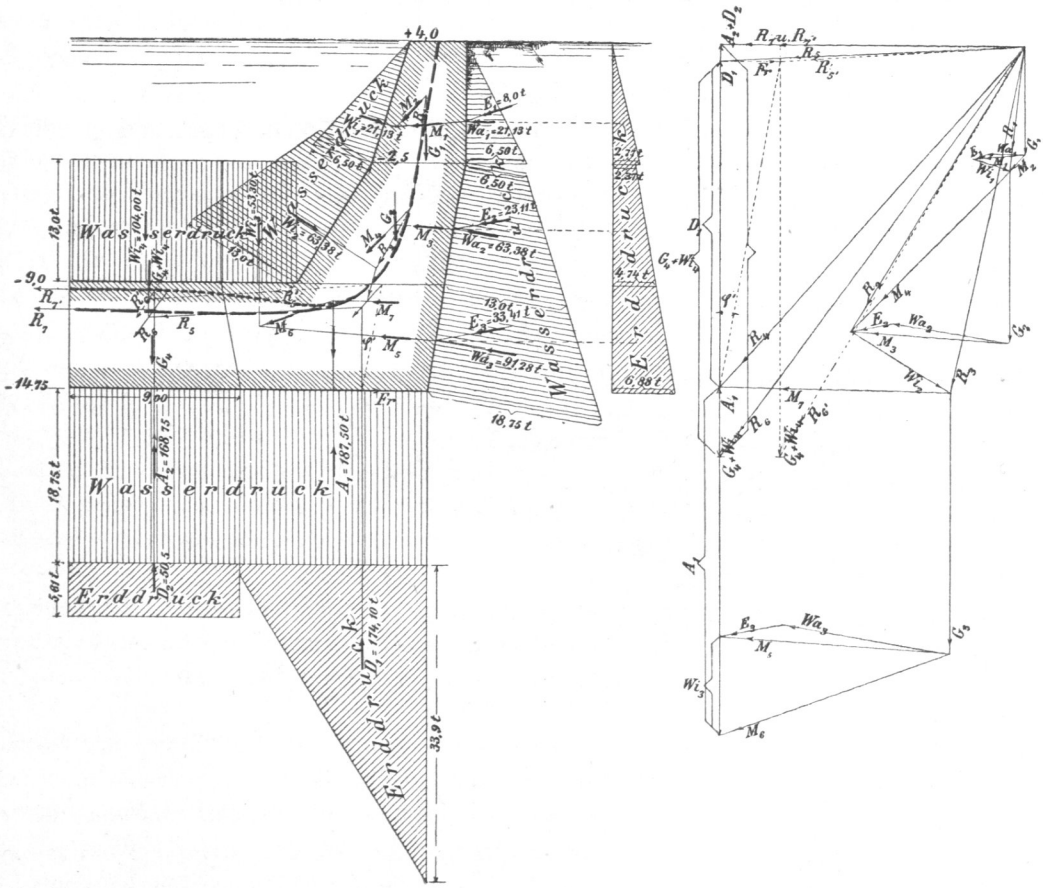

Wasserdruck
Erddruck
Wasserdruck
Erddruck

Fig. 34.


Wasserdruck
Erddruck
Wasserdruck
Erddruck

Sämtliche Drucklinien bleiben im Querschnitt, namentlich auch die des bis oben mit Wasser gefüllten Bauwerkes, welche bei der früher untersuchten Bauweise im Trockenen in der Sohlenmitte hoch oberhalb derselben verliefen. Wenn schon der in Fig. 30 bis 34 dargestellte Querschnitt bei der Herstellung im Trockenen eine etwas günstigere Lage der Drucklinie ergeben mag, als der in Fig. 21 bis 29 untersuchte, so mufs doch die Herstellung unter Wasser mit Hilfe von Preſsluft stets für das volle Dock eine günstigere (tiefere) Lage ergeben, weil die Belastungsverhältnisse der Fig. 34 weit weniger von denjenigen abweichen, welche während der Herstellung des Bauwerkes mit Preſsluft (Fig. 30) vorhanden waren, als von denjenigen, welche während der Herstellung in trockener Baugrube (Fig. 21 oder 22) herrschten. Bei weichem, gelockertem Baugrunde, für welchen eine zu hohe Lage der Drucklinie möglicherweise gefährlich werden könnte, ist daher die Verwendung von Preſsluft, zum mindesten bei der Einsetzung des mittleren Sohlenteiles (vergl. § 12), das sicherste Mittel, jede Überanstrengung der Sohle zu vermeiden.

Noch ist zu bemerken, dafs von den beiden in den Sohlen der Querschnitte Fig. 32, 33 und 34 eingezeichneten Drucklinien jedesmal die höher liegende, punktierte die Berücksichtigung der Reibung zwischen Unterkante der Seitenwand und Baugrund nach Winkel φ' zur Voraussetzung hat, die tiefer liegende aber unter Vernachlässigung dieser Reibung entstanden ist. Will man die Reibung der Einfachheit halber vernachlässigen, so ist man sicher, dafs die berechneten Sohlenpressungen für die leeren Bauwerke an der Unterkante in Wirklichkeit nicht unwesentlich geringer sein werden. In Fig. 32 z. B. beträgt die Kantenpressung in der Sohlenmitte, wenn Zugspannungen aufser Betracht gelassen werden, ohne Berücksichtigung der Reibung 7 kg für 1 qcm; mit Berücksichtigung derselben nur 4,6 kg.

Hat man in dieser Weise eine Form des Querschnittes ermittelt, welche für das fertig verblendete Bauwerk genügt, so mufs man auch noch den Rohbauquerschnitt, wie ihn Fig. 30 zeigt, unter der Annahme untersuchen, dafs das Bauwerk leer gepumpt wird, um die Verblendung anzubringen. Der Gang der Untersuchung ist derselbe, wie bei Fig. 32 und 33 und stützt sich ebenfalls auf die Verteilungslinie Fig. 30. Es ist aber nicht notwendig, dafs das unverblendete Bauwerk bereits im stande ist, die dem höchsten und niedrigsten Grundwasserstande und Auftriebe entsprechende Belastung auszuhalten. Einmal ist es in der Regel unwahrscheinlich, dafs diese während der Ausführung der Verblendung eintreten, dann aber kann man sich, falls sie wirklich vorkommen sollten, durch künstliche Belastung, sei es mit Steinen in der Sohle oder durch zur Not eingelassenes Wasser helfen. Man hat also nur festzustellen, welche Grundwasserstände das nicht verblendete leere Bauwerk ohne Gefahr noch aushalten kann und hat während der Verblendungsarbeiten Vorsorge zu treffen, dafs sobald diese über- oder unterschritten werden, eine geeignete Belastung eintrete.

Die nachträgliche Einfügung der Verblendung bei mit Preſsluft gebauten Schleusen oder Docks bedingt noch eine Eigentümlichkeit in der Berechnung der genauen Pressungen an der Innenseite des Bauwerkes, also namentlich der Seitenwände, die besonderer Erwähnung bedarf.

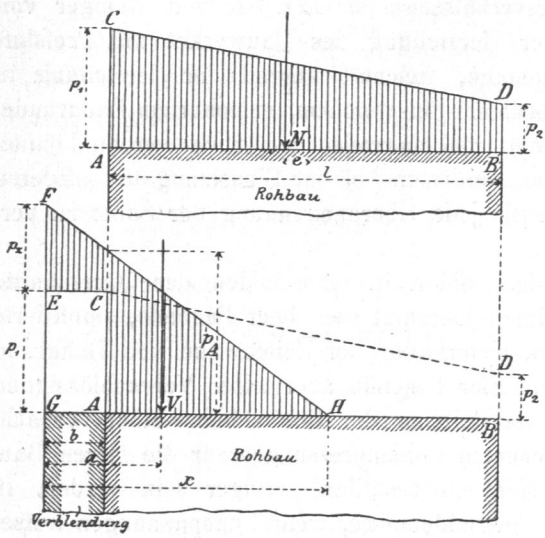
Wenn nach Fertigstellung des Bauwerkes dasselbe zur Ausführung der Verblendung leer gepumpt wird, treten Spannungen im Rohbau auf und die Verblendung wird — an sich spannungslos — diesem bereits in Spannung befindlichen Rohmauerwerk angefügt. Erhöhen sich dann in Zukunft infolge des steigenden Grundwasserstandes die Beanspruchungen, so tritt auch eine Spannung im Verblendungsmauerwerk ein; die

Pressung an der Innenkante desselben ist aber nicht immer die gröfste im ganzen Querschnitte.

Um letztere zu ermitteln, hat man wie folgt zu verfahren[21]):

Man beobachtet den Wasserstand, welcher während der Verblendung des gefährlichsten Querschnittes, dessen einstige gröfste Beanspruchung man berechnen will, im Hinterfüllungsboden vorhanden war und berechnet daraus den Spannungszustand im Rohmauerwerk dieses Querschnittes während der Einfügung des Verblendungsmauerwerks. Das Drucktrapez $CABD$ (Fig. 35) möge die Druckverteilung im Querschnitte des Rohmauerwerks während dieser Zeit darstellen. Wenn nun eine spätere gröfsere Belastung die Drucklinie weiter nach links verschiebt, sodafs die Vertikalkraft, welche den Querschnitt beansprucht, aus der Lage N (obere Figur) in die Lage V (untere Figur) gerückt wird, so kann das vorgesetzte Verblendungsmauerwerk von der Breite b erst Druckspannungen erhalten, wenn in der linken Kante des Rohbaumauerwerks die Spannung p_1 überschritten wird. V wird sich also nach der Figur $FECAHF$ auf den Gesamtquerschnitt verteilen, wenn man wieder nur Druckspannungen annimmt.

Fig. 35.



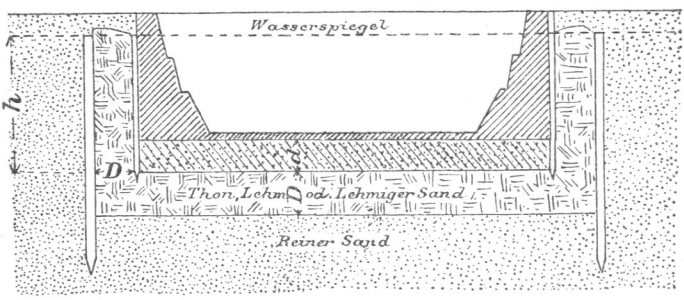
Zur Berechnung der einzelnen Teile dieser Druckfläche dienen die in der oben angeführten Veröffentlichung entwickelten Gleichungen:

$$x = \frac{3\,(2\,.\,V\,.\,a + p_1\,.\,b^2)}{2\,(V + p_1\,b)} \quad \ldots\ldots\ldots\

Die vorstehenden Untersuchungen haben gezeigt, dafs es in hohem Grade vorteilhaft ist, zuerst die Seitenwände aufzuführen und nachträglich die Sohle dazwischen zu setzen. Diese Bauweise liefert selbst bei vollem Auftriebe gegen die Sohle, wenn die Querschnittsform einigermafsen passend gewählt wird, ein unter allen Verhältnissen standsicheres Bauwerk. Dafs man bei der Einschliefsung des letzteren durch Spundwände auf möglichste Dichtheit derselben Bedacht nehmen mufs, ist selbstverständlich.

Wenn man den Spundwänden auch im allgemeinen keinen grofsen Einfluſs auf die Verminderung des Auftriebes zutrauen mag, so ist ihre Dichtheit doch für den Schutz gegen Unterspülung von grofsem Nutzen. Zur Verminderung des Auftriebes sind andere Mittel sicherer. Ist ein starker Auftrieb im Boden, der sonst weniger durchlässig ist, von einzelnen unter hohem Drucke stehenden Quellen zu befürchten, so mufs man diese fassen und aufserhalb des Bauwerks nach dem Unterwasser ableiten. Ist aber ein hoher Auftrieb wegen des allgemein sehr durchlässigen Baugrundes zu fürchten, und möchte man das Bauwerk nicht dem vollen Auftriebe entsprechend in der oben angegebenen Weise berechnen und ausführen, so läfst sich der Auftrieb durch Einbringen einer undurchlässigen Bodenschicht unter der Sohle des Bauwerks, an welche die letztere aber vollkommen dicht anschliefsen mufs, wesentlich vermindern. Ein sehr sorgfältig hergestellter Thonschlag ist für diese Bodenschicht das Beste. Wenn im Baugrunde ursprünglich der volle Auftrieb vorhanden war, so würde eine Thonschicht von der Dicke D (Fig. 36) den Wasserdruck gegen die Sohle auf:

Fig. 36.



$$p = \gamma\,[h - (\beta_1 - 1)\,.\,D] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 9.$$

für 1 qm vermindern, wenn γ das Gewicht von 1 cbm Wasser, $\beta_1\,\gamma$ das Gewicht von 1 cbm Thon ist und h den Abstand der Betonsohle vom Wasserspiegel des Grundwassers bedeutet.

Dem geringeren Drucke entsprechend würden auch die Abmessungen des Querschnittes herabgesetzt werden können, ohne dafs die Drucklinie unter die Sohle hinaustreten würde, wie aus der Untersuchung an Fig. 26 mit $^3/_4$ des Auftriebes folgt. Steht reiner Thon nicht zur Verfügung, so ist auch ein aus Thon oder Lehm und Sand gemischter Boden bereits wirksam. Um indessen dieselbe Druckverminderung wie bei reinem Thon zu erzielen, würde man die Schicht entsprechend verstärken müssen.

Bei Verwendung von nicht vollkommen undurchlässigem Boden würde der Auftrieb die Gröfse:

$$q = \gamma\,[h - (\beta_1 - 1)\,.\,(1 - \varepsilon_D\,.\,\alpha)\,.\,D] \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 10.$$

für 1 qm erhalten, worin γ, h, β_1 und D die vorhin angegebene Bedeutung haben, ε_D aber die Druckhöhenverminderung bedeutet, welche das Grundwasser infolge des Durchdringens durch die schwer durchlässige Bodenschicht von der Stärke D erleidet, während α die der schwer durchlässigen Bodenart zukommende Druckflächenverminderung ist.

In welcher Weise die Koefficienten ε_D und α ermittelt werden können, ist in der Arbeit des Verfassers: Über die Gröfse des Wasserdruckes im Boden. Zeitschrift für Bauwesen 1886, S. 101 zu entnehmen.

Da die Einbringung einer undurchlässigen Schicht immer eine trockengelegte Baugrube voraussetzt, wird die Anwendung derselben bei massiven Sohlen kaum vorkommen. Im allgemeinen wird es bei solchen vorzuziehen sein, die Sohlen der Durchlässigkeit des Baugrundes entsprechend stark zu gestalten und um zu sparen, lieber billigeren Sparbeton zu verwenden, da man bei der bequemen Herstellungsweise genügende Festigkeit geben kann. Eine stärkere einheitliche Sohle ist stets sicherer, als eine schwächere, künstlich vom Auftriebe entlastete, da ungünstige Verhältnisse oder Fehler bei der Ausführung die Entlastung ganz oder teilweise unwirksam machen können.

Aufser der bereits angeführten Arbeit des Verfassers: „Über Berechnung und zweckmäfsige Bauweise gemauerter Schleusen und Trockendocks“ (Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 523) seien hier noch folgende neuere Erscheinungen über denselben Gegenstand erwähnt: „Über die Berechnung gemauerter Schleusen und Trockendocks“ von Gromsch (Zeitschr. f. Bauw. 1891, S. 537); „Über die Standfestigkeit der Schleusen mit grofsen Öffnungen“. Annales des ponts et chaussées 1888, S. 434 von Preaudeau; endlich im Engineering, Juli 1893, S. 58 eine Arbeit von George Wilson.

Hölzerne Böden. Bei hölzernen Böden wird ein Thonschlag weit häufiger mit Vorteil Anwendung finden können, weil die Herstellung derselben ohnehin eine Trockenlegung der Baugrube voraussetzt und der Belag sich viel fester an eine Klaiunterlage, als an eine solche aus Mörtel oder Beton anschliefsen läfst. In welcher Weise diese Ausführungen geschehen, wird in § 9 mitgeteilt. Die Gröfse der Auftriebverminderung ergiebt sich auch hier nach der Formel 8, welche vollen Auftrieb im Baugrunde voraussetzt. Ist der Baugrund weniger durchlässig, so ist die Gröfse des vorhandenen Auftriebes entsprechend der in dem Aufsatze: „Über die Gröfse des Wasserdruckes im Boden“ gegebenen Anleitung zu ermitteln.

Im allgemeinen wird man es bei den Erdarten, in welchen hölzerne Böden Verwendung finden (vergl. § 5 und 8), mit verhältnismäfsig geringem Auftriebe, etwa $^1/_2$ bis $^1/_4$ des theoretischen zu thun haben. Dieser Auftrieb mufs — abgesehen vom Gewichte des Thonschlages — da der hölzerne Boden im Wasser als gewichtlos anzusehen ist, durch den Widerstand der Rostpfähle unter der Sohle und die Biegungsfestigkeit der Holzkonstruktion aufgenommen werden. Den Widerstand eines gewöhnlichen Pfahles gegen das Ausziehen ist etwas geringer als seine Tragfähigkeit und kann zu 0,8 bis 0,9 derselben angenommen werden.

Die Widerstandsfähigkeit kann man bedeutend vergröfsern, wenn man statt der gewöhnlichen Rammpfähle Schraubenpfähle verwendet. Der senkrechte Zug, welcher erforderlich ist, um einen solchen Pfahl aus dem Boden zu reifsen, ist[22]):

$$W = \gamma \cdot \pi \cdot h \left(r^2 + r \cdot h \cdot tang \cdot \frac{\varphi}{2} + \frac{h^2 \cdot tang^2 \frac{\varphi}{2}}{3} \right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 11.$$

worin γ das Gewicht der Raumeinheit des Bodens, h den Abstand der Oberfläche der Schraube von der Oberfläche des Bodens (Tiefe der Einschraubung), r den Schraubenhalbmesser und φ den natürlichen Böschungswinkel des Bodens bedeutet. Von diesem Widerstande darf man $^3/_4$ bis $^4/_5$ als nutzbar in Rechnung ziehen und mufs die Verbindung zwischen Pfahlkopf und Schwelle dementsprechend sicher einrichten, vergl. § 9.

Die Nagelung der Bohlen und die Stärke der Schwellen mufs dem auf sie kommenden Teile des Auftriebs unbedingt und unmittelbar widerstehen können. Im übrigen

---

[22]) Versuche über den Widerstand von Schraubenpfählen gegen Herausreifsen, von L. Brennecke, Zeitschr. f. Bauw. 1886, S. 449.

werden die graphischen Untersuchungen der steinernen Böden auch die Forderungen andeuten, welche bei hölzernen erfüllt werden müssen.

Handelt es sich um Bauwerke mit hölzernem Boden, aber gemauerten Seitenwänden, beide auf Pfahlrost stehend, so würde es — falls die Bodenverhältnisse ein starkes Nachgeben des Pfahlrostes unter den Seitenwänden befürchten liefsen — zweckmäfsiger sein, die Seitenwände vorher aufzumauern und erst nachträglich den hölzernen Boden zwischen denselben einzufügen. Dies setzt voraus, dafs die Schwellen nicht unter beide Seitenwände hindurchreichen, sondern dafs die Pfähle unter den Seitenwänden vorher für sich verholmt und mit Belag versehen werden und dafs die Schwellen der Sohle nachträglich genügend fest mit diesen Holmen verbunden werden, um gegen den Auftrieb ein Widerlager zu finden. Ist der Pfahlrost unter den Seitenwänden sicher genug, um gröfsere Setzungen auszuschliefsen, so wird man es vorziehen, die Schwellen über die ganze Breite durchzulegen, weil auf diese Weise die Arbeit sehr erleichtert und gröfsere Dichtheit erzielt wird. Kleinere Setzungen der Seitenwände sind bei hölzernen Böden wegen der grofsen Biegsamkeit, welche dieser Baustoff, namentlich im nassen Zustande, besitzt, weit weniger gefährlich als bei steinernen. Die Anzahl der Pfähle unter den Seitenwänden bestimmt sich nach dem zu tragenden Gewichte derselben, die Zahl der Pfähle unter der Sohle bei Schleusen ausschliefslich nach der Gröfse des aufzunehmenden Auftriebs.

Bei Trockendocks würde man dagegen bei den Böden noch auf das Gewicht der zu dockenden Schiffe im trockengelegten Dock, dem allerdings der Auftrieb entgegenwirkt, Rücksicht zu nehmen und bei sehr geringem Auftriebe in der Axe die Pfähle entsprechend dichter zu stellen haben.

Hölzerne Seitenwände sind wie Bohlwerke zu berechnen und wie diese gegen Erd- und Wasserdruck zu verankern.[23])

Für hölzerne Böden ohne Pfahlrost mit darauf befindlichen massiven Wänden ist noch zu bemerken, dafs es gewagt erscheint, die Balken, auch wenn sie unter die Seitenwände hindurch reichen, als eingespannt zu betrachten. Dagegen dürfte dies zulässig sein, wenn man die Köpfe der Balken durch kräftige Anker mit der Rückseite der Wände verankert. Dadurch gewinnen auch die Wände selbst bedeutend an Standsicherheit, vergl. § 10.

Ein grofser Erddruck gegen die massiven Wände auf Holzböden nützt den letzteren nichts, da die Verbindung der Wand mit dem Holz, selbst, wenn eine Verankerung vorhanden ist, dennoch keine so innige wird, dafs man Boden und Wand als einen Körper auffassen könnte. Bei solchen Bauausführungen ist also stets möglichst wenig durchlässiger Boden für die Hinterfüllung am geeignetsten. Noch mehr ist bei hölzernen Wänden ein möglichst geringer Erddruck erwünscht.

§ 7. Füllen und Leeren der Kammern. Spülvorrichtungen. Umläufe, Grundläufe, Einleitung des Wassers. Alle Kammerschleusen bedürfen gewisser verschliefsbarer Öffnungen zwischen Oberwasser und Kammer einerseits, sowie anderseits zwischen Kammer und Unterwasser, um nach Bedürfnis den Wasserstand in der Kammer mit dem Ober- bezw. Unterwasser auf ein und dieselbe Höhe zu bringen. Früher hatte

[23]) Näheres hierüber findet man in der Arbeit von Tellkampf: Erbauung des Hafenbollwerks am Bahnhofe zu Flensburg, Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1884, S. 110, ferner in derselben Zeitschrift 1893, S. 30: Die Berechnung der Standsicherheit der Bohlwerke, von L. Brennecke, desgl. im „Grundbau“ des Verfassers.

man hierfür nur zwei Anordnungen wesentlich verschiedener Art, die Schützöffnungen in den Thoren und die Umlaufkanäle in oder hinter den Seitenwänden. In neuerer Zeit ist — und zwar zuerst in Amerika — noch eine Abart der letzteren in Aufnahme gekommen, nämlich die Grundläufe in der Sohle des Bauwerks. Bei allen dreien mufs als Aufgabe gelten, dafs sie durchaus dicht verschliefsbar, sowie leicht und rasch zu öffnen und zu schliefsen sind und dafs sie nach der Öffnung dem Wasser mit möglichst wenig Hindernis den Durchgang gestatten. Die erste Forderung wird namentlich wichtig, wo mit dem Oberwasser gespart werden mufs, aufserdem bewirkt eine Undichtigkeit unter Umständen auch eine, wenngleich langsame, Abnutzung. Die anderen Forderungen sind um so wichtiger, je lebhafter der Verkehr, und stimmen in dieser Hinsicht mit den nach § 20 an die Bewegungsvorrichtungen der Thore gestellten Anforderungen überein. Ein Zeitgewinn von einer halben Minute bei dem einmaligen Durchschleusen kann die Zahl der an einem Tage passierenden Schiffe um einige derselben erhöhen. Es dürfen deshalb unter Umständen kostspieligere Einrichtungen nicht gescheut werden, wogegen manche selbst noch in neuerer Zeit ausgeführte Vorrichtungen verwerflich erscheinen. Hier und da bestehen nämlich bei gleich grofsen Schleusen in der Zeit für die Ausgleichung der Wasserstände Unterschiede von über fünf Minuten, welche lediglich der besseren oder schlechteren Einrichtung der Wassereinführung zuzuschreiben sind und welche die eine Schleuse doppelt so leistungsfähig machen als die andere.

Die Zeit für das gewöhnliche Füllen und Leeren der Schleusenkammer durch Thorschütze ergiebt sich:

$$T = \frac{A \,.\, H}{\mu \,.\, A_1 \,.\, \frac{1}{2}\sqrt{2\,g\,h}} = \frac{2\,A \,.\, \sqrt{h}}{\mu\, A_1 \sqrt{2\,g}}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad 12.$$

bei einer anfänglichen und schliefslich zu Null werdenden Druckhöhe h, also einer von $\sqrt{2\,g\,h}$ bis zu Null gleichmäfsig abnehmenden theoretischen Ausflufsgeschwindigkeit, wenn A die Oberfläche der Kammer, A_1 den Querschnitt der Schützöffnungen und μ den Ausflufskoefficienten (etwa $= 0{,}62$) bedeuten. Diese Zeit ist doppelt so grofs, als sie für die Füllung oder Leerung der Kammer bei einer gleich bleibenden Druckhöhe h sein würde. Die Schützöffnung ist unter Annahme einer bestimmten Zeit für das Füllen und Leeren und bei gegebenen Gröfsen für A und h zu berechnen.

Die obige Formel entspricht der Ausflufsgeschwindigkeit aus dünner Wand und ist daher für Umläufe nicht ohne weiteres richtig, sondern hängt bei solchen aufser von der Querschnittsform in hohem Grade von der Linienführung der Umläufe ab. In dieser Beziehung sind an der neuen Stadtschleuse zu Bromberg sehr lehrreiche Versuche gemacht worden. Diese Schleuse besitzt Schütze in den Unterthoren und aufserdem noch fünf Umläufe von gleichem Querschnitte (1,2 qm), welche teils durch Cylinderschütze, teils durch Drehschütze in Holz- oder Eisenrahmen geschlossen werden und die namentlich in Bezug auf ihre Linienführung sehr verschieden gestaltet sind. Es wurde nun bei den Versuchen die Kammer durch jede Vorrichtung allein entleert bezw. gefüllt, wobei jedoch das letzte halbe Meter bis zur völligen Ausgleichung der Wasserstände unberücksichtigt blieb. Die aus je drei Beobachtungen gemittelten Ergebnisse, auf gleichen Querschnitt der Öffnungen zurückgeführt und mit Zugrundelegung des bei jedem Kanale u. s. w. an der Stelle des Verschlusses vorhandenen kleinsten Querschnittes, waren folgende: In Prozenten ausgedrückt war die Wirksamkeit der Thorschützen 100, diejenige der Kanäle 93, 87, 84 und sogar nur 55. Den letztgenannten geringen Nutzeffekt zeigte ein Kanal, in welchem der Wasserstrom gezwungen ist, zweimal eine

scharfe Wendung von 90° zu machen.[24]) Je gerader die Führung, desto kürzer wird die Zeit zum Füllen oder Entleeren werden.

In obiger Formel wird man demnach für Umläufe den Wert von μ entsprechend kleiner annehmen müssen, denn für den ungünstigsten Kanal in Bromberg würde derselbe nach obigen Versuchen nur noch ungefähr $= 0{,}32$ betragen haben. Für eine genauere Berechnung empfiehlt es sich, den Umlaufkanal als ein Rohr zu betrachten und die Druckhöhenverluste nach den einschlägigen Formeln der Hydrodynamik zu berechnen, welche beim Durchströmen des Wassers durch Knierohre, Krümmlinge, Drosselklappen u. s. w. entstehen. Jedenfalls wird stets darauf Bedacht zu nehmen sein, aufser möglichst glatten Wänden auch möglichst sanfte Biegungen anzuordnen.

Es ist ferner zu bemerken, dafs die Druckhöhe h in obiger Formel die volle Spiegeldifferenz zwischen dem Ober- und Unterwasser ist, dafs also nicht etwa zeitweilig der ausfliefsende Wasserstrahl zum Teil in der freien Luft liegt; mit anderen Worten, obige Formel gilt nur, wenn die Austrittsöffnungen der Umläufe bezw. die Schützöffnungen in den Thoren sich ganz unter dem Unterwasser befinden.

Hinsichtlich der verwickelten theoretischen Betrachtungen, welche für die Berechnung aller einzelnen Umstände anzustellen sind, wenn, wie nach § 24, die lebendige Kraft des zum Fliefsen gebrachten Oberwassers oder des Wassers der Kammer benutzt werden soll, um eine Erhöhung oder Erniedrigung im Spiegel des aufnehmenden oder des abfliefsenden Behälters im Vergleich zu der betreffenden hydrostatischen Spiegelhöhe zu erzeugen, mufs auf die eingehenden Untersuchungen von Lagrené in dessen Cours de navigation intérieure, Bd. III, S. 128 u. ff., verwiesen werden.

Es hängt nun zwar gemäfs Obigem nach geschehener Verbindung der betreffenden Wasserflächen die Zeit der Ausspiegelung wesentlich von der Weite der sie verbindenden Öffnungen ab. Aber die Gröfse der Öffnungen darf auch nicht über ein gewisses Mafs gehen, wenn nicht zunächst die Schwierigkeit in der Konstruktion und in der Handhabung der Verschlufsvorrichtung, sodann aber auch die Bewegung des ein- und ausströmenden Wassers für die Schleuse und für die Schiffe zu grofs werden sollen. Je gröfser die Schütze in den Thoren oder die Umläufe in oder hinter den Seitenmauern, desto mehr werden diese wichtigen Konstruktionsteile geschwächt oder in ihrer Herstellung erschwert, und um so mehr Zeit wird zur Bewegung der Verschlufsvorrichtungen bei Annahme gleicher Arbeitskraft verbraucht. Für gewöhnliche, hölzerne Kanalschleusenthore wird es schwer halten, ohne Schwächung des ganzen Thores höhere Öffnungen als etwa von 0,5 bis 0,6 m herzustellen, während die Breite in konstruktiver Hinsicht weniger beschränkt ist, aber wegen der Handhabung nur bei besonderen Einrichtungen etwa über 1 m zu nehmen sein dürfte. Eine Vergröfserung der Gesamtöffnung der Schützen oder Umläufe des Oberhauptes über das Mafs von 1 qm bringt ferner bei etwa 2 bis 3 m Spiegeldifferenz in der Kammer einer gewöhnlichen Kanalschleuse schon eine sehr merkliche Wasserbewegung hervor, indem der aus jenen Öffnungen kommende Strahl sich nicht sofort dem gröfseren Querschnitte der Kammer entsprechend abschwächt, sondern seine lebendige Kraft nur sehr langsam durch die Reibung an den Wänden und an dem umgebenden Wasser verliert. Es werden aber durch den Stofs dieses Wasserstrahles, wenn er zu heftig ist, kleinere oder unbeladene Schiffe in der Kammer hin- und hergeworfen und dabei ihnen oder den Schleusenthoren Beschädigungen zugefügt. Aufser-

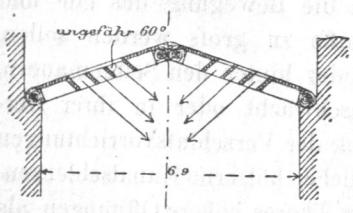
[24]) Zeitschr. f. Bauwesen 1890, S. 34: Lieckfeldt. Die Schützvorrichtungen der Stadtschleuse in Bromberg.

dem würden gröfsere Wassermassen leicht schädliche Erschütterungen an verschiedenen Konstruktionsteilen verursachen.

Aus der oben aufgestellten Formel $T = \frac{2\,A\,.\,\sqrt{h}}{\mu\,A_1\sqrt{2\,g}}$ ergiebt sich z. B. für eine Schleuse von 40 m Länge zwischen den Thoren und 6 m Breite, also einer Oberfläche $A = 240$ qm, und bei einem Gefälle h von 2 m, einer Gesamtweite der Schütze $A_1 = 1$ qm, unter Annahme des Ausfluſskoefficienten $\mu = 0{,}6$, die Zeit T zum Füllen oder Leeren = 245 Sekunden oder $4^1/_4$ Minuten. Während einerseits die Zeit von 4 bis 5 Minuten meistens nicht zu groſs ist, so würde andererseits bei der anfänglichen Ausfluſsgeschwindigkeit von etwa 6 m, die nach obigen Annahmen zu Anfang ausflieſsende Wassermenge von etwa 3 bis 4 cbm nicht wesentlich vergröſsert werden dürfen, um nicht die Schiffe zu belästigen oder zu gefährden. Daſs die Querschnittsgröſse der Öffnungen mit der Oberflächengröſse der Schleuse im einfachen Verhältnisse wachsen muſs, um unter Annahme gleicher Werte für h und μ eine gleiche Zeitdauer zu erhalten, geht zwar aus der Formel hervor. Diese Zunahme ist aber mit Rücksicht auf die Wasserbewegung in der Kammer nicht im vollen Maſse zulässig, weil der Stoſs des Wasserstrahls mit seiner Masse wächst und, wie oben erwähnt, nicht im umgekehrten Verhältnisse zur Kammergröſse steht. Da indessen die Gröſse der Schiffe im allgemeinen mit der Schleusengröſse wächst und das gröſsere Schiff auch einen heftigeren Stoſs ertragen kann, so kann annähernd jenes Verhältnis zwischen Schleusengröſse und Schützöffnung als ein ziemlich konstantes zwischen 1 : 200 bis 1 : 250 empfohlen werden. In einzelnen Fällen darf zur Vermeidung einer zu heftigen Bewegung die Schützöffnung anfangs nur zum Teil frei gemacht werden.

Bei dieser Gelegenheit sei auf eine Anordnung aufmerksam gemacht, welche wohl geeignet ist, den Stoſs des Wassers beim Eintritt durch Thorschützen zu mäſsigen und dadurch eine ruhigere Lage der Schiffe zu sichern. Dieselbe ist zu Löveid in Norwegen bei vier Schleusen angewendet und hat sich seit einer Reihe von Jahren bewährt. Es sind dort hinter den Schützen nach dem Innern der Kammer zu Leitschaufeln angebracht, wie Fig. 37 zeigt, durch die das Wasser, welches die gezogenen Schütze der beiden Thorflügel liefern, nach der Schleusenaxe zu so gegeneinander geleitet wird, daſs sich die beiden Wasserströme ungefähr unter rechtem Winkel treffen. Die Schleusenkammern sind dort 37,5 m lang und 6,9 m breit, jedes Schütz (in jedem Thore eins) 1,6 m lang und 0,3 m hoch. Durch diese Anordnung wird allerdings die Einströmungsgeschwindigkeit und damit die Füllungszeit etwas beeinträchtigt.

Fig. 37.



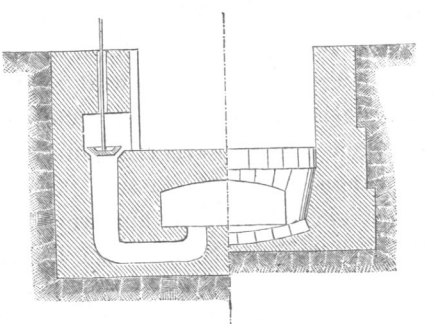
Es fragt sich sodann, welche Art von Öffnung, ob Thorschütze, Umläufe oder Grundläufe zu wählen sei. Alle drei haben ihre eigentümlichen Vorzüge, die jedoch von verschiedenen Umständen abhängig sind. Im allgemeinen sind die Thorschütze billiger, weil bei den Umläufen und Grundläufen zu den Verschluſsvorrichtungen noch die Herstellung mit besonderer Sorgfalt auszuführender Kanäle hinzukommt. Bei mangelhaft ausgeführten Umläufen und Grundläufen geben diese zu einer raschen Zerstörung des Mauerwerkes Veranlassung, indem das Wasser mit einer Geschwindigkeit von einigen Metern flieſst.[25]) Eine Reparatur in den Kanälen ist, wenn nicht die ganze Schleuse trocken gelegt wird, nur mit groſsen Schwierigkeiten zu beschaffen. Wenn also keine Vorteile für den Betrieb erreicht werden, so ist der Kosten wegen unbedingt von Umläufen und Grundläufen abzusehen. Dies geschieht auch in der Regel an den

[25]) Um das Mauerwerk möglichst wenig zu schwächen oder anzugreifen, hat man, besonders in England, oft die Umläufe aus eisernen Röhren gebildet, wovon F. 16 bis 28, T. VII, sowie Fig. 78, § 13 Beispiele geben.

Unterhäuptern der Kanalschleusen mit Ausnahme bei einigen im § 24 beschriebenen Schleusen, wobei die Umläufe noch zu anderen Zwecken als dem bloſsen Füllen und Leeren der Kammer angelegt sind. Bei vielen Seeschleusen dagegen, bei denen die Umlaufkanäle mit geeigneten Abzweigungen zugleich zur Spülung der Thorkammer und Vorschleuse (siehe weiter unten) dienen, wie z. B. bei der Harburger und Geestemünder Schleuse (Tafel V und VII), wobei das Aufsenhaupt während der längsten Zeit als Unterhaupt gilt, sind die Umläufe schon wegen des gedachten Zweckes notwendig und alsdann mit besonders groſsen Querschnitten auszuführen.

Wo aber nur das Füllen der Kammer in Frage kommt, sind bei den Oberhäuptern der Kanalschleusen in der Regel die Umläufe den Thorschützen vorzuziehen und zwar zunächst dann, wenn die letzteren eine zu groſse Schwächung der niedrigeren und zur Versackung geneigteren Oberthore herbeiführen würden und wenn man bei den Thorschützen nicht den ganzen Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser als Druckhöhe voll ausnutzen kann. Dies ist der Fall, wenn das Unterwasser niedriger liegt als die Schützöffnung im Anfange des Durchfliefsens. Hierbei tritt dann noch für niedrige oder tiefbeladene Kanalschiffe die Gefahr ein, daſs das Wasser aus der Schützöffnung in das Schiff stürzt. Man kann zwar zur Vermeidung dieser Mängel mit einigen Mehrkosten das Oberthor so tief hinabführen, daſs die Schützöffnung stets unter dem Unterwasser liegt, wobei aufserdem gegen das Versacken eine günstigere Thorform erreicht wird, vergl. § 15. Es bleibt aber immer bei den Thorschützen im Oberhaupt der Mangel, daſs bei nicht genügender Befestigung die Schiffe durch den ausfliefsenden Wasserstrahl in ihrer Längenrichtung stark gegen das Unterthor getrieben werden. Diese sämtlichen Übelstände werden durch seitliche, aber symmetrisch liegende Umläufe vermieden, welche, wie z. B. bei Fig. 73 bis 75, § 13 und bei F. 9, T. VI, dicht über dem Thorkammerboden oder, wie in F. 11, T. VI, in der dem Oberwasser zugekehrten Frontmauer des Oberhauptes beginnen und möglichst tief über dem Boden der Kammer wieder ausmünden. Werden solche Umläufe gleichzeitig geöffnet, so vernichten sich die beiden Wasserstrahlen nahezu unschädlich für die ruhige Lage des Schiffes und es darf alsdann den Querschnitten ohne Nachteil eine gröfsere Weite gegeben werden, als etwaigen Thorschützen. Offenbar wird auch das Gefälle des Wassers für die Ausflufsgeschwindigkeit voll benutzt, wobei freilich durch die Richtungsänderungen des Umlaufkanals wieder ein gewisser Verlust entsteht. Die schon bei einigen älteren Schleusen nach Fig. 38, sowie auch neuerdings bei den Schleusen des Marne-Saône-Kanals nach F. 15 u. 16, T. V gewählte Anordnung, daſs die Mündungen der Umlaufkanäle sich in dem Abfallboden vereinigen, vermeidet nur durch die bedeutende Weite der Ausflufsöffnung an ihrem Ende einen starken Stofs des ausfliefsenden Wassers. Wenn zu demselben Zwecke die Umlaufkanäle wie in Fig. 38 erst bis unter den Boden der Kammer und dann wieder senkrecht aufwärts geführt sind, so wird der dadurch erzielte Gewinn an Beruhigung des ausfliefsenden Wassers durch Geschwindigkeitsverluste infolge mehrmaliger Richtungsänderungen wieder aufgewogen, daher ist eine solche konstruktiv schwierige Anordnung nicht zu empfehlen.

Fig. 38.



Weit einfacher wird Beruhigung des Wassers bei den Oberhäuptern einiger Schleusen mit Klappthoren erreicht. Bei denjenigen des Erie-Kanals liegen die Dreh-

schützen im Thorkammerboden vor dem Thore, sodafs sie von dem geöffneten Thore überdeckt und gegen Beschädigungen durch darüber hinfahrende Schiffe geschützt werden. Zwischen Thor und Boden ist aber Spielraum genug, um auch bei geöffnetem Thore die Schütze öffnen zu können. Der ganze Thorkammerboden einschliefslich der horizontalen Wendeschwelle für das Thor besteht aus Holz und liegt 2,46 m über dem bis zu einer Quermauer von 1,52 m Breite und 3,13 m Höhe durchgehenden Boden der Schleusenkammer. Der Hohlraum unter dem Boden, in welchem die Schütze sich befinden, steht mit der Schleusenkammer in offener Verbindung, indem hier nur einige Ständer, welche die Wendeschwelle tragen, eine im übrigen offene Wand bilden (vergl. § 21). Bei dieser Anordnung wird der Stofs des durch die Schütze fliefsenden Wassers infolge der Richtungsänderung, namentlich aber infolge der grofsen Profilerweiterung sehr abgeschwächt, bevor er die Schiffe trifft. — Einige Schleusen des Oder-Spree-Kanals zeigen dieselbe Anordnung, jedoch besteht bei denselben die Wendeschwelle aus Werksteinen, welche auf einem grofsen von Schleusenwand zu Schleusenwand reichenden Stichbogen ruhen. Nur der Teil des Bodens, welcher die Drehschütze enthält, besteht aus Holz, vergl. F. 21 bis 23, T. X.

Wichtig ist es für die Wirkung aller Umläufe, dafs keine Luft mit in den Kanal treten und sich an einer geeigneten Stelle festsetzen kann, weil dadurch der Durchflufs erheblich vermindert wird. Es ist deshalb am besten, den Umlauf nur an dem oberen Endpunkte durch eine frei vor der Seitenwand liegende Verschlufsvorrichtung oder wenigstens so zu verschliefsen, dafs hinter dieser Vorrichtung keine Luft in den Kanal treten kann.

Grundläufe. Die beiden zuletzt genannten Konstruktionen, bei denen der Schleusen- bezw. Thorkammerboden bereits teilweise zur Aufnahme der Kanäle dient, bilden den Übergang zu den Grundläufen, bei welchen der Kanal ganz in der Sohle liegt. Die Grundläufe haben weit weniger Krümmungen als der Umlauf Fig. 38 und schwächen daher die Wassergeschwindigkeit weit weniger ab. Da der Eintritt des Wassers aber bei ihnen in der Richtung von unten nach oben erfolgt, also den Boden des Schiffes trifft, so ist diese Anordnung trotzdem die günstigste in Bezug auf die ruhige Lage der Schiffe. Nichtsdestoweniger wird die Anwendung der Grundläufe nur eine beschränkte sein können, da ihre Herstellung bei vielen Bauverhältnissen zu schwierig sein würde. Empfehlenswert sind dieselben bei gemauerten Sohlen, wenn das Bauwerk auf Fels- oder Thonboden steht, bei dem die ganze Ausführung bequem im Trocknen erfolgen kann. Ferner allenfalls für hölzerne Böden, bei ebenfalls geringem Wasserzudrange, während sie sich für Betonböden, die unter Wasser hergestellt werden, von selbst verbieten, nicht nur wegen der schwierigen Herstellung, sondern auch wegen der Schwächung der Sohle. Ein Luftzutritt ist bei Grundläufen nicht zu befürchten.

In Bezug auf die Form des Querschnittes der Grundläufe und Umläufe ist zu bemerken, dafs ein kreisförmiger Querschnitt, welcher bekanntlich den gröfsten Inhalt bei geringstem Umfange bietet, bei gleichem Flächeninhalte und gleicher Druckhöhe die gröfste Wassermenge liefern müfste. Indessen wird der bequemeren Ausführung halber häufig von der Kreisform abgewichen. Man findet meistenteils andere Formen: eiförmige, elliptische, rechteckige mit oberem Halbkreis- oder Stichbogen, auch solche, welche in anderer Weise zusammengesetzt sind, wie z. B. bei den Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals, T. XII, F. 2—5.

Im allgemeinen wird man grofse Umläufe höher als breit zu gestalten suchen, um die Stärke der Seitenwände nicht unnötig zu vermehren, grofse Grundläufe dagegen umgekehrt, um an Fundierungstiefe zu sparen.

Wenn die Querschnitte der Umläufe und Grundläufe so grofs werden, dafs eine zu grofse Beunruhigung der in der Schleusenkammer liegenden Schiffe eintreten würde, falls man die ganze Wassermenge durch eine Öffnung in die Schleusenkammer einführte, so versieht man den Hauptkanal mit einer gröfseren Anzahl in die Schleusenkammer einmündender Stichkanäle. Die Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals besitzen z. B. nicht weniger als 24 Stichkanäle für jede Kammer.

Die Stichkanäle der Umläufe läfst man möglichst unmittelbar über der Kammersohle und — wenn in beiden Seitenwänden Umläufe vorhanden sind — einander gegenüber münden, ersteres, um den Strom des eintretenden Wassers möglichst unter dem Schiffsboden zu haben, letzteres, damit die aus zwei einander gegenüber liegenden Stichkanälen austretenden Strömungen sich gegenseitig vernichten. Es ist ferner nützlich, den Gesamtquerschnitt der Stichkanäle eines Umlaufs erheblich gröfser anzuordnen, als den Querschnitt des Umlaufs selbst, damit die Austrittsgeschwindigkeit verringert werde.

Ein besonders sanftes Austreten des Wassers hat man an den Schleusen des Kanals St. Denis beobachtet. In der Mittelmauer der Zwillingsschleuse befinden sich drei Kanäle, ein oberer und zwei untere (Fig. 39). Der obere von 2,9 m Höhe und 1,6 m Weite geht unmittelbar von der oberen Haltung aus und kann jederzeit mit jedem der beiden unteren von 1,95 m Höhe und 1,1 m Weite, die je eine der Schleusen bedienen, durch Cylinderschütze in Verbindung gesetzt werden. Der obere Kanal kann aber auch durch ein weiteres Schütz unmittelbar mit dem Unterwasser in Verbindung treten, um die untere Haltung mit Umgehung der Schleusen aus der oberen zu speisen. Von den unteren Kanälen steht der eine durch 13 Stichkanäle mit der gröfseren, der andere durch 11 mit der kleineren in Verbindung. Diese Stichkanäle bestehen aus Thonrohren (Fig. 40), die in den Schleusenboden versenkt sind (Fig. 39) und sich, nach oben offen, abwechselnd bis 1 m von der Mittelmauer bezw. über die Schleusenmitte hinweg bis 1 m von der Seitenmauer erstrecken.[26]) Ähnlich sind die Grundläufe der Schleusen der Kanalisierung der Oder zwischen Cosel und der Neifse-Mündung angeordnet.

Fig. 39 u. 40. *Schleusen des Kanals St. Denis.*

Fig. 39.

Schnitt durch die Kammern. M. 0,004.

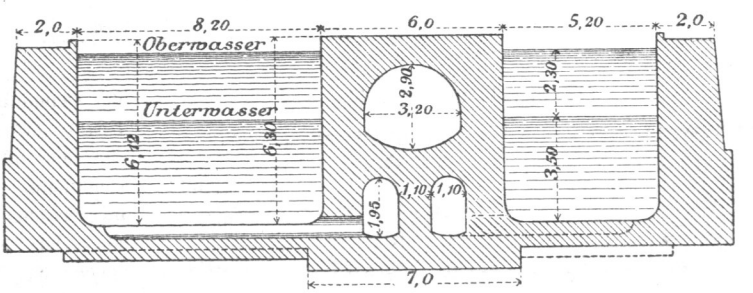
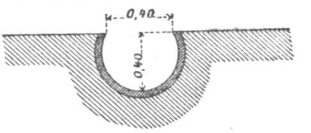


Fig. 40.

Schnitt durch einen Stichkanal. M. 0,02.



Noch gleichmäfsiger verteilt sich das Wasser bei den Grundläufen des St. Mary-Falls-Kanals in Nordamerika, welche durch die Figuren 41 bis 44 dargestellt sind. Die Schleuse ist hier unmittelbar auf Felsen gegründet, nur eine teilweise Beton-Auffüllung von 0,15 bis 0,60 m Stärke war zur Gründung der Seitenmauern und zur Herstellung des Schleusenbodens erforderlich. So ruhen die Grundläufe in fester Beton-Einbettung unmittelbar auf dem Felsen auf. Der Boden der Schleuse und der Grundläufe wurde aus Querschwellen mit doppelter Bohlenbekleidung hergestellt, während die Seitenwände der letzteren aus mehreren Schichten fest verbolzter Langhölzer bestehen. Die Sohle der Schleusenkammer bildet die Decke

[26]) Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 255.

Fig. 41 bis 44. *Schleuse des St. Mary-Falls-Kanals (Nord-Amerika).*

Fig. 41.

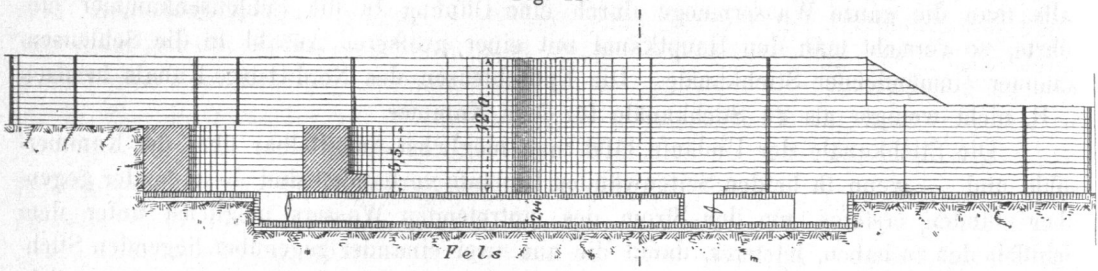


Fig. 42.

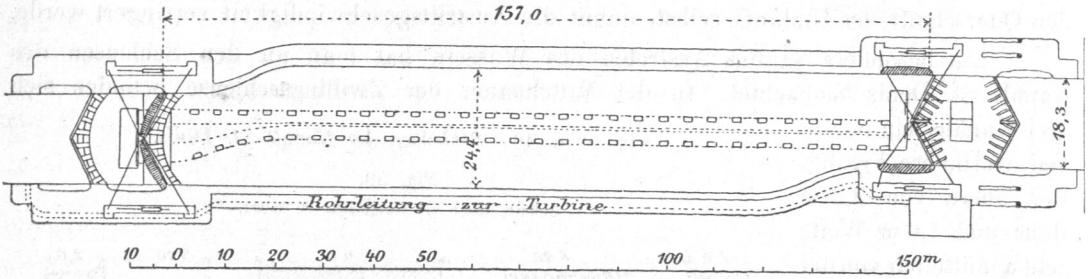
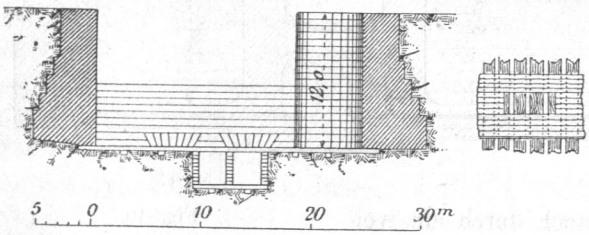


Fig. 43 und Fig. 44.



der Grundläufe, doch hat man die 15 cm breiten Zwischenräume zwischen den Querschwellen durch Bohlen ausgefüllt. Die Grundläufe sind 2,44 m breit und hoch und werden durch Drehschützen geschlossen. Die 58 Öffnungen in der Decke, welche das Wasser in die Kammer treten lassen, sind in gleichen Abständen verteilt und dadurch hergestellt worden, dafs der doppelte Bohlenbelag des Schleusenbodens (Fig. 43) auf 0,61 m Breite und 1,37 m Länge in Fortfall kam. Dadurch wurden drei Zwischenräume der Schleusenschwellen aufgedeckt, sodafs jede Öffnung aus drei Einzelöffnungen von 15 cm Breite und 61 cm Länge besteht. Alle Öffnungen zusammen bilden einen Querschnitt von nahezu 16,2 qm und mit Hinzurechnung der Mannlöcher an den Enden von 17,7 qm, während der lichte Querschnitt der beiden Grundläufe nur 11,9 qm beträgt.[27]) Für dieselbe Seeverbindung sind gegenwärtig (1894) noch zwei gröfsere Schleusen mit Grundläufen gleicher Ausführungsweise im Bau.

Die seiner Zeit geplanten Schleusen des Panama-Kanals von 11 m Gefälle sollten ebenfalls Grundläufe erhalten. Dieselben wollte man aus je zwei eisernen Rohren von 2,8 m Weite herstellen, die in den Felsen der Sohle längs der Seitenwände eingelassen werden sollten. Die Rohre gingen unter den Drempeln des Ober- und Unterhauptes hindurch und bogen aufserhalb der Kammer nach den Seitenwänden um, in denen sie in Nischen mit einem Knie nach oben endeten und durch Ventile verschlossen werden sollten. Für den Ein- und Austritt des Wassers enthielt jeder dieser Grundläufe auf die ganze Kammerlänge verteilt 56 Öffnungen von 0,4 m Weite. Der Querschnitt der beiden Grundläufe betrug danach zusammen 12,3 qm, der Querschnitt der Ausströmungsöffnungen 14 qm.[28])

Als Nachteil der Grundläufe mufs die Gefahr der Hinter- und Unterspülung, sowie die Gefahr der Versandung hervorgehoben werden. Um letzterem Nachteile entgegenzutreten, ist es vorteilhafter, die Entleerung der Schleusen nicht — wie bei den

[27]) Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 37.

[28]) De ingenieur 1888, S. 160 u. f. Mit Abbildungen.

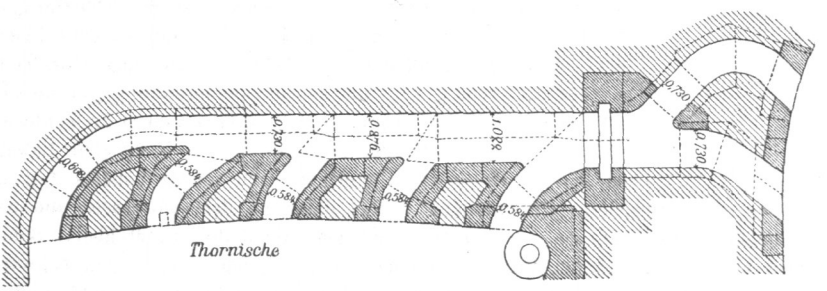
Schleusen des St. Mary-Falls-Kanals — durch eine besondere Grundlaufgrube vor den Unterthoren, sondern, wie bei den Schleusen des Panama-Kanals angenommen war, durch die Grundläufe selbst vorzunehmen, um diese jedesmal dadurch zu spülen. Hierdurch wird auch das Drängen der Schiffe nach den Unterthoren beim Ablassen des Wassers vermieden werden. Immerhin ist bei geeignetem Baugrunde in den Grundläufen ein Mittel gegeben, grofse Schleusen mit grofsem Gefälle in der ruhigsten und schnellsten Weise zu füllen.

Spülvorrichtungen. Während für das Füllen der Schleusen ein möglichst sanfter Austritt des Wassers wünschenswert ist, erfordern die Spülvorrichtungen möglichst kräftige Strömungen. Für diese darf daher die Summe der Stichkanal-Querschnitte niemals gröfser sein, als der Querschnitt des zuführenden Hauptkanals. Dagegen ist es nützlich, den Hauptkanal möglichst weit zu machen. Das Wasser mufs aus den Stichkanälen in solcher Richtung austreten und diese müssen so angeordnet sein, dafs das gesamte Wasser die zu spülende Bodenfläche bestreicht. Es würde daher fehlerhaft sein, die Stichkanäle höher als breit zu machen, da die oberen Wasserschichten alsdann den Boden nicht treffen würden. Wenn das austretende Wasser eine drehende Bewegung hat, so ist dies als vorteilhaft für die Lösung des Schlammes vom Boden zu bezeichnen.

Es lassen sich, wenn man von den nur zu Spülzwecken erbauten Schleusen hier absieht, die zwei Hauptfälle unterscheiden, dafs die Spülvorrichtung nur zur Reinhaltung der Schleusenböden dienen soll oder dafs sie auch zur Beseitigung der Ablagerungen in dem Fahrwasser bestimmt ist.

Als Beispiel einer nur die Beseitigung der Schlickablagerungen in der Thorkammer und in dem vorderen Teil des Vorhafens bezweckenden Spülvorrichtung dient Fig. 45 (Dockschleuse zu Leer). Die Abbildung zeigt den Grundrifs der in dem Mauerwerk angelegten Spülkanäle, wobei der Schnitt dicht über dem horizontalen Boden derselben genommen ist. Der Thorzapfen und die Wendenische lassen die Lage der 16,8 m weiten Schleuse erkennen. Es münden danach je zwei Arme der Spülkanäle nach aufsen in den sich allmählich auf 52 m erweiternden und 64 m langen Vorhafen, während auf der Binnenseite in jeder Thornische der Hauptkanal sich in fünf je 0,584 m weite Spülkanäle verzweigt. Der Hauptkanal nimmt nach den Enden wie an Weite so auch an Höhe ab, indem die Decken der Zweigkanäle sich der Weite entsprechend senken. Die Durchflufsöffnung jedes Hauptkanals beträgt am Schütz 1,7 qm, der fünf inneren Zweigkanäle zusammen etwa ebenso viel und der zwei äufseren Kanäle zusammen nur 1,55 qm, um die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers nach dem Vorhafen hin noch etwas zu vermehren. Die Spülung geschieht von innen nach aufsen, wobei jedoch in der innen liegenden Thorkammer der Schlick angesogen wird, wenigstens in der Nähe der Thornische, in welcher die Ablagerung besonders unbequem für die Bewegung der Thore sein würde. Die nach aufsen mündenden Kanäle lassen ihre Spülströme nach der Mitte des Vorhafens zusammentreffen. Die Spülkanäle sind zur Verhütung von Verstopfungen

Fig. 45. *Spülkanäle der Schleuse des Hafens bei Leer.* M. 0,007 (1:144).

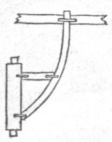


aufsen mit kleinen, während der Spülung zu entfernenden Gittern, innen jedoch nur mit je zwei festen Eisenstäben versehen.

Etwas mehr verwickelt ist die Spülanlage bei einer Kammerschleuse, wie z. B. bei der Geestemünder Schleuse, s. F. 11 bis 15, T. VII. Dort ist in der ganzen Länge der Schleuse zu beiden Seiten ein in der Sohle in Quaderwerk, darüber in Klinkern gemauerter Kanal von 1,17 m Breite und 2,34 m Höhe angelegt, welcher an der Seite des Hafenbeckens geradlinig und ohne Verzweigung, dagegen an der Vorhafenseite nach einer Verzweigung in fünf kleinere Kanäle mündet. Dicht vor den beiden Enden liegt ein gufseisernes, in eisernen Falzen laufendes Zugschütz. Es kann also bei niedrigem Aufsenwasser zunächst der Vorhafen mit dem annähernd auf gewöhnlicher Fluthöhe stehenden Bassinwasser gespült werden. Um aber auch die Thorkammern der zwei Ebbethore und des äufseren Flutthores spülen zu können, befindet sich zwischen dem Hauptkanal und jeder Thorkammer eine seitliche, durch ein Schütz verschliefsbare Öffnung von fast gleichem Querschnitt wie im Hauptkanal, hinter welcher sich parallel zur Linie der Thornische ein nach den Enden an Querschnitt abnehmender Kanal ausbildet und mit sechs Öffnungen in der Thorkammer ausmündet. Durch geeignete Stellung sämtlicher Schützen läfst sich der Spülstrom aus jeder Ebbethorkammer in den Hauptkanal und damit in den Vorhafen oder auch in die Flutthorkammer leiten; es könnte sogar bei geöffnetem Flutthor und äufserem Ebbethor auch der Spülstrom von der inneren Ebbethorkammer oder direkt von dem Hafenbecken her in die äufsere Ebbethorkammer geleitet werden. Die Schlickablagerung in den Thorkammern und dem oberen Teil des Vorhafens wird auf diese Weise leicht beseitigt, ehe sie der Schiffahrt und der Bewegung der Thore hinderlich werden kann. In dem vorderen oder unteren Teile des gekrümmten Vorhafens (vergl. Fig. 4 des XIII. Kapitels, S. 7) mufs jedoch aufserdem häufig gebaggert werden. Zur Spülung der Schleusenkammer und Drempel sind die Ebbethore in jedem Flügel mit zwei Schützen von zusammen 1,79 qm Querschnitt versehen, wodurch bei der gewöhnlichen Druckhöhe von etwa 3 m eine genügende Spülung erfolgt. Zur Freihaltung verschlickender oder versandender längerer Aufsenfahrwasser genügen übrigens derartige Spüleinrichtungen keineswegs.

Als ein Beispiel, wo eine zur Schiffahrt und zur Abwässerung dienende Seeschleuse zugleich mit grofsen Spüleinrichtungen versehen ist, um das dem Schlickfall ausgesetzte Aufsenfahrwasser einigermafsen zu spülen, dient die F. 21, T. VII angedeutete Schutzschleuse bei Emden. Das Spülen geschah bis zur Erbauung der Kammerschleuse durch Einlassen von mäfsigen Springfluten bis zu 1,25 m über gewöhnlichem Hochwasser durch möglichst grofse Öffnungen in den Ebbethoren. Diese Öffnungen waren mit sogenannten Spindelthoren verschlossen. Man versteht hierunter grofse Tafeln oder Flügel mit einer vertikalen, die Fläche in zwei ungleiche Teile zerlegenden Drehaxe; das Nähere ergiebt § 23. Um solche Spindelthore gegen den Überdruck der gröfseren Hälfte zuzuhalten, bedient man sich meistens eines dreieckförmigen, in Fig. 46 dargestellten, an der Wendesäule des Hauptthores befestigten Rahmens, von welchem nach oben bis zur Höhe des Hauptthores ein langer beliebig fest zu schliefsender und zu lösender Arm aufsteigt. Der Rahmen drückt dabei an der Aufsenseite die gröfste nach dorthin aufschlagende Flügelhälfte zu, ist aber selbst um eine vertikale Axe drehbar. Sobald also der obere Arm gelöst wird, dreht sich der Rahmen und danach das Spindelthor. — Auf Einzelheiten ist um so weniger einzugehen, als die fragliche Konstruktion die Thore betrifft und sich nicht sonderlich bewährt hat.

Fig. 46.



Von den Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals sind nur die Schleusen an der Elbe, Tafel XI und XII, mit Spülvorrichtungen versehen, da das Wasser der Ostsee schlickfrei ist. Da genannter Kanal gleichzeitig zur Entwässerung der angrenzenden Ländereien dient, und dies Wasser bei jeder gewöhnlichen Tide in einer Menge von 3 bis 4 Millionen Kubikmetern mit einer zu 1,5 m berechneten Geschwindigkeit durch die genannten Schleusen abgelassen werden soll, so hofft man, im Vorhafen den während der Flut gefallenen Schlick durch diese Strömung wieder zu beseitigen und dem Strome zuzuführen.

§ 8. Gestaltung und Material der steinernen Böden. Wenn zwischen steinernen und hölzernen Böden unterschieden wird, so mufs die Unterscheidung davon ausgehen, ob die wesentlichsten Konstruktionsteile Stein oder Holz sind. Es müssen daher die auf Pfahlrost ruhenden gewölbten Böden zu den steinernen gerechnet werden, während die mit Steinen zwischen starken Balken ausgemauerten Böden als hölzerne gelten.

In diesem Paragraphen ist übrigens nur die Form und das Material der steinernen Böden zu besprechen; die Herstellungsweise wird nur in soweit berührt werden, als dies für das Verständnis notwendig ist. Einzelheiten über die Herstellungsweise und zwar namentlich einige für Schleusen eigentümliche Gründungsarten werden in § 12 mitgeteilt werden.

Seit einigen Jahrzehnten ist die Anordnung der steinernen Böden mannigfaltiger, sowie ihre Anwendung häufiger geworden. Sie haben namentlich für gröfsere Schleusen in vielen Fällen die Holzböden verdrängt, seitdem man gelernt hat mit Hilfe maschineller Einrichtungen grofse Betonmassen schnell herzustellen und zu versenken.

Zur Anwendung kommen steinerne Böden bei kleineren Schleusen, wenn der feste Untergrund nicht viel unter der Schleusentiefe liegt und bei grofsen in demselben Falle oder wenn die mit einem Holzboden verknüpfte Bauweise zu umständlich und zu unsicher scheint. Dagegen bedarf der ganz oder teilweise aus Beton bestehende Steinboden auch einer nicht zu tiefen Lage des festen Untergrundes, damit weder die Betonschicht zu dick und zu kostspielig wird, noch der Schleusenboden durch den Druck der Seitenmauern in Gefahr kommt, zu brechen oder zu sacken. Wo der feste Untergrund zu tief liegt, hat man in neuerer Zeit zur Herstellung steinerner Böden, hauptsächlich freilich unter den Seitenmauern mitunter Senkbrunnen angewandt. Noch sicherer führt die in § 12 mitgeteilte Prefsluftgründung mit nachträglich eingesetzter Sohlenmitte in solchem Falle zum Ziel, vergl. § 6.

Trotz verschiedener Herstellungsweisen sind die Einzelheiten der steinernen Böden doch im allgemeinen weit einfacher als die der Holzböden, sie haben ferner gewisse gemeinsame Eigentümlichkeiten, die nur ausnahmsweise wegfallen. So wird bei Seeschleusen die Oberfläche des Bodens soweit thunlich durch ein verkehrtes Gewölbe gebildet, für welches die Seitenmauern die Widerlager abgeben. Es wird dadurch eine bedeutend gröfsere Stabilität der Mauern gewonnen. Dieselben können unter gleichem Materialaufwand gar nicht vorteilhafter, oder bei kleinstem Materialverbrauch nicht stabiler gebildet werden, als mit einem sich gegen ihren Fufs stützenden verkehrten Gewölbe. Man sucht aus diesem Grunde auch die Gewölbekämpfer so hoch als möglich hinaufzuziehen, soweit es eben die Rücksicht auf die Form der Schiffe gestattet. Fast allgemein steht man jedoch in den Thorkammerböden von einer Wölbung ab, weil es bei den meisten Thorflügeln zu ungünstig sein würde, sie mit einer tiefreichenden Schlagsäule und einer kurzen Wendesäule zu gestalten. Die Versackung des Flügels würde dadurch erheblich befördert. Für Schwimmthore (vergl. § 19) fällt allerdings dieser Grund zum Teile fort, jedoch bleibt auch bei diesen ein Bestreben zur Formveränderung. Dazu kommt, dafs die Konstruktion eines gewölbten Thorkammerbodens sehr umständlich ist, und dafs in der Nähe des Vorbodens eine Wölbung doch fast unmöglich wird. Das einzige Beispiel eines gewölbten Thorkammerbodens befindet sich, soweit bekannt, in dem Great Western Dock zu Plymouth, s. Zeitschr. des Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover, Bd. VII.

Es wird daher fast stets in den Thorkammerböden, welche ohnehin um die Breite der Thornischen weiter sind als die anderen Teile des Schleusenbodens, eine besondere Verstärkung des Bodens nach unten hin gesucht werden müssen, welche aber gerade bei Steinböden meistens sehr viel leichter und günstiger zu erreichen ist als bei Holzböden.

In ähnlicher Weise kann man, mit Ausnahme der auf Pfahlrost ruhenden Böden, nach der Mittellinie der Schleuse hin den Boden unten verstärken, weil bei Anwendung der Bogenform ohnehin nach den Seiten hin meist ein Übermafs der Stärke vorhanden

ist. Diese Art der Verstärkung des Bodens entspricht vollkommen den Anforderungen, welche, wie in § 6 gezeigt wurde, die Theorie stellt.

Bei Flufs- und Kanalschleusen ist man der Gestaltung der betreffenden Schiffe wegen für die Häupter auf eine horizontale Begrenzung sämtlicher Teile des Bodens angewiesen, bei den Kammerböden ist jedoch die Bogenform nicht ausgeschlossen, vergl. F. 3 und 14, T. VI.

Um die Steinböden in genauer Form herzustellen und zu erhalten ist es zweckmäfsig, wenn auch im übrigen Klinkermauerwerk oder nur der nackte Beton zur Verwendung kommt, alle vorspringenden Kanten und Flächen, wie z. B. namentlich die Drempel, den etwaigen Abfallboden, die Begrenzung der Vorböden gegen die Thorkammerböden u. s. w. aus vorzüglich guten Quadern herzustellen, welche zur Verhütung von Verschiebung (oft in übertriebener Weise) wohl mit horizontaler Wölbung als Keilsteine gebildet oder auch mit Verschränkung versehen werden.

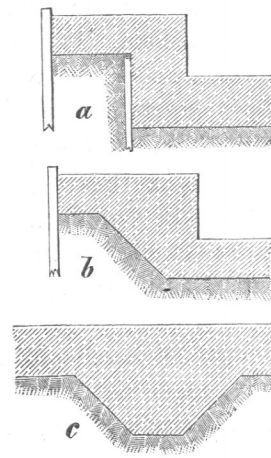
Spundwände. Ein wesentlicher Unterschied der Steinböden gegen die Holzböden besteht in der Anbringung der Spundwände. Während, trotz aller Vorsicht in der Konstruktion und Ausführung, der Holzboden zur Sicherheit nicht als absolut dicht angenommen werden darf und deshalb an jeder Stelle, wo darüber eine ungleiche Wasserhöhe vorkommt, mit einer Querspundwand versehen werden mufs, kann ein völlig zusammenhängender und mit Sorgfalt aus Mauerwerk oder Beton in genügender Dicke gebildeter Boden als wasserdicht gegen die vorkommenden Wasserdrücke angesehen werden. Es ist in diesem Falle also nicht nötig, mehrere Spundwände unter dem Boden anzubringen und ist dies um so willkommener, als solche unter dem Boden liegende Wände nur um ein geringes Mafs in den Boden von unten eingreifen dürfen, also stets schwierig herzustellen sind. Bei Betonierung insbesondere würde es ein grofser Fehler sein, die Querspundwände durch den Beton hindurchgehen zu lassen, weil daselbst unfehlbar starke Quellen entstehen müfsten. Es mufs daher als unzweckmäfsig bezeichnet werden, dafs bei den älteren Nordsee-Kanal-Schleusen bei Ymuiden (F. 1 bis 3, T. VII) die unter den Drempeln liegenden Querspundwände ganz bis zur Höhe der Übermauerung und bei der Geestemünder Schleuse (F. 10, daselbst) verschiedene Querspundwände wenigstens bis zu etwa der halben Betondicke reichen.[29]) In dem ersteren Falle wird das sich unter dem Betonbette befindliche, bei hohen Fluten stark gepreſste Grundwasser an der genannten Spundwand hinaufziehen und danach die zwischen Beton und Mauerwerk befindliche Fuge zu verfolgen suchen. Dafs solche Fugen wirklich vorkommen, beweist, dafs in einem Trockendock zu Wilhelmshaven das reichlich so dicke und mit starken Quadern bedeckte Mauerwerk von dem Betonbette je nach dem Wasserdruck sich hob und senkte. In Geestemünde hatten die aus F. 10 ersichtlichen Querspundwände ebenfalls eine durch den Beton reichende Höhe gehabt. Nach der Trockenlegung des übrigens durchweg dichten Betonbettes zeigten sich an ihnen zahlreiche und starke Quellen. Man machte aber hier den anfangs begangenen Fehler dadurch wieder gut, dafs das Betonbett überall neben den Spundwänden bis etwa zur halben Dicke aufgehauen und nach Abschneidung der Wände wieder mit Beton auf das Sorgfältigste gedichtet wurde. Diese nachträgliche Arbeit verursachte zwar grofse Mühe und Kosten, war jedoch von dem besten Erfolge. Zweckmäfsiger aber wäre es gewesen, die Spundwände mit Hilfe von Grundsägen von vornherein noch niedriger zu halten und höchstens

[29]) Eine in neuerer Zeit bei Ymuiden erbaute Seeschleuse ist ohne Querspundwände unter den Drempeln ausgeführt, vergl. das 2. Heft der „Fortschritte der Ingenieurwissenschaften“, T. IV, F. 1.

etwa 0,3 m tief in den Beton eingreifen lassen. Denn immer wird bei der noch verbliebenen Höhe der Spundwände das Betonbett an den betreffenden Stellen geschwächt und ohne Nutzen der Gefahr des Undichtwerdens ausgesetzt.

Zur Sicherheit, dafs das Wasser sich nicht vom Ober- zum Unterwasser unter dem Boden hindurch Bahn breche, ist also nur je eine Querspundwand am oberen und unteren Ende eines einheitlichen Bodens nötig. Da nun aber die Herstellung des Bodens, namentlich bei Betongründung unter Wasser, die Umschliefsung des ganzen Bettes fordert, so werden fast stets auch Längsspundwände im dichten Anschlufs mit den Querspundwänden angeordnet. Der ganze Boden ist also, entsprechend dem Wasserdruck und der Bodenbeschaffenheit, mit einer tief nach unten reichenden Holzwand eingefafst und dadurch vor Unterquellung gesichert. Nach oben reichen die Spundwände so hoch, als es die Gründung übrigens erfordert, also während der Ausführung mindestens bis zur Höhe des Grundwassers oder des offenen Aufsenwassers. An den offenen Enden der Schleuse erfolgt nach der Ausführung ein nachträgliches Abschneiden bis zur oberen Höhe des Bodens. Um am Oberhaupte von Kanalschleusen die nebenstehende Anordnung einer zweiten Spundwand (Fig. 47 *a*) zu vermeiden, kann man die Anordnung Fig. 47 *b* mit schräger Unterfläche des Betons treffen. Vergl. F. 1, T. VI und Fig. 75, § 13.

Fig. 47.



Aufserdem kann man bei der Betonierung an geeigneten Stellen nach unten Verstärkungen (Fig. 47 *c*) anbringen, und dadurch zugleich das Hindurchziehen von Quellen unter dem Boden unterbrechen und abschwächen.

Indem jedes Betonbett eine solche Stärke erhalten mufs, dafs es nach völliger Trockenlegung eine Zeit von mehreren Wochen hindurch allein den auftreibenden Druck des Aufsenwassers ertragen kann, so fragt es sich, ob es zweckmäfsig und notwendig, der Übermauerung so bedeutende Stärken zu geben als es oft geschehen ist. Wenn man dabei gar annehmen mufs, dafs sich beide Schichten nicht so innig verbinden, dafs sie als ein Ganzes angesehen werden können, so erscheint es gewifs richtiger, die eigentliche dem Schleusenboden zu gebende Stärke ganz allein in den Beton zu legen und denselben nur in den Drempeln mit starkem Mauerwerk, übrigens aber nur der genauen Form wegen zu übermauern. Dies ist namentlich in den Thorkammern, wo eben nur eine horizontale Oberfläche passend ist, bei weitem vorteilhafter, als etwa 1 m dickes Mauerwerk aufzubringen und die nötige Gesamtstärke auf Beton und Mauerwerk zu verteilen. Wo man zum Teil aus Rücksicht auf die Stabilität der Seitenmauern starke verkehrte Gewölbe anbringt, dürfen diese also fast unmittelbar über dem Beton liegen. In sehr vielen Fällen endlich könnte wesentlich dadurch gespart werden, dafs der Beton allein und ohne Übermauerung den Boden bildete. Guter Beton ist gegen die auf einen Schleusenboden treffenden Angriffe fest und hart genug und es erfordert anderseits eine Übermauerung, wenn sie nicht mehr schaden als nützen soll, immer eine sorgfältige Ebenung des in der geschütteten Oberfläche rauhen und undichten Betons.

Hinsichtlich der mit steinernem Boden auf Pfahlrost versehenen Schleusen ist unter Hinweis auf den folgenden Paragraph und die allgemeinen Regeln für steinerne Böden nicht viel zu sagen. Diese früher besonders in England gebräuchliche Bauweise hat den Nachteil im Vergleich zum reinen Holzboden, dafs der Rost nicht als eine

durchaus sichere Verstärkung des Gewölbes gegen Auftrieb angesehen werden kann, dafs also das Gewölbe für sich allein genügende Stärke dagegen erhalten mufs. Besonders nachteilig wird dies in den Thorkammern. An der älteren im Jahre 1845 erbauten Harburger Schleuse, welche bei geringeren Abmessungen ähnliche Anordnung wie die im Jahre 1878 begonnene neue Schleuse zeigt (s. F. 13, T. V), hat man sich in den nur mit flachen Quadern bedeckten Thorkammerböden, sowie auch unter den Drempelbögen zur Verstärkung des Bodens hölzerner Spannbalken wie bei einem Holzboden bedient. Es ist klar, dafs eine reine Holzkonstruktion hier weit vorteilhafter gewesen wäre. Es mag noch die Bemerkung Platz finden, dafs die durchweg gröfsere Papenburger Schleuse (Tafel V) vermöge der zweckmäfsigeren Konstruktionen nur etwa 180000 M., die alte Harburger dagegen 420000 M. gekostet hat.

Einzelheiten. Da von den Einzelheiten der Drempel, der etwaigen Abfallmauern und der in den Vorschleusen liegenden Bodenteile die Anordnung des ganzen Bodens an der betreffenden Stelle abhängt, so sei zunächst über jene Einzelheiten das Nötige gesagt. Es ist bereits gesagt, dafs hierzu nur besonders gute Werksteine zu verwenden sind.

Vorzüglich erfordert der Drempel eine sorgfältige Bearbeitung, weil die einzelnen Steine ohne dieselbe in Gefahr kommen können, durch das Anschlagen oder durch sonstige Bewegungen der Thore verschoben oder gehoben zu werden. Es ist daher zunächst fast allgemein Regel, die Drempelsteine grofs zu wählen und bei grofsen Schleusen in Form eines Gewölbes zu legen (s. F. 11 u. 12, T. V und F. 15, T. VII), weil hierdurch jeder einzelne Stein sich fester gegen den anderen stützt. Eine eigentliche Gewölbespannung wird indessen dadurch nicht beabsichtigt. Man sucht dabei sehr spitze Winkel zu vermeiden, weil derartig bearbeitete Steine überhaupt unzuverlässig sind und leicht beschädigt werden. Bei Schleusen mit an der Innenseite gekrümmten Thoren werden deshalb die Fugen fast stets radial gelegt (F. 15, T. VII) und die Steine an der Hinterseite so gebrochen, dafs die spitzen Winkel thunlichst fortfallen. Da bei derartigen Schleusen in der Regel der Drempel zugleich in vertikaler Richtung ein verkehrtes Gewölbe bildet, so werden die Steine dieses Gewölbes ebenfalls nach unten hin in ähnlicher Weise bearbeitet (s. F. 12 u. 14, T. VII). Wie in § 19 hinsichtlich des Anschlages grofser gekrümmter Thore näher besprochen ist, wird jedoch der Anschlag der Thorflügel an den Drempel nicht in der ganzen Stirnfläche des Gewölbes, sondern nur in einem etwa 20 bis 30 cm breiten horizontalen Streifen desselben hergestellt. Es liegen deshalb nach F. 12 nur in der Mitte der Schleuse die eigentlichen dem Anschlage ausgesetzten Drempelquader auch in dem Bogen, während nach den Seiten hin aufserdem noch besondere Quader unter demselben vorkommen.

Wesentlich einfacher ist die Anordnung der Drempel in kleineren Schleusen mit geraden Thoren und ohne gewölbten Boden. Es wird hierbei der Fugenschnitt möglichst rechtwinklig zu den Anschlagslinien des Drempels angeordnet, dabei sucht man jedoch zu lange Steine und zu scharfe Spitzen zu vermeiden. Liegt ein Abfallboden nahe hinter dem Drempel, so wird die Linie des ersteren gewöhnlich bogenförmig gehalten und die Fugen gehen rechtwinklig zu dieser Linie (s. F. 4 u. 15, T. VI). Bei kleineren und nicht gewölbten Böden gehen die Drempelsteine noch um ein gewisses Mafs bis in den Thorkammerboden. Für Drempel, an welche sich ein Abfallboden nicht anschliefst, erscheint der Fugenschnitt F. 20, T. IV beachtenswert. Bei neueren Schleusen findet man jedoch noch einfachere Anordnungen, vergl. F. 20, T. X.

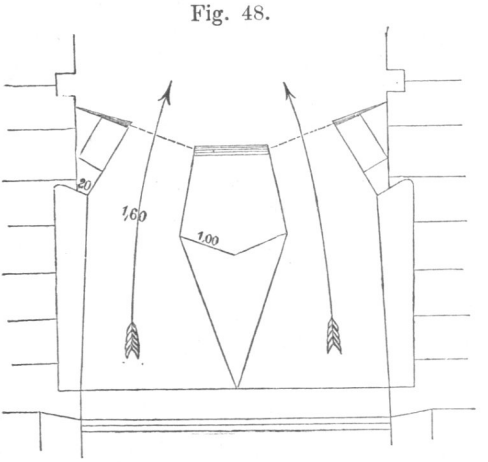
Über die senkrechte Höhe des Drempels über dem Thorkammerboden ist folgendes zu bemerken. Hierfür ist einesteils der notwendige Spielraum zur Bewegung der Thor-

flügel, andernteils die zum dichteren und sicheren Anschlage derselben an den Drempel erforderliche Höhe, der sogenannte Drempel- oder Thoranschlag, maſsgebend. In ersterer Beziehung kommt in Betracht, ob der Thorkammerboden der Aufschlickung, Zusandung u. s. w. sehr ausgesetzt ist, ob mit Wahrscheinlichkeit auf das öftere Fallenlassen von Steinen, Torf u. s. w. zu rechnen und ob ein Durchsacken der Schleusenthore zu besorgen ist. Wenn auch alle diese Ursachen für die Verringerung des anfänglichen Spielraumes durch geeignete Mittel abgeschwächt werden können, so muſs doch der Sicherheit wegen auf das Eintreten einer Verringerung gerechnet werden. Bei auf Rollen laufenden Thorflügeln, bei welchen eine Versackung nicht anzunehmen, wird ein möglichst geringer Widerstand an der Unterkante gegen das Bewegen erwünscht und daher eine nicht zu kleine Rolle geboten sein, wodurch wieder eine gewisse Höhe des Drempels bedingt wird, s. übrigens § 20. Aufserdem ist zu beachten, daſs bei allen Holzthoren die sogenannte Schlagsäule innen um mindestens 5 bis 10 cm vor der Unterkante des Thores vortreten muſs. Es darf daher der Spielraum wohl nie unter 15 cm genommen werden und unter Umständen bis zu 30 cm steigen. Für den Drempel- oder Thoranschlag wird je nach der Gröſse des Thores und des Wasserdrucks 10 bis 20 cm Höhe genügen, sodaſs der Drempel im ganzen 25 bis 50 cm über dem Thorkammerboden liegt.

Bei groſsen Schleusen mit eisernen Thoren und Luftkästen ist auch folgendes zu beachten. Wenn die Gründung des Thorkammerbodens nicht besondere Schwierigkeiten verursacht, sollte man die Höhenlage so bemessen, daſs ein Mann unter dem fertigen Thorflügel auf dem Rücken liegend Niete und Fugen, welche sich bei der Probe der Schwimmthore mit Wasser als undicht erwiesen haben, notdürftig verstemmen kann. Kann man den Boden nicht in seiner ganzen Ausdehnung so tief legen, so sollte man dies wenigstens an einer Stelle thun, über die man das nachzusehende Thor dann bei der Probe dreht. Eine Tiefe von mindestens 60 cm erwies sich bei der zweiten Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven auch schon deswegen als erforderlich, um die Rollen gut anbringen zu können, welche beim Einbau und dem Probedrehen der Thore vorübergehend zur Anwendung gekommen sind.

Abweichend von den deutschen, englischen und holländischen Schleusen giebt man in Frankreich dem Steindrempel mitunter eine mittels horizontaler Steinschrauben befestigte Holzschwelle, F. 2 u. 4, T. VI, um zu verhüten, daſs die einzelnen Steine durch das Anschlagen der Thore bewegt oder beschädigt werden. Eine solche Schwelle wird „falscher Drempel“ *(faux busc)* genannt. Die Anbringung einer solchen Holzschwelle erscheint entbehrlich, es empfiehlt sich aber, die obere und vordere Kante der Steindrempel etwas abzurunden.

Fig. 48.

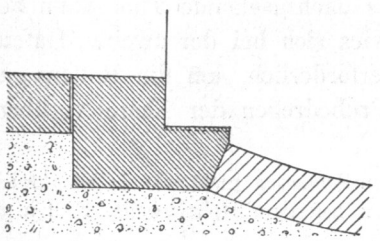


Eine eigentümliche Anordnung haben auf einigen französischen Flüssen, welche sehr viel Geschiebe führen, die Drempel zu dem Zwecke erhalten, um eine Ablagerung der Steine auf dem Thorkammerboden und namentlich ein Einklemmen derselben zwischen Thorflügel und Drempel zu vermeiden. Es ist dazu in jeder Drempelhälfte eine Lücke gelassen, welche sich der Form der keiligen Drempelsteine anpaſst und sich etwa durch die ganze Thorkammer aufwärts mit einer schwachen Neigung fortsetzt. Beide geneigte Ebenen vereinigen sich in einiger Entfernung von der Drempelspitze, siehe Fig. 48. Die wenigen übrig bleibenden Drempelsteine erfordern eine besonders gute Befestigung in dem Boden. In neuerer Zeit wird jedoch in Frankreich von dieser Anordnung kein Gebrauch gemacht.

Für die sogenannte Abfallmauer oder den Übergang von dem Oberdrempel zum Kammerboden gilt zunächst als Regel, dafs er als horizontales Gewölbe sich gegen die Seitenmauern stützen und ohne die früher mitunter angewandte Neigung vertikal abfallen soll. Eine Neigung vergröfsert ohne Nutzen die Länge der ganzen Schleuse und erschwert aufserdem die Ausführung. Man hat zur Sicherung der einzelnen Steine die verschiedenen Schichten wohl mit Verschränkung ineinandergreifen lassen, doch erscheint auch diese Anordnung, wenn nur Höhen von 1 bis 2 m in Frage kommen, übermäfsig künstlich. Die unterste Steinschicht erhält ohne weiteres eine sichere Lage gegen den Kammerboden, die oberste Schicht wird zweckmäfsigerweise zugleich für den Drempel benutzt, sodafs dabei die Steine derselben eine Länge von 1 bis 1,5 m erhalten. Werden beide Schichten dann etwa 0,6 m dick angenommen, so bedarf es gewöhnlich nur noch einer mäfsigen Höhe zwischen beiden und bei gutem Anschlufs an die Unterlage von Beton oder Mauerwerk keiner besonderen Sicherheitsmafsregeln, als dafs die Dichtigkeit durch sorgfältige Bearbeitung gewonnen wird. Aufserdem pflegt man bei grofsem Gefälle zweckmäfsig den Abfall zu teilen und den oberen Teil oberhalb der Thorkammer anzubringen, s. F. 1, T. VI. Es gewinnen dadurch die Thorflügel des Oberhauptes eine günstigere Form, die etwaigen Umläufe sind bequemer anzubringen und die Konstruktion wird wesentlich erleichtert.

Schliefslich ist von den steinernen Böden noch die Einrichtung der Vorböden zu erwähnen. Hierbei kommt namentlich in Frage, ob in den Vorschleusen Dammfalze angeordnet sind oder nicht. Im ersteren Falle ist bei gewölbtem Boden ein horizontal liegender Falz anzubringen (F. 15, T. VII), während bei ungewölbtem Boden nur für eine völlig ebene Fläche zum Auflegen des untersten Dammbalkens zu sorgen ist. Übrigens erfordert der Vorboden keine weitere Vorsicht, als dafs alle Ecken und Kanten mit Quadern eingefafst sein müssen. Diese im Grundrifs gewölbartig anzuordnen, hat keinen Wert.

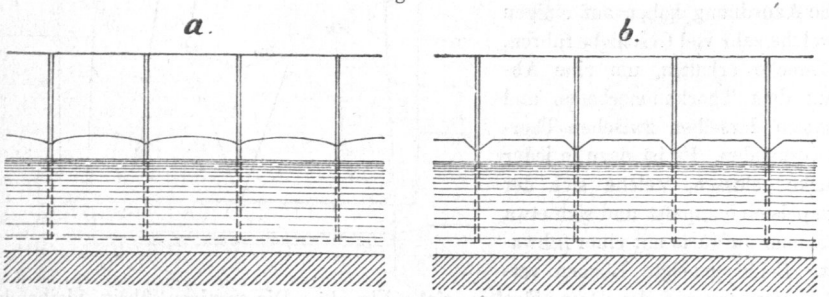
Fig. 49.



Bei den Thorarten, welche nicht stemmen (vergl. § 21), ist der Drempel wesentlich einfacher, indem er vollkommen geradlinig ist. Auch hier wird man möglichst grofse Steine für denselben verwenden müssen, die namentlich tief in das Sohlenmauerwerk eingreifen, damit durch eine ungünstige Bewegung des bereits mit Druck anliegenden Thores die Steine nicht gehoben werden können.

Für Gleitpontons (Schiebethore) benutzt man die ausgeklinkten Drempelsteine (Fig. 49) zweckmäfsig zugleich zur Herstellung der Gleitbahn. In der Gleitbahn macht man dann die Oberfläche der Steine nicht eben, sondern abgerundet, wie Fig. 50*a* zeigt, oder bricht wenigstens die Ecken (Fig. 50*b*). Dadurch vermeidet man, dafs irgend eine scharfe Kante am Ponton beim Darübergleiten hinter die Steinkanten greifen und den Stein aus dem Mauerwerk herausreifsen kann.

Fig. 50.



§ 9. Hölzerne Böden. Wie bereits erwähnt, werden zu den hölzernen Böden auch diejenigen gerechnet, welche zwischen festliegenden starken Balken mit Steinen ausgemauert werden.

Unter Bezugnahme auf § 5 sei die Anwendung der hölzernen Böden kurz gefafst auf folgende Fälle beschränkt: bei Gründung des ganzen Bauwerks auf Pfahlrost insbesondere bei sehr tief liegendem festem Untergrund; wenn nicht mit unverhältnismäfsiger Schwierigkeit das Wasser aus der Baugrube zu schöpfen ist; wenn die Schleuse nicht sehr grofs (etwa über 15 m weit) ist, und wenn endlich das geeignete Holz zu mäfsigem Preise zu haben ist. Unter diesen Umständen wird der Holzboden meistens billiger als jede Konstruktion von Steinmaterial sein und sich hinreichend lange erhalten, wenn er gut ausgeführt und keinen gewaltsamen Angriffen ausgesetzt ist. Hierin würde z. B. das im flachen Wasser wohl vorkommende mifsbräuchliche Einsetzen von Schiffshaken zum Fortschieben der Schiffe, ferner auch heftiger Durchflufs von Wasser, namentlich von sandhaltigem u. s. w. zu rechnen sein. Es sind dem letzteren Angriffe freilich vorzugsweise nur die Spülschleusen, ähnlich den Deichsielen, ausgesetzt. Unter günstigen Umständen jedoch haben sich über 200 Jahre alte hölzerne Schleusenböden völlig unversehrt gezeigt. Die gröfste Gefahr für jeden hölzernen Boden besteht in einer mangelhaften Ausführung hinsichtlich der Dichtigkeit. Wenn bei starkem Wasserdruck anfänglich noch sehr kleine Undichtigkeiten fortwährend einen heftigen Durchzug des Wassers veranlassen, welcher sich zuweilen in Form kleiner lebhaft springender Strahlen zeigt, häufiger jedoch verborgen bleibt, so wird schon nach einigen Jahren das die Wandungen des Wasserstrahls bildende Holz stark angenagt und endlich in der Nähe der Undichtigkeit ganz zerfressen. So sieht man z. B. wohl nach Abbruch alter oder schlecht gebauter Stauwerke und Schleusenböden gewisse der Undichtigkeit vorzüglich ausgesetzte Holzstücke, z. B. die oberen Teile der Spundbohlen, völlig zerstört und verschwunden. Dafs in solchen Fällen das ganze übrige Bauwerk baufällig werden mufs, liegt sehr nahe. Es ist zweifellos, dafs ein gut gearbeiteter Holzboden sich doppelt und dreifach so lange hält, als ein übrigens gleicher und nur in der Dichtigkeit mangelhaft ausgeführter.

Unter Annahme eines Pfahlrostes haben die wesentlichsten Teile eines guten hölzernen Bodens folgende Aufgaben zu erfüllen. Die Pfähle des Pfahlrostes sollen nicht allein die Seitenwände, namentlich die steinernen, sicher tragen und eine Verschiebung durch den oft grofsen seitlichen Erddruck verhindern, sondern sie sollen auch in den meisten Fällen den eigentlichen Boden gegen den Auftrieb des Wassers sicher niederhalten. Sie müssen also zu beiden Zwecken recht fest stehen, und für den letzteren noch besonders sorgfältig mit dem Boden verbunden werden. Der auf den Pfählen ruhende Rost nebst dem Belag von Bohlen mufs eine völlig wasserdichte und dabei nach den verschiedenen Richtungen sehr fest zusammengefügte Fläche bilden. Eine Undichtigkeit würde sehr bald die vorhin erwähnte Zerstörung einleiten. Ein loses Zusammenhalten würde dagegen bei den verschiedenen Gleichgewichtslagen der Schleuse und ihrer einzelnen Teile unter bald hohem, bald niedrigem Wasser unfehlbar Bewegungen erzeugen, welche mindestens die Dichtigkeit in Gefahr brächten. Damit der zu dem Rost gehörende frei liegende Boden und besonders der Bohlenbelag nicht bei starkem Wasserdruck gehoben werde, wird über den dem Auftrieb dauernd oder zeitweilig ausgesetzten Teilen eine Verstärkung durch einen sogenannten doppelten Boden oder durch eine Anzahl quer durch die Schleuse bis unter die Wände greifender Balken, der sogenannten Spannbalken, angebracht. Ähnlich wie diese Balken

liegen auch die zum Drempel gehörenden Hölzer über dem Rostbelag, halten denselben mit nieder, müssen also, weil sie unmittelbar von dem Druck der Thore und bei etwaigem undichtem Anschlusse an den Rostbelag auch von dem Auftrieb getroffen werden, besonders stark sein und mit dem Roste fest verbunden werden.

Endlich gehören zum Boden die Spundwände. Diese bilden bei allen Schleusenböden, vorzüglich aber bei den hölzernen, einen überaus wichtigen Teil und haben im allgemeinen dieselbe Bedeutung bei Schleusen wie bei Wehren. Sie sollen verhüten, dafs der zeitweilig oder dauernd vorhandene Überdruck des Wassers von der einen nach der andern Seite des Bauwerks unter demselben sich einen Weg suche. Auch hier gilt das von der Dichtigkeit des Bodens Gesagte. Die kleinste Undichtigkeit greift immer weiter um sich, sowohl in dem Erdboden unter der Schleuse als in der Spundwand selbst. Es bilden sich förmliche Kanäle aus, deren Vorhandensein im Unterwasser sich sehr oft durch aufquellende Bewegung verrät. Durch ihre Wirkung wird der Boden unterwaschen und sowohl unmittelbar angegriffen, als auch wegen völligerer Benetzung mit Druckwasser einem weit höheren Wasserdruck als ein mit dichten Spundwänden versehener und gut unterfüllter Boden ausgesetzt. Es verringert sich also die Festigkeit und vermehrt sich der Angriff. Deshalb müssen die Bohlen der Spundwände mit gröfster Sorgfalt hergestellt und geschlagen sein, nicht minder aber dichtschliefsend mit der Unterseite des Schleusenbodens verbunden werden. Da nun eine einzelne Spundwand schwerlich ganz dicht hält und da andererseits auch der Boden leicht nicht vollständig dicht ausfüllt, so ist es Regel, unter jedem Drempel und aufserdem mindestens an den Enden der Schleuse eine Spundwand quer durch die ganze Breite der Schleuse anzubringen. Bei sehr langen Schleusen wird sogar an geeigneten Stellen noch eine weitere hinzugefügt, sowie man andererseits neben den Drempeln unter Umständen, z. B. bei hölzernen Wänden, die Spundwände auch seitwärts als „Flügelspundwände“ hinaufzieht.

Längsspundwände bei hölzernen Böden zu schlagen, hat im Vergleich zu den Querspundwänden kaum einen erkennbaren Sinn, wenn sie nicht etwa zur bequemeren und unschädlicheren Wasserschöpfung bei grofser Tiefe oder stark quelligem, triebsandigen Boden dienen sollen. Sie vermindern alsdann das Aufquellen in der Baugrube und das etwaige Einrutschen der Ufer derselben.

Bei der nachfolgenden Beschreibung der Konstruktion der hölzernen Böden im einzelnen sei auf die in Tafel V und VI enthaltenen Figuren Bezug genommen. Aufserdem ist eine Vergleichung mit den zu Kap. XIII gehörenden Tafeln II bis IV, insbesondere für die Konstruktion kleiner Schleusen zu empfehlen. Die für Deichschleusen angewandten Böden werden mit besonderer Berücksichtigung des Auftriebs und der Abnutzung durch die Wasserbewegung konstruiert. Im übrigen aber ergänzen die in Kap. XIII besprochenen Konstruktionen das Nachstehende.

Pfahlrost. Da die hölzernen Seitenwände durch ihren Reibungswiderstand, die steinernen durch ihr Gewicht den Boden der Schleuse an den Seiten niederhalten, so wird allgemein der Boden so anzuordnen sein, dafs seine stärksten Hölzer in wirksamster Weise und deshalb quer zur Schleusenachse liegen. Weil ferner bei gröfseren Schleusen als den gewöhnlichen Kanalschleusen, also bei Weiten von über 10 m, und bei dem Wasserdruck von mehreren Metern diese Balken, um nicht zu grofse Stärke zu erhalten, nahe bei einander liegen müssen, so ergiebt sich demgemäfs die besonders aus F. 2 und 3, T. V deutlich hervorgehende Anordnung der Rostpfähle und der Rostholme oder der „Klai- oder Grundbalken“. Die Querreihen der Rostpfähle und die Grundbalken liegen bei diesem Bauwerk desto näher, je stärker und häufiger der Auftrieb durch den

Wasserdruck werden kann; am nächsten also unter dem Hinterboden hinter dem Drempel, wo bei geschlossenem Thore jedesmal bei einer hohen Sturmflut ein Druck von reichlich 3 m wahrscheinlich wird; weniger dicht liegen sie unter dem Thorkammerboden, unter dem nur bei etwaigen Abdammungen mittels der Dammfalze, für gewöhnlich dagegen kein Auftrieb eintritt. Da jedoch derartige Abdammungen selten und wohl nur in günstiger Jahreszeit vorkommen, so ist hier dem zwar noch etwas höheren Wasserdruck von 3,73 m bei gewöhnlicher Flut nicht dieselbe Bedeutung als dem häufig eintretenden beigelegt. Weil der Boden der Vorschleuse nur dann einen stärkeren Auftrieb bekommen könnte, wenn unmittelbar vor demselben aufserhalb der Schleuse eine Abdammung angebracht würde, dieses aber als unpraktisch nicht wahrscheinlich ist und da bei einer weiter nach aufsen angebrachten Abdammung der Auftrieb durch die nur zum Teil mit Steinen gedeckte Sohle des Vorhafens unschädlich gemacht würde, so hat der Boden der Vorschleuse nur sehr weit voneinander stehende Pfähle und nur so viel Grundbalken erhalten, dafs der Bohlenbelag sicher aufgebracht werden konnte. Um den durch den Deich entstehenden Horizontalschub auf die Flügelmauern und deren eigene Last sicher aufzunehmen, sind zwischen den Pfahlreihen des Vorbodens für die Mauern noch Pfahlreihen mit kurzen Grundbalken eingeschaltet und die äufseren Pfähle schräg geschlagen. Über Anzahl und Stellung der Pfähle unter den Wänden vergl. auch § 6.

Um die Drempelhölzer mit starken Bolzen sicher an dem Rost befestigen zu können, ist die Anzahl der Grundbalken und Pfähle unter den Drempeln der grofsen Papenburger Schleuse, sowie auch der dortigen kleinen Binnenschleuse (s. F. 3 u. 9, T. V, sowie F. 22 u. 23, T. VI) vermehrt, sodafs eine genügende Zahl Bolzen angebracht werden konnte. In ähnlicher Weise ist nach F. 3 u. 10, T. V auch für die Unterstützung des Thorzapfens ein starker Eichenklotz auf einigen Pfählen zwischen die betreffenden Grundbalken eingeschaltet.

Spundwände. Die Spundwände werden unter den Drempeln womöglich zwischen zwei dicht nebeneinander liegenden Pfahlreihen und deren Grundbalken angebracht, wobei in der Ausführung immer erst die Spundbohlen einzuschlagen sind, damit sie durch etwaige schiefe oder krumme Pfähle in ihrem dichten Schlufs nicht beeinträchtigt werden. Man kann jedoch zweckmäfsigerweise an den Enden der Wand die betreffenden Pfähle einrammen, die Grundbalken auf diesen vorläufig verzapfen und als Zwingen für die Wand benutzen. Nach endgiltiger Legung der benachbarten beiderseitigen Grundbalken sind dieselben stets durch Schraubenbolzen fest gegeneinander zu ziehen, weil dadurch die Wand noch etwas begradigt und in ihrem oberen wichtigsten, aber auch gefährdetsten Teile einen möglichst dichten Anschlufs an die anderen Teile des Bodens erhält. Um diesen Anschlufs dicht zu machen, werden von oben in alle erkennbare Fugen schlanke Holzkeile getrieben. Die nur an einer Seite einen Grundbalken berührenden Wände werden ähnlich mittels einer an der anderen Seite liegenden Gurte durch Schraubbolzen und Keile gedichtet. Um die Spundwände möglichst dicht mit dem Bohlenbelage zu verbinden, wird auf ihnen ein wenn auch niedriger, 1 bis 2 cm hoher, fortlaufender Zapfen und an der Unterseite der Bohlen eine dicht schliefsende Nut oder Rille ausgearbeitet. Nach aufsen freiliegende Wände müssen eine Gurte, die als Holm zum Teil aufliegen kann, erhalten, s. F. 7, T. V. Im übrigen mufs die Anordnung und Herrichtung guter Spundwände als bekannt angenommen werden.

Klai- oder Grundbalken. Die Klai- oder Grundbalken werden sowohl gegen das Tragen einer oberen Last als auch gegen den Auftrieb des Wassers als hochkantige Balken etwa wie 3:4 in der Breite und Höhe, z. B. 24 auf 32 cm stark, genommen

und wenn sie nicht aus einer quer durch die ganze Schleusenbreite reichenden Länge zu erhalten sind, mit möglichst verwechselten, dabei die Schleusenmitte vermeidenden stumpfen Stöfsen aufgebracht. Die immer auf einen Pfahl treffenden Stöfse sind aber unbedingt durch eine oder besser durch zwei seitliche Eisenschienen thunlichst unschädlich zu machen. Wenn der Auftrieb sehr zu fürchten ist, so erscheint die Anwendung verkeilter Zapfen oder Pfahl und Balken verbindender Schienen gut. Die verdeckt verkeilten Zapfen sind aber schwierig herzustellen und zu kontrollieren, weshalb die offen verkeilten sicherer erscheinen. Die Pfähle einer Hauptreihe in zwei zusammengehörende Reihen zu versetzen und die Grundbalken dazwischen zu legen, wie dies namentlich bei Abschufsböden von Wehren früher häufiger geschah und z. B. auch bei der in F. 9, T. VI zum Teil dargestellten Schleuse in dem Weichsel-Haff-Kanal bei Rothebude geschehen ist, kann für Schleusen nicht empfohlen werden.

Wie schon oben erwähnt, setzen sich die Grundbalken der Hauptteile des Schleusenbodens auch unter den Seitenmauern fort, weil dadurch der Boden an Stärke gegen Auftrieb und an Zusammenhang gegen Zerreifsen gewinnt. Es ist dabei anzustreben, dafs die Entfernungen für den einen wie für den anderen Teil weder zu grofs noch zu klein werden. Wenn der Boden noch mit dem sogenannten Doppelboden verstärkt wird, so kann durch das Mafs desselben die Stärke und Entfernung der Grundbalken genügend ergänzt werden. Über die Beanspruchung vergl. § 6.

Zangen (Sandstraken). Nach Aufbringung der Grundbalken sind in möglichst rechtwinkliger Kreuzung darüber zunächst die Zangen, die sogenannten Sandstraken, aufzubringen. Dieselben sind schon bei jedem gewöhnlichen Roste von gröfserer Ausdehnung zur Vermeidung von Verschiebungen nötig; bei Schleusen aber noch besonders an den Flügeln, die bei hohen und zeitweilig durchweichten Deichböschungen oft sehr bedeutenden Horizontalschub zu ertragen haben und alsdann bei nicht genügender Verbindung im Roste abreifsen. Wo die Zangen unter dem Mauerwerk liegen und besonders starken Zug zu ertragen haben, kann und mufs man sie so stark nehmen, dafs sie gerade um 1 oder 2 Backsteinstärken über dem Rostbelag vortreten, während sie unter den Spannbalken liegend mit dem Rostbelag bündig sein müssen und nur etwa wie die doppelte Bohlendicke stark sein können, vergl. F. 4, T. V.

Bohlenbelag. Aufser für den Zusammenhang der Rostfläche sind aber auch die Zangen für den eigentlichen Schleusenboden unentbehrlich, um den Bohlenbelag wasserdicht aufzubringen. Es werden dazu erst die Zangen sehr genau mit Verkämmung und Spitzbolzen auf den Grundbalken befestigt, dann die vorher sorgfältig an ihren schmalen Seiten oder Kanten gerade und glatt gehobelten Bohlen, mit Ausnahme einer derselben, in den etwa 1,5 m betragenden Zwischenraum je zweier benachbarten Zangen gelegt, kräftig durch Keile von einer Zange aus nach der anderen hingetrieben, und mit starken Nägeln auf den Grundbalken befestigt. Der vorläufig durch die Keile offengehaltene Zwischenraum wird dann durch die letzte, sorgfältig in ihrer Breite abgemessene und etwas keilig in den Kanten gehobelte Bohle nach Wegnahme der Keile geschlossen, wobei diese Bohle mit Handrammen in den Zwischenraum eingetrieben werden mufs. Die Bohlen werden felderweise so gelegt, dafs alle Stöfse eines Feldes auf denselben Grundbalken treffen und dafs daneben in einer möglichst grofsen Entfernung kein Stofs wieder vorkommt. An den Stöfsen müssen die einzelnen Bohlen des neu zu legenden Feldes erst stark gegen die bereits liegenden angetrieben und wie diese genau gerade geschnitten und besonders stark befestigt werden. Um eine gute Dichtung des Bohlenbelags zu erhalten, bedarf derselbe einer über das gewöhnliche Mafs

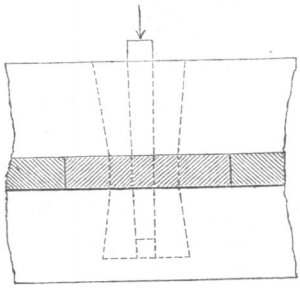
der Rostbohlen hinausgehenden Stärke von etwa 10 cm und einer sorgfältigen Ausscheidung aller etwas schadhaften, z. B. rissigen Bohlen, welche sonst ohne Nachteil zu einem Roste verwendet werden könnten.

Eine nicht unwesentliche Verstärkung der Dichtigkeit und Dauerhaftigkeit gewinnt jeder Holzboden, wenn das unter ihm befindliche Erdreich sich dicht an ihn anschliefst. Man verstärkt dadurch ferner erheblich die Wirkung der Spundwände und erreicht, dafs der Holzboden bei weitem nicht in der ganzen Fläche von unten benetzt, also auch nicht von dem vollen Wasserdruck getroffen wird.[30]) Da nun der Pfahlrost vorzüglich nur bei sehr schlechtem Untergrunde, wie Moor, Darg u. s. w. gebraucht wird und es bei diesen Erdarten ebenso wenig wie auch bei Sand möglich ist, eine dichte und feste Erdschicht unter dem Roste herzustellen, so wird es fast stets erforderlich sein, hierzu fetten und feuchten Thon zu verwenden, wie dies z. B. nach F. 9 u. 10, T. V bei der Papenburger Schleuse geschehen ist. Nach Wegräumung der oberen ursprünglichen Erdschicht zwischen den Pfählen in etwa 0,6 bis 0,8 m Höhe wurde dort der Thon eingebracht und vor der Aufbringung des Bohlenbelags nochmals so stark wie möglich eingestampft, bis er überall etwas über den Oberkanten der Grundschwellen vortrat, jedoch ohne diese zu bedecken. Jede einzelne Bohle schob den übertretenden Thon etwas zur Seite und die letzte eingerammte Bohle quetschte ihn sogar aus dem offenen seitlichen Bohlenfelde hervor. Es war dadurch die Ausfüllung unter dem Boden ohne jede Lücke geblieben. Dies Verfahren dürfte namentlich gegenüber dem bei anderen Schleusen mitunter angewandten Ausmauern der Zwischenräume zwischen Pfählen und Grundbalken mit Mauerwerk oder dem Einbringen von trockenem Steingrus den Vorzug verdienen, weil hierdurch ein ähnlich dichter Anschlufs nicht zu erzielen ist.

Nachdem so der einfache Boden dicht und (mit Ausnahme der Stellen unter den Seitenmauern, wo die höheren Zangen vortreten) eben hergestellt ist, werden die Spannbalken zur Verstärkung des Bodens und die Drempel mit ihren verschiedenen Hölzern aufgebracht.

Spannbalken. Die Spannbalken sind nur in den dem Auftriebe besonders ausgesetzten Bodenteilen erforderlich, sie liegen, wie die verschiedenen Beispiele auf Tafel V und VI zeigen, genau über den Grundbalken, greifen etwa 0,6 m unter die Seitenmauern und wirken schon dadurch als eingemauerte Balken sehr kräftig gegen das etwaige Auftreiben der Bohlen. Um aber die vorhandenen Grundbalken und die mit diesen verbundenen Pfähle ebenfalls gegen den Auftrieb des Wassers möglichst auszunutzen, werden Spannbalken und Grundbalken noch miteinander verbunden. Hierzu dienen, da Schraubbolzen begreiflicherweise nicht gut anzubringen sind, kräftige Spitzbolzen, die fast durch beide Hölzer reichen und ohne Zweifel bei etwa 1 bis 1,5 m Entfernung und solider Arbeit hinreichen würden, um beide Balken gegen Biegung nach oben wie einen erscheinen zu lassen. Es ist aber aufserdem die sinnreiche Verbindung mit sogenannten Schlüsselkeilen sehr beliebt. Dieselbe besteht nach Fig. 51 aus drei Teilen, wovon der mittlere nach Einsetzung der zwei anderen zuletzt eingetrieben wird. Die kleinste gesamte Querschnittsfläche der drei Stücke leistet bei guter

Fig. 51.



[30]) Vergl. die Arbeit des Verfassers: „Über die Gröfse des Wasserdrucks im Boden". Zeitschr. f. Bauw. 1886, S. 101.

Arbeit wie ein einziges Stück Widerstand gegen Zerreifsen. Werden etwa in 2 bis 3 m Entfernung solche Schlüsselkeile und dazwischen noch einige Spitzbolzen angebracht, so darf wohl Spannbalken und Grundbalken als ein Balken betrachtet werden. Um dann genügend sicher zu rechnen, ist bei massiven Seitenwänden der Widerstand der Pfähle gegen Ausziehen ganz oder teilweise zu vernachlässigen. Bei hölzernen Schleusen dagegen sind die Spannbalken oft kaum anzubringen und weniger nötig, weil solche Schleusen nur bei geringem Wasserdruck zweckmäfsig sind. Es ist für sie vor allen Dingen eine gute Verbindung der Grundbalken mit den Pfählen nötig und alsdann der Widerstand der Pfähle voll mit in Rechnung zu ziehen, vergl. § 6.

Am richtigsten ist ein hölzerner Boden dann konstruiert, wenn die Verbindungen der einzelnen Teile miteinander nicht nur überhaupt im stande sind, den Beanspruchungen durch den Auftrieb zu widerstehen, sondern wenn dies auch in allen Teilen mit gleicher Sicherheit geschieht. Dazu ist es aber erforderlich, die Widerstandsfähigkeit der einzelnen Verbindungen zu kennen; daher mögen nachstehend die hierauf abzielenden Versuche mitgeteilt werden, welche in Holland für den Bau einer Schleuse zu Vianen ausgeführt sind.[31])

Fig. 52 bis 56. *Verbindungen zwischen Grundbalken und Pfählen.*

Fig. 52.

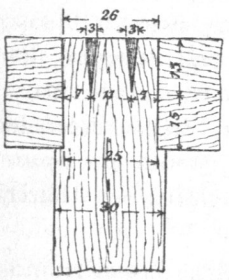


Fig. 53.

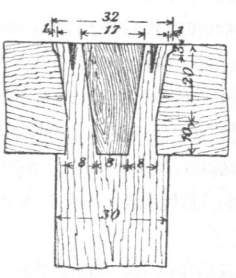


Fig. 54.

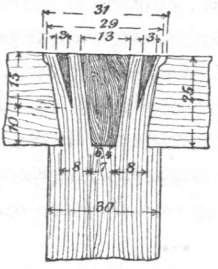


Fig. 55.

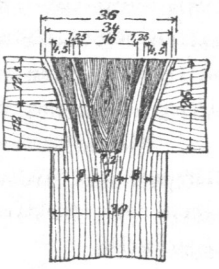
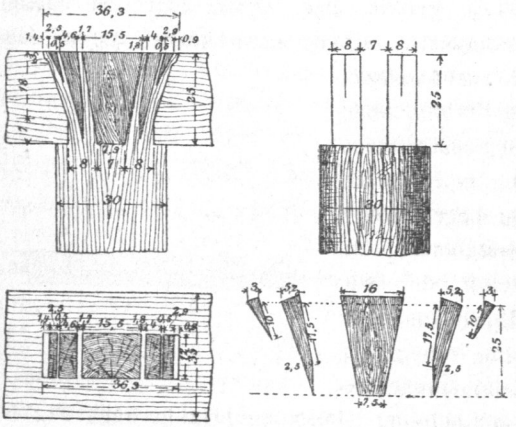


Fig. 56.



Was zunächst die Verbindung der Rostholme oder Grundbalken mit den Pfählen durch verkeilte Zapfen betrifft, so zeigten die Versuche, dafs die früher gebräuchliche Art der Verzapfung nach Fig. 52 eine viel zu geringe Widerstandsfähigkeit besafs gegenüber derjenigen, welche die Pfähle gegen Ausziehen zeigen. Eine solche Verzapfung wurde bereits bei einem Zuge von 6 t gelöst, indem der Zapfen sich aus dem Grundbalken zog. Infolge dessen wandte man bereits beim Bau der Schleuse zu Vlissingen die in Fig. 53 dargestellte Verbindung an. Dieselbe löste sich zwar erst bei 13 t Zug, war aber sehr nachgiebig, sodafs vor dem Durchziehen des Zapfens der Holm sich bereits 132 mm vom Pfahl abgehoben hatte. Es war dies möglich, weil die beiden Zapfenhälften durch die eingetriebenen Keile nicht genügend verdichtet waren. Diese beiden Versuche, welche bereits 1878 zu Vlissingen angestellt waren, geschahen mit 30 cm hohen Holmen, die nachfolgenden zu Vianen angestellten mit nur 25 cm hohen.

[31]) Proeven betreffende den wederstand van vloeren in den dag van sluizen tegen oppersing: Escher. Tijdschr. van het kon. inst. van ingenieurs 1886/87, S. 1.

Der Zapfen nach Fig. 54 entspricht ungefähr dem vorigen. Er zog sich bei 6,4 bis 7,4 t Zug um 40 mm aus dem Zapfenloch, bei 8,0 t aber um 49 mm und sprang dann plötzlich ganz heraus. Die Verkeilung Fig. 55 hielt 15,9 t, wobei der Zapfen 8,5 mm im Zapfenloch geglitten war. Die wirkliche Tragfähigkeit blieb unbestimmt, weil ein Verbindungsteil der Versuchsvorrichtung zerstört wurde. Die Verzapfung nach Fig. 56 endlich war die widerstandsfähigste. Sie zeigte erst bei fast 11 t Zug eine geringe Verschiebung des Zapfens im Zapfenloch von 0,5 mm, welche bei 16,3 t Zug auf 1 mm gewachsen war und bei 18,6 t 3 mm erreichte. Da bei dieser Belastung der den Zug ausübende Hebebaum brach, ist auch für sie die Endfestigkeit nicht ermittelt. Die Pfähle waren von Kiefernholz, die Zapfen hatten vor dem Eintreiben der eichenen Keile (Fig. 56 rechts unten) die in Fig. 56 rechts oben dargestellte Form. Die beiden Zungen des Zapfens wurden also, wie Fig. 56 oben links zeigt, in ihrem oberen Teile durch die Keile sehr stark verdichtet. Das Eintreiben der Keile geschah mittels Handramme von 65 kg Gewicht durch vier Mann. Für die kleinen Keile wurde der Zapfen stets vorher durch einen Sägenschnitt bis zur richtigen Tiefe gespalten.

Wenn man die in Vlissingen mit 30 cm starken Holmen angestellten Versuche auf 25 cm starke umrechnet, so giebt folgende Tabelle das Gesamtergebnis an.

Verschiebung des Zapfens im Zapfenloch mm	Zug in der Pfahlaxe in Tonnen				
	Versuche in Vlissingen		Versuche in Vianen		
	Verkeilung nach Figur		Verkeilung nach Figur		
	52	53	54	55	56
0,5	—	—	—	—	10,8
1,0	< 5	7	—	—	16,3
1,5	—	7,3	—	11	—
2,0	—	7,5	—	12	—
3,0	—	8	—	13	18,6
4,0	—	8,5	7,4	13,5	—
8,5	—	9,5	—	15	—
Der Holm sprang vom Zapfen.	5,1	11	8	Unbekannt.	Unbekannt.

Die Verzapfung nach Fig. 55 wird danach in den meisten Fällen genügen, wo ein geringes Abheben vom Pfahl nichts schadet, während die allerdings etwas umständliche Verzapfung nach Fig. 56 allen Anforderungen gerecht wird.

Ferner wurde die Widerstandsfähigkeit von eisernen Holzschrauben und vierkantigen Holznägeln aus trockenem Eichenholz, die in cylindrisch gebohrte Löcher eingeschlagen und dann durch Wasser zum Quellen gebracht wurden, erprobt. Die Holzschrauben waren ausschliefslich der Mutter 60 cm lang, 3,8 cm stark und hatten 23,5 cm Gewindelänge, sechskantigen Kopf und erhielten Unterlagsscheiben von 9 cm im Quadrat Gröfse und 1,6 cm Stärke. Sie wurden durch die 30 cm starken Schwellen und die 10 cm starken Bohlen in die 25 cm starken Holme eingeschraubt. Die Unterlagsplatten waren in die Schwellen bündig eingelassen. Zwei dieser Bolzen leisteten einem Zuge bis zu 15,9 t Widerstand. Bei 12,8 t Zug waren die zu kleinen Unterlagsplatten im Mittel 7 mm in das Holz eingepreſst und bei dem genannten Zuge von 15,9 t wurde eine Schraube herausgerissen.

Die nach oben und unten verdickten Nägel aus Eichenholz hatten folgende Gestalt. An der unteren Spitze wuchs der rechteckige Querschnitt bei 1 cm Länge von 3 auf 3,5 cm Seitenlänge, dann auf weiteren 6 cm Länge von 3,5 im Quadrat auf $5 \times 4{,}8$ cm rechteckigen Querschnitt. Dieser blieb auf fernere 3 cm unverändert und nahm dann bei einer Länge von 23,5 cm gleichmäfsig bis auf $4{,}2 \times 4$ cm ab, um nach oben zu auf derselben Länge von 23,5 cm wieder auf $5 \times 4{,}8$ cm anzuwachsen und diese Stärke auf den obersten 6 cm beizubehalten. Die ganze Länge der Nägel war also 63 cm. Der Durchmesser des Bohrloches betrug 4,5 cm. Die scharfen Kanten der Nägel sind ein wenig abgerundet. Zwei dieser Nägel, welche wie die Schrauben durch Schwelle und Bohlen in die Holme getrieben wurden, widerstanden nach gehörigem Aufquellen einem Zuge bis rund 4 t.

Bei der Bauausführung wurden die Spannbalken mit den Grundbalken durch den Bohlenbelag hindurch zwischen je zwei benachbarten Pfählen mittels zweier Spitzbolzen und zweier Holznägel verbunden, sodafs der Gesamtwiderstand dieser Verbindung auf Zug $15 + 4 = 19$ t betrug.

Die Befestigung der Belagsbohlen von 10 cm Stärke auf den einzelnen Grundbalken (Holmen) erfolgte durch je zwei eiserne Nägel und drei Holznägel. Die eisernen Nägel von quadratischem (0,9 × 0,9 cm) Querschnitt waren mit Spitze 20,5 cm lang, die Holznägel, ähnlich den vorigen gebildet, hatten 30 cm Länge, 2,5 × 2,5 cm gröfsten Querschnitt oben und unten und waren in der Mitte auf 2 × 2 cm eingezogen. Das Loch für die Holznägel hatte 2,2 cm Durchmesser. Diese Verbindung gab bei 3,6 t Zug soviel nach, dafs sich die Bohle um 3 cm vom Holm abhob. Nachdem die Belastung einige Minuten 4,3 t betragen hatte, rutschten zwei Holznägel durch die Bohle und der dritte Holznagel samt den beiden Eisennägeln aus dem Holm heraus.

Die Verbindung ausschliefslich durch fünf eiserne Nägel obiger Abmessung war wesentlich schwächer. Bei 1,4 t Zug hob sich die Bohle bereits 5 mm vom Holm, bei 1,77 t 14 mm im Mittel und bei 2,85 t wurde die Bohle losgerissen, wobei einer der Nägel mit dem Kopf durch die Bohle gezogen, die anderen aus dem Holm gerissen wurden.

Zwischen zwei benachbarten Pfählen im Schleusenboden befanden sich ungefähr fünf Bohlen über den Grundbalken. Jede Bohle wurde auf den Grundbalken unmittelbar durch drei Holznägel und zwei Eisennägel befestigt. Die direkte Befestigung des Bohlenbelags, welcher auf einen Pfahl entfiel, konnte nach obigen Versuchen sonach 3,5 × 5 = 17 t Zug aushalten. Die Schwellen oder Spannbalken, welche über den Bohlen lagen, konnten aufserdem, wie oben berechnet, von Pfahl zu Pfahl 19 t Zug aufnehmen, ohne abgerissen zu werden, sodafs die Verbindung der Bohlen mit den Grundbalken für jeden Pfahl 17 + 19 = 36 t Zugwiderstand leistete. Sie war also allem Anscheine nach fester, als die Verbindung zwischen Grundbalken und Pfahl und widerstandsfähiger als der Pfahl gegen Herausziehen aus dem Boden.

Zwischen den einzelnen Spannbalken pflegt stets eine Ausmauerung mit Backsteinen, am besten mit Klinkern angebracht zu werden. Diese soll weniger dem Boden eine gröfsere Dichtigkeit, als vielmehr gröfsere Schwere, Ebenheit und besonders Schutz für alles Holzwerk verleihen. Wenn der darunter befindliche Bohlenbelag nicht dicht sein sollte, so würden die hindurchtretenden Quellen sofort bei der Ausmauerung sich in dem frischen Mörtel ihren Weg suchen und diesen mit der Zeit unfehlbar vergröfsern. Der Schutz des Holzwerks, besonders des Bohlenbelags, gegen zufällige Angriffe von oben ist aber sehr nützlich. Bei den zum Spülen oder für Entwässerung eingerichteten Schleusen, wie z. B. der Papenburger Schleuse, welche etwa 12000 ha Land entwässert, auch mit Rücksicht auf das Austreten des durch Thorschütze oder Umläufe tretenden Wassers ist eine ebene Oberfläche durchaus notwendig zur Erzielung eines ruhigen Abflusses. Etwaige Wirbel würden aufserdem das Holz noch stärker angreifen, als das glatt fliefsende Wasser es ohnehin thut. Um dasselbe möglichst unschädlich zu machen ist es gut, die Ausmauerung um etwa 1 cm höher als die Oberkante des Spannbalkens vortreten zu lassen.

In vielen Fällen liegt über der Ausmauerung noch ein zweiter Bohlenbelag. Es ist diese Anordnung namentlich in Holland, wo die Schleusen sehr oft auch als Entwässerungsschleusen dienen, in Gebrauch. Sie erscheint jedoch für die Dichtigkeit des Bodens entbehrlich, weil es unmöglich sein wird, über Mauerwerk Holz dicht zum Anschlufs zu bringen und die Bohlen selbst, ohne sie in Felder zwischen Zangen einzuteilen, in der grofsen Fläche schwerlich dicht zu bekommen sind. Für die Bodenstärke würde eine entsprechende Erhöhung der Spannbalken weit wirksamer und billiger sein. Da aufserdem die Kosten der Bohlen selbst nicht unbedeutend sind und die Dicke derselben die Mafse des Mauerwerks vergröfsert, so kann ihr Nutzen nicht anerkannt werden.

Wo dagegen an einzelnen Stellen, in Vorschleusen u. s. w. nur ein Bohlenbelag ohne Spannbalken und Zwischenmauerung liegt, wird stets ein zweiter, die Fugen des ersteren überdeckender und der Haltbarkeit wegen aus Eichenholz bestehender Bohlenbelag anzubringen sein. So ist z. B. nach F. 7, T. V in der Vorschleuse der grofsen Papenburger Schleuse und ebenso nach F. 20, 22 u. 23, T. VI in den Thorkammern der dortigen kleinen Binnenkanal-Schleuse, sowie neben denselben ein doppelter Bohlen-

belag hergestellt. — In dem letzteren Falle, wo die Sohle der Kammer fast in der Höhe des Unterdrempels liegt, erschien ein schräger Übergang aus der unteren Thorkammer in den Kammerboden (F. 22) wegen Reinhaltung der ersteren, sowie auch konstruktiv günstiger als ein senkrechter Absatz des Bodens.

Drempel. Den wichtigsten und schwierigsten Teil des Holzbodens bildet endlich der Drempel. Es mufs zunächst von einer so unklaren Konstruktion wie bei der auf T. VI, F. 9 dargestellten Weichselschleuse abgesehen werden. Es läfst sich unzweifelhaft für Schleusen von mäfsiger Gröfse ein Drempel in reiner Holzkonstruktion ebenso dauerhaft und dabei weit leichter wasserdicht herstellen, als auf Holzboden ein steinerner Drempel. Eine zweckmäfsige Konstruktion ist die in F. 7, 8, 9 u. 10, T. V dargestellte. Hier ist nun zunächst zu bemerken, dafs für die senkrechte Höhe des Drempels über dem Thorkammerboden die bei Besprechung der steinernen Böden erörterten Regeln (s. S. 114 u. 115) gelten. Bei Holzböden sucht man jedoch dies Mafs möglichst zu beschränken und da aufserdem diese nur bei Schleusen bis zu mittlerer Gröfse genommen werden sollten, so darf für Holzdrempel 40 cm als die gröfste Höhe angesehen werden. Es würde zu unverhältnismäfsig dicken und schwer zu beschaffenden Hölzern führen, wenn man die Spannbalken nur bis an die Drempel gehen lassen und aufserdem die Drempelhölzer unmittelbar auf den ersten Bohlenbelag legen wollte. Dies ist bei der Papenburger Schleuse dadurch umgangen, dafs unter dem ganzen Drempel eine Lage von 17 cm starken Spannbohlen dichtschliefsend gelegt ist, von denen aufserdem zwei etwas stärkere noch in den unteren Bohlenbelag eingreifen. Auf dieser, die Grundlage des Drempels bildenden und durch starke Bolzen auf die betreffenden Grundbalken befestigten Holzschicht ruht der Drempel selbst. Seine immerhin noch reichlich 50 cm dicken Eichenhölzer liegen mit ihrer Unterkante um 17 cm tiefer als die Oberkante der nächsten Spannbalken, und sind gegen Horizontalverschiebung dadurch geschützt, dafs der Zwischenraum zwischen den Schlagschwellen und den Spannbalken durch 17 cm dicke, keilig eingetriebene Eichenstücke ausgefüttert ist. Ebenso sind auch, wie aus F. 2 zu ersehen, die Zwischenräume zwischen den Schlagschwellen und der Haupt- oder Mittelschwelle durch 50 cm hohe Holzklötze ausgefüllt. Auf diese Weise besteht der Drempel von dem Rostbelage ab aus 68 cm dickem Holze, welches völlig scharf behobelt und aufserdem in allen horizontalen Hauptfugen mit geteertem Fliefspapier gedichtet ist. Wie aus F. 8 ersichtlich, greifen nicht allein die Enden der Mittelschwellen, sondern auch die der Schlagschwellen unter das Mauerwerk. Diese Hölzer sind durch starke horizontale Schraubbolzen an den Enden und aufserdem durch geeignete Schienen unter sich und mit den in der Mittellinie der Schleuse liegenden „Königsstücken“ verbunden. Sodann sind in etwa 1,5 m Entfernung 5 cm dicke Spitzbolzen durch starke Schläge bis in die betreffenden Grundbalken getrieben und dadurch die Drempelhölzer vor der etwaigen Gefahr des Aufhebens durch die Schleusenthüren geschützt. — Diese reine Holzkonstruktion war insofern von der üblichen abweichend, als bei den meisten Holzdrempeln der Zwischenraum zwischen den Schwellen mit Mauerwerk ausgefüllt und dann mit etwa 7 cm dicken Bohlen, die in Falzen der Drempelhölzer liegen, bedeckt ist. Es bedarf wohl keines Beweises, dafs diese Ausfüllung nicht entfernt dieselbe Dichtigkeit gewährt, als jene durchweg aus Holz gebildete, da eine Lockerung und Zerstörung des gewöhnlichen Mörtelmauerwerks infolge der Erschütterungen, welche ein ungeschicktes Schliefsen der Thore verursacht, nicht ausbleiben kann. Wesentlich besser ist in dieser Beziehung die bei der Kesselschleuse des Ems-Jade-Kanals (siehe § 2 und § 13 am Schlufs) an-

gewandte Ausfüllung mit Asphaltbeton, da dieses Material eine gewisse Elasticität besitzt und infolge dessen den Stöfsen besser widersteht.

Endlich ist in Papenburg noch der bei älteren Holzböden gebrauchte und zum Tragen der Zapfenpfannen (§ 20) dienende „Pfannenbalken“ dadurch glücklich beseitigt, dafs eine 17 cm dicke und 44 qcm grofse gufseiserne Zapfenplatte zwischen die vorhin erwähnten Futterhölzer auf die Spannbohlen gesetzt ist. Der Pfannenbalken giebt durch seine vielfachen Überschneidungen oft Veranlassung zu Undichtigkeiten und ist deshalb nicht zu empfehlen.

Da nach Vorstehendem die sämtlichen Holzkonstruktionen eines Schleusenbodens mit der allergröfsten Genauigkeit ausgeführt werden müssen, hierzu aber nur besonders zuverlässige Zimmerleute verwendbar sind, so ergiebt sich eine verhältnismäfsig lange Arbeitszeit. Sehr schwierig wird die Arbeit bei starkem Wasserandrange, namentlich wenn zeitweilig aufsergewöhnlich hohe Fluten, z. B. an der See, eintreten. Wenn in solchen Fällen die Grundpfähle nicht genügende Tiefe in dem festen Boden erhalten haben, so ereignet sich bei noch unbelastetem aber übrigens geschlossenem Boden wohl ein Auftreiben des ganzen Bodens. Dies soll z. B. bei der im Jahre 1848 erbauten, 22 m weiten Dockschleuse zu Bremerhaven, während einer hohen Flut, wobei etwa 14 m Wasserunterschied vorhanden war, zum Teil bis zu 30 cm Höhe geschehen sein. Wegen dieser Gefahren und der langen Dauer der Ausführung wird bei grofsen Schleusen jetzt bekanntlich der Steinbau bevorzugt.

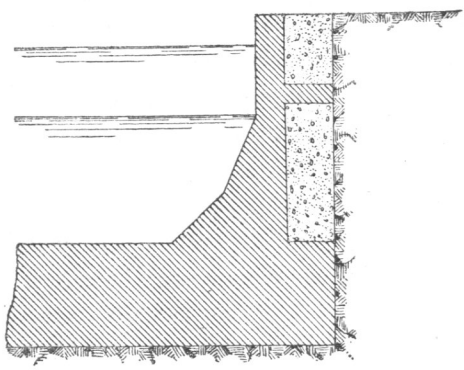
§ 10. Steinerne Wände. Dieselben sind, wie bereits erwähnt, sowohl bei hölzernen als auch bei steinernen Böden anwendbar. Da das Mauerwerk an das Holz nicht anbindet, so haben die steinernen Wände auf hölzernem Boden gröfsere Ähnlichkeit mit auf Rost gegründeten Kaimauern, vor denen sie aber den wesentlichen Vorzug haben, dafs ein Verschieben des Mauerfufses durch den Erddruck nicht stattfinden kann, weil der hölzerne Boden zwischen den beiden einander gegenüberliegenden Wänden dies verhindert. Dagegen ist ein Vornüberneigen, ein Kippen um die innere Unterkante bei ungenügender Standsicherheit nicht ausgeschlossen. Um die Standsicherheit zu erhöhen, wird man wie bei Futtermauern den Fufs möglichst vorziehen und die Innenfläche mit Anlauf versehen, wiewohl dies oft nur in beschränktem Mafse statthaft ist. Auch eine Verankerung der Mauer mit dem Rost an ihrer Rückseite (vergl. § 6) wirkt günstig auf die Standsicherheit. Die Wände von Schleusen mit steinernen Böden dagegen bilden mit diesen ein Ganzes und sind bei gleicher Form und Gröfse von Hause aus standsicherer, indem sie mit der Sohle durch den Mörtel verbunden sind, wenn man auch dem Mörtel keine sehr bedeutende Zugfestigkeit zutrauen will. Auch hier könnten an der Rückseite der Wand eiserne Anker, die bis zur Unterkante der Sohle reichen, vielleicht mit Nutzen verwendet werden.

Es ist ferner ein Unterschied zu machen zwischen den Wänden der Thorkammern und denjenigen der Schleusenkammer. Bei Verwendung der immer noch am meisten gebräuchlichen Stemmthore ist es für die Wände der Thorkammern ein unbedingtes Erfordernis, dafs sie unbeweglich stehen, weil bei jeder Bewegung derselben die Dichtigkeit der Thore leiden mufs, ja ihr ganzer Bestand in Frage stehen kann. Da dies bei einflügeligen Drehthoren, noch mehr aber bei Klappthoren und Schiebethoren durchaus nicht in demselben Mafse der Fall ist, so ist hierin auch ein Grund zu sehen, weshalb die Ingenieure in neuerer Zeit ihr Augenmerk diesen Thorarten wieder mehr zugewendet haben, siehe § 17. Dazu sind die meisten Thorformen derart, dafs sich die

oben angegebenen Mittel zur Herstellung einer gröfseren Standsicherheit (vorgezogener Fufs, Dossierung) bei ihnen für die Thorkammerwände ganz oder teilweise verbieten, denn sowohl die Ausbildung aller um senkrechte Achsen drehbaren Thore, als auch der Gebrauch der in § 14 zu beschreibenden Dammfalze verlangen möglichst senkrechte Innenflächen der Mauern. Nur allein für Schiebethore und Pontons dagegen, aber nur für diese, sind dossierte Flächen und vorgezogener Mauerfufs kein Hindernis. Endlich unterscheiden sich die Mauern aller derjenigen Schleusenhäupter, welche nur nach einer Seite zu kehren haben — diesmal zu ihren Gunsten — von den Wänden der Schleusenkammer selbst noch dadurch, dafs sie, abgesehen von der Beanspruchung durch den Stemmdruck von Stemmthoren, eine gleichmäfsigere Beanspruchung erfahren, weil die Höhe des Wasserspiegels in solchen Häuptern sich wenig ändert.

Betrachtet man nun die Wände der Schleusenkammer, so folgt schon daraus, dafs mitunter dieselben ganz fehlen oder bei massiven Häuptern aus Holz bezw. bei hölzernen Wänden der Häupter aus Busch hergestellt werden, dafs sie entschieden minderwertig sind. In der That würde eine geringe Bewegung dieser Wände, wofern dadurch die Dichtigkeit nicht leidet, auch ohne Belang sein. Desgleichen wird man ihnen mindestens unterhalb des Unterwasserspiegels eine Dossierung und an der Sohle einen vorgezogenen Fufs geben können; für beides wird nur Form und Gröfse der durchzuschleusenden Schiffe mafsgebend sein. Auch oberhalb des Unterwasserspiegels wird man nur dann nötig haben, die innere Wandfläche senkrecht zu gestalten, wenn Mangel an Wasser vorhanden ist. Um auch für diesen Fall den Schwerpunkt des Mauerquerschnitts möglichst nahe an die Rückseite zu verlegen und dadurch die Mauer möglichst standsicher zu erhalten, kann man die Mauer aus festem aber verhältnismäfsig leichtem Ziegelmauerwerke herstellen, mit Aussparungen an der Rückseite, die mit möglichst schwerem Sparbeton gefüllt werden (Fig. 57).

Fig. 57.



Die obere Dicke der Mauer kann nicht ausschliefslich mit Rücksicht auf die Standsicherheit bestimmt werden, sie mufs auch genügend grofs sein, um den Stöfsen der Schiffe zu widerstehen, welche in der Schleuse verkehren. In Bezug hierauf hat die Erfahrung ergeben, dafs dieselbe bei Binnenschleusen nicht unter 0,6 bis 1 m und bei Seeschleusen nicht unter 1 bis 1,5 m je nach der Schleusengröfse zu nehmen ist, und zwar gilt dies gemeinsam für die Wände der Schleusenkammer und der Thorkammern mit Ausnahme der Thorsäulen für Stemmthore, deren Stärke nach dem Zuge der Verankerungen zu bemessen ist, vergl. § 20.

Hat man in dieser Weise unter möglichster Berücksichtigung aller Anforderungen die Profillinien für die Ansichtsflächen der Schleusenkammer einerseits und der Thorkammern andererseits festgesetzt, wobei man namentlich für letztere oft zu Formen gelangt, die in Bezug auf billige Herstellung und Standsicherheit nicht sonderlich günstig sind, so wird man bei der Ausbildung der Rückseite von Mauern, welche auf steinernen Böden stehen, und der Wahl der Hinterfüllungserde nicht minder verschiedene Umstände gegeneinander abwägen müssen. Hier ist es namentlich schwierig, die Forderungen der Standsicherheit nach § 6 mit der Bedingung zu vereinigen, dafs dem Oberwasser der

Zutritt zum Unterwasser längs der äufseren Wandflächen sicher und dauernd abgeschlossen werden soll. Für grofse Seeschleusen empfiehlt es sich daher, die Hinterfüllung der Wände an den Häuptern anders zu behandeln als diejenige der Wände längs der Schleusenkammer. Man ist hierzu auch vollkommen berechtigt, weil die Wände der Häupter der am meisten gebräuchlichen Stemmthore ohnehin wegen der Verankerungen u. s. w. eine andere Behandlung verlangen. Es empfiehlt sich, diesen Mauern eine senkrechte oder noch besser eine von unten nach oben gleichmäfsig dossierte Fläche (F. 8, T. VI) zu geben und hier womöglich plastischen Thon oder wenigstens thonhaltigen Boden zur Hinterfüllung zu verwenden, der in dünnen Lagen fest eingestampft wird.

Die Mauern der Kammer dagegen hinterfüllt man besser mit reinem, möglichst abgeschliffenem, feinem Sande und kann ihre Form dann auch so gestalten, wie es die statischen Verhältnisse und die Materialersparnis fordert. Dieser Wechsel im Hinterfüllungsmaterial bei demselben Bauwerke hat noch den Vorteil, dafs, wenn zwischen dem Thon und der Wand des Aufsenhauptes eine Wasserader entstehen sollte, diese durch Nachstürzen des Sandes an der Kammerwand sich nicht weiter ausbilden kann. Übrigens ist diese Frage nur für grofse Kammerschleusen, welche auf nachgiebigem Grunde stehen, beispielsweise für die Endschleusen von Seekanälen mit grofsen eisernen Thoren, von Wichtigkeit.

Für Schleusen im Binnenlande — grofse wie kleine — wird man meistens im stande sein, eine solche Baustelle zu ermitteln, welche ein sicheres Fundament herzustellen gestattet, das auch bei weniger günstiger Form genügende Stabilität der Mauern erzielen läfst. Als letzte Zuflucht bleibt immer das nachträgliche Einspannen einer massiven Sohle zwischen fertige Wände.

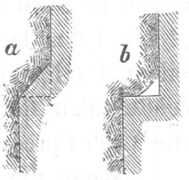
Massive Wände auf hölzernen Böden sind in dieser Beziehung unabhängiger. Wie schon in § 6 am Schlufs bemerkt, ist die Verbindung solcher Wände mit dem Holzboden, selbst wenn an der Rückseite Verankerungen vorhanden wären, keine so innige, dafs man Mauer und Boden statisch als ein Ganzes betrachten könnte. Damit fällt der Nutzen fort, welchen ein starker Erdschub gegen die Wand in Bezug auf das Biegungsmoment des Bodens in der Mitte bringen könnte. Für Schleusen dieser Bauart wird man daher plastischen Thon durchweg als bestes Hinterfüllungsmaterial empfehlen können. Selbstverständlich mufs dann jede Unterschneidung der Wände unterbleiben. Je kleiner eine Schleuse ist, desto weniger fällt auch die Ersparnis, welche eine künstliche Gestaltung des Wandquerschnittes gegenüber der unbequemeren Ausführung mit sich bringt, ins Gewicht und desto geringer werden die statischen Vorteile. Letzteres bezieht sich sowohl auf die Sicherheit der Sohle, als auch auf diejenige der Thore, denn diese sind bei kleinen Schleusen fast ausnahmslos von Holz und solchen schadet die geringe Bewegung, welche die Mauern kleiner Schleusenhäupter allenfalls machen könnten, weit weniger als eisernen.

Es ist daher vollkommen berechtigt, dafs man die Mauern der Kanalschleusen, deren Höhe 5 m selten überschreitet, möglichst einfach gestaltet und ihnen senkrechte Vorderflächen und ebensolche oder nach oben verjüngte Hinterflächen giebt. Statt der letzteren, die jedenfalls den Vorzug verdienen, wendet man der bequemeren und billigeren Herstellung wegen auch häufig Abtreppungen im oberen Teile an, während man den unteren Teil senkrecht läfst, vergl. z. B. F. 4, T. V; F. 13, T. VI und F. 3, T. VII.

Um die Abtreppungen hinsichtlich der Bildung von Wasseradern möglichst unschädlich zu machen, füllt man dieselben wohl nach Fig. 58*a* aus. Denn es mufs als

wahrscheinlich gelten, dafs die Hinterfüllungserde in der bei *b* gezeichneten Weise sich nicht dichtschliefsend in den rechtwinkligen Raum an die Mauer legen, sondern eine gewisse Fuge offen lassen werde. Je gröfser dann der Wasserdruck und je löslicher die Hinterfüllungserde, desto leichter bilden sich dadurch, besonders in gröfserer Tiefe, Wasseradern hinter der Mauer aus. Solche Abschrägungen sind in F. 4, T. V zwar nicht gezeichnet, jedoch bei der Ausführung durchweg angebracht. Aufser den Abschrägungen wendet man ferner die Vorsichtsmafsregel an, alle Abtreppungen in horizontaler Richtung mehrfach zu unterbrechen. Dies geschieht z. B. in sehr einfacher Weise dadurch, dafs die sich hinter zwei verschiedenen, aber aneinander grenzenden Mauerfluchten befindenden Abtreppungen nicht in einer gleichen Höhe zusammentreffen, dafs also die Abtreppungen des einen Mauerteils sich an dem anderen totlaufen. Wirksamer ist es jedoch, an gewissen Stellen aufserdem völlig senkrechte Rücksprünge oder sogenannte Hinterpfeiler anzubringen, welche sämtliche Wasseradern völlig abschneiden, die sich an der übrigen Mauer etwa gebildet haben. Solche Hinterpfeiler sind aufserdem für die Verankerung der Thorflügel geradezu unentbehrlich und werden deshalb zunächst hinter der Thorsäule angebracht und von da aus in entsprechenden Entfernungen an anderen geeigneten Punkten wiederholt. So sind z. B. in F. 2, T. V unter den in die Deichkrone zurückspringenden Deckplatten der Mauer auch solche senkrechte Pfeiler aufgemauert, wie aus F. 4 ebenfalls hervorgeht. Ebenso befinden sich am Binnenhaupt die in F. 6 ersichtlichen Hinterpfeiler hinter den Thorsäulen. An der in F. 2 bis 4, T. VI dargestellten Schleuse sind aufser hinter der Thorsäule des Oberhauptes noch drei senkrechte Pfeiler hinter der Schleusenkammer angebracht. Bei den an der Nordsee liegenden Schleusen des Amsterdamer Seekanals (F. 2, T. VII) sind an der nördlichen Seite neben der Entwässerungsschleuse sogar aufser den Hinterpfeilern der Thorsäulen noch zwei spundwandartige Mauern angewandt, weil hier auf einer kurzen Entfernung von etwa 20 m der ganze Wasserdruck von etwa 3 m bei Sturmflut wirksam ist. An der südlichen Seite wiederholen sich diese Mauern je einmal an dem Aufsenhaupt und Binnenhaupt der dort liegenden Kammerschleuse.

Fig. 58.



Wendenische. Von Einzelheiten ist noch die Herstellung der Wendenische zu besprechen. Die äufsere Form derselben ergiebt sich aus § 15. Für die Ausführung empfiehlt es sich, wie aus den verschiedenen Beispielen auf den Tafeln V bis IX zu ersehen, grofse in gutem Verbande liegende Quader von vorzüglicher Güte hierzu zu verwenden. Dieselben müssen sämtlich vor dem Versetzen die dem Thorrücken entsprechende Form erhalten, jedoch zweckmäfsiger nur in vorläufiger Bearbeitung mit geeigneten Werkzeugen als bereits mit geschliffenen Flächen. Das Abschleifen geschieht am besten erst dann, wenn die ganze Nische aufgemauert und der untere Zapfen versetzt ist, der Halsring für den oberen Zapfen aber in richtiger Lage angepafst werden kann, vergl. § 20. Alsdann wird die Drehaxe des geschlossenen Thores durch eine stramme Schnur genau lotrecht bestimmt und auf ihr eine um ein gewisses Mafs schwächere Schablone in der ganzen Nische auf- und niedergeführt, um zunächst alle vortretenden Stellen erkennen und abarbeiten zu können. Danach kann, etwa mit einem den Thorrücken genau darstellenden harten Holzstück von mäfsiger Länge oder mit sonst geeigneten Mitteln die Nische leicht ausgeschliffen werden. Die einzelnen Quader vor dem Versetzen zu schleifen führt fast zweifellos zu doppelter Arbeit. Wegen der Excen-

tricität der Drehaxe (vergl. § 15) wird das geöffnete Thor in der so hergestellten Wendenische mit dem gewählten Spielraume liegen.[32])

Statt der Quader sind in einzelnen Fällen mit Vorteil gufseiserne Platten zur Herstellung der Wendenischen angewandt, so z. B. bei der Schleuse zu Koekuk im Kanal des Moines in Nord-Amerika.[33]) Die einzelnen Stücke sind hinten achteckig, 0,076 m dick, 1,2 bis 1,8 m lang und haben einen Radius von 0,35 m. Die Befestigung der einzelnen Teile untereinander geschieht durch Lappen, mit dem Mauerwerk durch Bolzen. Die Wendesäulen der Holzthore sind ebenfalls mit Gufseisen armiert, vergl. § 18. Auch beim Oder-Spree-Kanal ist jene Konstruktion versuchsweise ausgeführt.

Wenn die Wendesäule wie bei den Schleusen des Amsterdamer Nordsee-Kanals sich nur mit zwei Holzleisten an die Nische lehnt, so ist die Bearbeitung derselben entsprechend einfacher. Auch bei der neuen Schleuse in Charlottenburg und bei verschiedenen Schleusen des Oder-Spree-Kanals ist das Ausschleifen der ganzen Wendenische vermieden, indem der Stemmdruck der Thore durch einzelne Gufsstahlstücke (Stützwinkel) auf die Nische übertragen wird, welche hier aber noch aus Stein besteht. Es brauchen in diesem Falle nur die Teile der Nische eingeschliffen zu werden, gegen welche diese Stahlstücke sich stützen, sowie die Anschlagsfläche der die Dichtung bewirkenden Holzteile.[34])

Mit ähnlicher Sorgfalt wie die Nischen, wenn auch ohne Ausschleifung, sind die Dammfalze zu bearbeiten. Endlich mufs als Regel gelten, dafs alle Kanten, wie z. B. der Dammfalze, mit 3 cm Radius, die der Vorschleusen und Einfahrten aber besser mit 0,1 bis 1 m Radius abgerundet werden. Bei grofsen Seeschleusen, z. B. der Geestemünder nach F. 10, T. VII und denen des Nord-Ostsee-Kanals, T. XI, F. 13 u. T. XII, F. 1 bis 6, gebraucht man sogar die Vorsicht, die Ecken mit etwa 1 m abzurunden und aufserdem etwa bis zum Niedrigwasser ganz mit Holz zu verkleiden, damit sowohl die Schleuse als auch die Schiffe möglichst geschützt werden. Über den Schutz durch sogenannte Fender siehe § 14 und 27.

Die Mauern müssen mit grofsen und starken Deckplatten abgedeckt werden, denen zum sicheren Betreten zweckmäfsig an der abgerundeten Kante ein kleiner vortretender Wulst gegeben wird.

Endlich sind in Kammerschleusen in geeigneter Höhe Ringsteine zum Festhalten und Fortbewegen kleinerer Schiffe anzubringen.

§ 11. Hölzerne Wände. Wie in § 5 bereits erwähnt, ist die Anwendung hölzerner Seitenwände zwar eine beschränkte, jedoch unter Umständen recht zweckmäfsige. Wenn auch wegen verhältnismäfsig zu schwieriger Konstruktion und zu geringer Dauer gröfsere und besonders wichtige Seeschleusen, oder wegen der zu geringen Dichtigkeit der Seitenwände fast alle frei im Flusse liegenden Schleusen von vornherein von der Holzkonstruktion ausgeschlossen bleiben, so werden namentlich Kanalschleusen, deren Bedeutung für eine gröfsere Zeit noch nicht feststeht, also z. B. die in Moorkanälen anzulegenden Schleusen, weit zweckmäfsiger ganz in Holz konstruiert als ganz oder zum Teil in Stein. Dazu kommt, dafs Moorkanalschleusen sehr oft auf weichem Untergrunde gebaut werden müssen. Eine Schleuse mit hölzernen Seitenwänden belastet aber den

[32]) Vergl. auch Rechtern und Arnold. Der Bau der zweiten Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, S. 355.

[33]) Zeitschr. f. Bauw. 1877.

[34]) Zeitschr. f. Bauw. 1886, S. 207.

Untergrund in der Regel nicht mehr, als es früher der an ihrer Stelle belegene Boden that. Bei weichem Untergrunde ist ein geringes Schleusen- oder Kanalgefälle zweckmäfsig; dies kommt der Konstruktion der Holzwände dadurch zu statten, dafs die abwechselnd nafs und trocken werdende, also dem Faulen besonders ausgesetzte Fläche kleiner wird und dafs die Höhe der Wände überhaupt eine geringere bleibt. Denn es ist nicht zu leugnen, dafs der Vorteil einer Holzkonstruktion wesentlich abnimmt, wenn die Höhe der Wände ein gewisses Mafs, z. B. etwa 4 m, übersteigt, weil alsdann schwere und teuere Hölzer zu den Ständern zu benutzen sind und namentlich auch sehr viel stärkere Verankerungen der Wände notwendig werden.

Nach diesen und den im § 5 angestellten Erwägungen darf die Anwendung von Holzwänden vorzüglich für kleinere Kanalschleusen mit geringem Gefälle und bei weichem Untergrunde als zweckmäfsig gelten und soll nur unter Voraussetzung solcher Verhältnisse die Konstruktion im Nachstehenden näher beschrieben werden. Als selbstverständlich kann dabei wohl gelten, dafs bei hölzernen Wänden auch nur hölzerne Böden und zwar der leichtesten Konstruktion vorkommen.

Ein sehr geeignetes Beispiel einer Holzschleuse bietet die in den F. 20 bis 23, T. VI in einzelnen Teilen dargestellte, von L. Franzius ausgeführte Binnenkanalschleuse zu Papenburg.[35]) Diese Schleuse ist auf Tafel XV in F. 9 als II. Verlaat (nach der dort üblichen holländisch-ostfriesischen Benennung) angegeben, aus welcher Figur ebenfalls ein Teil der ganzen Moorkanäle dieser Stadt hervorgeht. Es sei dabei bemerkt, dafs der untere jenseits der Eisenbahn liegende Teil des Hauptkanals auch für beladene Seeschiffe bis zu etwa 3,6 m Tiefgang fahrbar ist und zu der auf Tafel V mitgeteilten Schleuse an der Ems führt.

Die meisten Binnenschleusen dieser Moorkanäle, sowie viele ähnliche in Ostfriesland und Holland haben im Durchschnitt nur etwa 1 m Gefälle, dabei eine Drempeltiefe von etwa 1,9 m. Ebenso wie diese Tiefe für die kleinen, zur Abfuhr des Torfes aus den oberen Kanalstrecken dienenden Schiffe reichlich bemessen ist, indem dieselben nur etwa 1 m tief gehen, ist auch die Breite der Schleusen nach dieser Hinsicht übermäfsig grofs, nämlich 6,6 m zwischen den Thorständern, während für die Torfschiffe etwa 4 m genügt hätte. Diese gröfseren Mafse sind aus dem Grunde gegeben, um den seinerzeit sehr schwungreich betriebenen Bau hölzerner Seeschiffe auch in den oberen Strecken des Kanals ausüben zu können. Schiffe bis zu 300 Tonnen wurden dort etwa bis zum Jahre 1870 in grofser Zahl gebaut, in einem Jahre sogar 30 derselben, und leer in die Ems geschafft. Die Kammer der Schleuse hat ferner die grofse Weite von 8,9 m und eine Länge von 26 m aufser dem oberen Hinterboden und dem unteren Thorkammerboden erhalten, um gleichzeitig vier gewöhnliche Torfschiffe (sogenannte Mutten) durchschleusen zu können. Die Schleuse ist also eine Kesselschleuse, und diese Anordnung erscheint deshalb gerechtfertigt, weil jene Torfschiffe in der Zeit der Torfverschiffung stets in grofser Zahl hintereinander fahren.

Die Konstruktion der Schleuse ist mit der gröfsten Sparsamkeit durchgeführt, was wohl schon daraus hervorgeht, dafs die ganze Schleuse mit allen Nebenarbeiten nur 18900 M. gekostet hat. Die Ausführung geschah ferner nach vorheriger Anfertigung der Thore, der Drempel und aller Verbindungsteile, wie Zapfen u. s. w. in weniger als 8 Wochen. Diese Eile war geboten, um den Schiffahrtsbetrieb, sowie auch den zu beiden Seiten der Schleuse stattfindenden Strafsenverkehr so wenig als möglich zu stören. Es ist ohne weiteres klar, dafs eine derartige billige und rasche Bauweise nur bei Holzkonstruktion möglich ist. Dabei darf dieselbe in ähnlichen Fällen keineswegs als zu vergänglich gelten, wie sich z. B. die älteren und nicht einmal so gut gebauten Papenburger Holzschleusen, unter mehrfacher Erneuerung der Thore und des oberen Teils der

[35]) Die wasserbaulichen Anlagen der Stadt Papenburg, von L. Franzius. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover, Bd. XII (1866).

Wände in ihrem gröfsten Teile einige Menschenalter hindurch gehalten haben. Wie nämlich F. 20 u. 21 zeigen, liegt fast sämtliches Holz unter dem Oberwasser, welches bei dem lebhaften Verkehr so gut wie dauernd angesehen werden kann. Dafs das Oberwasser etwa 0,5 m unter der Oberkante der Seitenwände und Strafse steht, erscheint auffallend, ist jedoch durch die geringen Schwankungen desselben und das baldige Ansteigen der Ufer nach oben hin begründet. Um nämlich selbst bei starkem Wasserzufluſs des Kanals von dem etwa 5000 ha grofsen Moorgebiet in den oberen Haltungen keine Anschwellung zu bekommen, sind die Thore der Schleusen nur bis zur Höhe des normalen Spiegels verkleidet und aufserdem mit verhältnismäfsig grofsen Schützen versehen. Auf diese Weise wird der Wasserstand teils selbstwirkend, teils mit etwas Nachhilfe durch die Schleusen geregelt, sodafs nur fast unmerkliche Schwankungen eintreten. In der untersten Haltung allerdings kann bei hohem Aufsenwasser der Ems und grofsem Zufluſs der gesamten Abwässerungsfläche eine zeitweilige Überschwemmung nicht verhindert werden.

Ist schon demnach das Holzwerk der Schleuse fast gänzlich von dem dasselbe ohnehin erhaltenden Moorwasser bedeckt, so ist durch die Konstruktion der Wände Gelegenheit gegeben, nach etwaigem Abfaulen der oberen, bis zum Unterwasser reichenden Teile durch Abschneiden der Ständer in dieser Höhe das untere gesund gebliebene Holz beizubehalten und nur etwa in 1,5 m Höhe eine Aufständerung vorzunehmen. Dabei werden sogar dieselben Verankerungen bestehen bleiben können. Diese gewähren bei der vollständig geschlossenen Konstruktion durch Zugstange und Strebe eine grofse Sicherheit. Der Fufs der Wandständer stützt sich in der gröfsten Länge der Kammer aufser mit dem Zapfen noch mit dem vollen Holze gegen die aus F. 22 u. 23^b hervorgehenden Spannbalken, mit denen der Boden hauptsächlich deshalb versehen ist, um dazwischen eine Rollschicht von Klinkern zum Schutz des Bohlenbelags anbringen zu können. Im Vergleich zu dieser höchst einfachen Anordnung der eigentlichen Seitenwände als aufgeständertes Bohlwerk mufs die zuweilen angewandte Konstruktion mit eingerammten Wandpfählen als unzweckmäfsig bezeichnet werden. Es ist dabei nämlich in keiner Weise ein so guter dichter Anschluſs des Bodens an die Seitenwände zu erreichen und die Stabilität der sich gegen den Boden stützenden Ständer wird durchaus nicht von der der eingerammten Pfähle übertroffen. In dieser Hinsicht verhält sich ein gewöhnliches freistehendes Bohlwerk wesentlich anders, als die Wand einer mit festem Boden versehenen Schleuse.

Die Sicherung des Thorständers gegen den Druck und Zug der Thorflügel ist wesentlich mit Hilfe der fast bis zum Oberwasser reichenden Querspundwand beschafft, indem auf derselben ein 5 cm starker eiserner Zuganker liegt, welcher den Thorständer und den hinter der Spundwand stehenden Pfosten verbindet. Aufserdem nimmt eine gegen zwei hinter der Wand stehende Pfähle sich stützende Spreize den Druck der geschlossenen Flügel auf, und endlich wirken die in der Vorschleuse vor den Wandständern liegenden und mit dieser verkämmten Streben, sowie die oberen Wandholme, mit denen der Thorständer ebenfalls fest verbunden ist, sowohl dem Zug als dem Druck entgegen, vergl. F. 20, 21 u. 23, T. VI.

Die einzige Schwäche einer Schleuse mit Holzwänden liegt vorzugsweise in der verhältnismäfsig geringen Dichtigkeit der Wandbekleidung. Man kann indessen hierbei durch sorgfältige Bearbeitung der Bekleidungsbohlen, die trocken angebracht nach der Füllung der Schleuse noch etwas quellen, sowie durch Hinterfüllung mit fettem Thon diesem Übelstande sehr wirksam entgegentreten, wobei der geringe Wasserdruck eben-

falls von Bedeutung ist. Die Anbringung von hohen Querspundwänden neben den Thoren erscheint aber in dieser Hinsicht trotzdem unerläfslich.

Nach allem diesem dürfen Schleusen mit hölzernen Wänden unter den geeigneten Verhältnissen empfohlen werden, indem dieselben dasselbe leisten wie massive, kaum den fünften Teil der letzteren kosten, und bei etwa gesteigertem Bedürfnisse leicht beseitigt und durch gröfsere Schleusen ersetzt werden können.

§ 12. Herstellungsweise der Schleusen. In Nachstehendem soll keine ausführliche Beschreibung aller bei der Gründung von Schleusen vorkommenden Arbeiten gegeben werden, da diese sich vielfach von denjenigen bei den Gründungen im allgemeinen anzuwendenden, welche im ersten Bande dieses Handbuchs (2. Aufl.), Kap. VII behandelt sind, nicht unterscheiden. Es soll vielmehr nur das den Schleusenbauten bei den verschiedenen Gründungsarten Eigentümliche teils durch allgemeine Erörterung, teils durch Vorführung besonderer Ausführungen mitgeteilt werden.

Wie bei allen grofsen Bauausführungen hat man sich in erster Linie durch Bodenuntersuchungen (Bohrungen oder Schürfungen) möglichst eingehende Kenntnis von den Verhältnissen des Baugrundes zu verschaffen. Bei den Bohrungen ist es zweckmäfsig, mindestens einen Teil derselben mittels Ventilbohrern auszuführen, da man durch diese ein weit sichereres Bild von der Beschaffenheit der verschiedenen Bodenarten erhält, als durch ausschliefsliche Bohrung mit Wasserspülung. Dafs man die Bohrlöcher nicht in der Baugrube selbst, sondern zu beiden Seiten derselben abteufen mufs, ist wohl selbstverständlich, da Bohrlöcher in der Baugrube bei geeigneten Bodenverhältnissen künstliche Quellen erzeugen würden, die manche Bauausführung erschweren würden.

Was nun die verschiedenen Bauweisen betrifft, so ist über die Herstellung hölzerner Böden nichts zu sagen, was nicht bereits im obengenannten Kapitel, sowie in den §§ 9 und 11 dieses Kapitels mitgeteilt wäre; es handelt sich also hier nur noch um die verschiedenen Ausführungsarten steinerner Böden.

Unmittelbare Mauerung. Betonierung mit Wasserschöpfen. Die Herstellung des Bodens und Fundamentes durch unmittelbare Mauerung wird meist nur bei Felsboden oder hartem Thonboden angewendet, wiewohl diese Herstellung unter Umständen auch bei Sandboden ausführbar ist, wie wir weiter unten an dem Beispiele der Ostsee-Schleuse des Nord-Ostsee-Kanals sehen werden. Bei Felsboden würde aufser der Bildung der Drempel u. s. w. überhaupt nur eine Ausgleichung der Unebenheiten nötig sein und es wäre namentlich darauf zu achten, dafs alles Mauerwerk mit gutem Cement auf völlig reine und schlammfreie Flächen des natürlichen Bodens gelegt werde. Von Spundwänden ist alsdann völlig abzusehen. Weniger gut ist diese Art der Gründung bei Gerölle und grobem Kies, weil dabei ohne vorgängige Betonierung stets bedeutende Wasseradern bleiben und Spundwände meistens nicht angebracht werden können. Auf schwerem Thon dagegen ist das unmittelbare Mauern zweckmäfsig, jedoch mufs, falls eine Kompression desselben zu befürchten ist, die Vorsicht gebraucht werden, dafs erst die Seitenwände bis zur vollen Höhe aufgeführt und danach die Sohlen dazwischen gespannt werden, vergl. § 6. Spundwände, wenn sie anzubringen sind, erscheinen nicht ganz überflüssig, weil sich zwischen Mauerwerk und Thon immerhin Wasseradern ausbilden und den Thon aufweichen können. Ein mehrfaches Eingreifen von herdartigen Quermauern unter dem Boden würde bei recht festem Thon den nur mangelhaft einzutreibenden Spundwänden vorzuziehen sein. Ist die Thonschicht, welche unter der Sohle des Bauwerks nach Herstellung des Aushubs für die Baugrube noch

verbleibt, so schwach, dafs ein Aufbrechen durch das Grundwasser einer darunter liegenden Sand- oder Kiesschicht zu befürchten ist, so kann man sich unter Umständen in der bei der erwähnten Schleuse des Nord-Ostsee-Kanals angewandten Weise helfen, deren Ausführung zunächst kurz beschrieben werden möge.

Fig. 59 u. 60. *Schleuse zu Holtenau.*

Fig. 59. Lageplan.

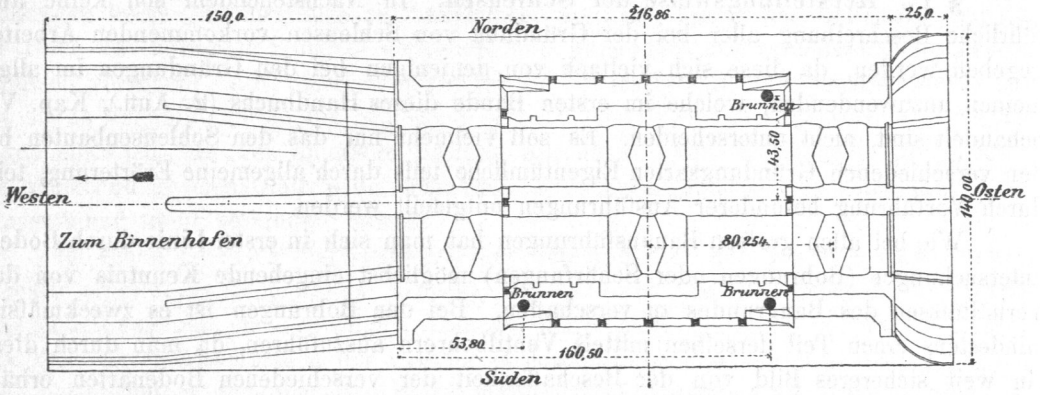
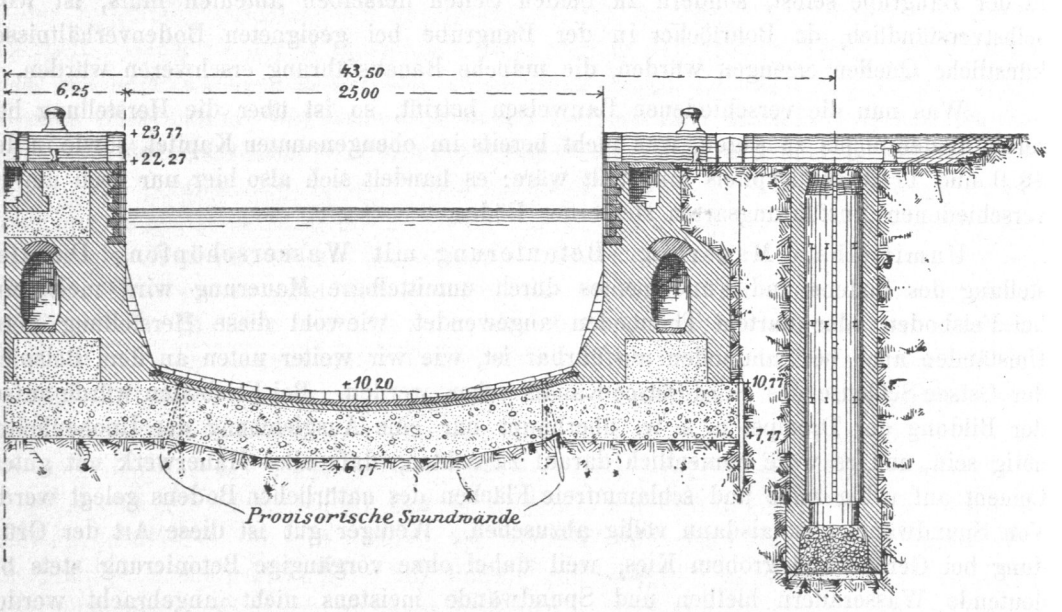


Fig. 60. Querschnitt. M. 0,0025.



Die Bodenuntersuchungen für dies Bauwerk hatten ergeben, dafs sehr wasserhaltige Sandschichten mit starken Mergelschichten abwechselten. Letztere sind mit vielen Findlingen untermischt, vollkommen wasserundurchlässig und geben bei genügender Stärke einen sehr guten Baugrund ab. Da in diesen Schichten vielfach Verwerfungen vorkommen, lag die Sohle des Bauwerks teilweise auf Mergel, teilweise auf wasserführenden Sandschichten. Das Wasser in den Bohrlöchern war Süfswasser und stieg höher als der Wasserspiegel der nahen Ostsee, es stammte also nicht aus dieser, flofs aber, wie die verschieden hohen Wasserstände in den Bohrlöchern vermuten liefsen, nach derselben ab. Aus dem ziemlich grofsen Unterschiede zwischen den Wasserspiegeln in den Bohrlöchern und dem Wasserspiegel der Kieler Förde konnte indessen geschlossen werden, dafs der Abfluſs ziemlich behindert war, sodafs man keinen bedeutenden Zufluſs von Meerwasser zu einer trocken gelegten Baugrube zu befürchten hatte. Die Trockenlegung

erschien also möglich, falls der Wasserzufluſs zu den Sandschichten zu bewältigen war, ohne den sandigen Teil des Baugrundes zu lockern.

Um sich über die zu bewältigende Wassermenge ein Urteil zu verschaffen, wurde beschlossen, neben der Baugrube einen Pumpensumpf bis einige Meter unter die Sohle des zukünftigen Bauwerks hinabzuführen, in demselben eine Pumpe aufzustellen und zu beobachten, wie weit man im stande sei, mit derselben die Wasserspiegel in den Bohrlöchern, welche rund um die Baugrube angebracht waren, zu senken. Die Bauunternehmung, welche diese Arbeit übernommen hatte, versuchte zunächst den Sumpf als Schacht in bekannter Weise abzuteufen, hatte aber damit, wie vorauszusehen war, keinen Erfolg, denn als man sich mit dem Abteufen der wasserführenden Schicht auf einige Meter näherte, brach die Sohle infolge des hohen Wasserdrucks auf, sodaſs der Schacht voll Wasser lief und auf mehrere Meter Höhe mit Sand angefüllt wurde.

Wennschon eine weitere Vertiefung des Schachtes ausgeschlossen war, so gelang es doch durch andauerndes Pumpen, aus dem Schachte die Wasserstände in den verschiedenen Bohrlöchern so weit zu senken, daſs man die Überzeugung gewann, man werde durch eine genügende Anzahl von Brunnen rund um die Baugrube herum den Grundwasserstand so tief absenken können, daſs ohne Gefahr des Aufbrechens der Mergelschichten in der Baugrube und ohne gefährliche Lockerung der sandigen Stellen daselbst das Bauwerk im Trocknen ausgeführt werden könne. Für diesen Zweck wurden vier Brunnen von rund 5 m äuſserem und 3,5 m innerem Durchmesser in Aussicht genommen, welche je zwei und zwei zu beiden Längsseiten der Baugrube auſserhalb der Spundwand mit Hilfe von Preſsluft abgesenkt werden sollten.

Von diesen vier Brunnen kamen indessen nur die in Fig. 59 dargestellten drei zur Ausführung, da sich herausstellte, daſs schon mit diesen der Zweck erreicht wurde. Die Schneide der Brunnen steht bei dem einen auf etwa — 2,1, bei den beiden anderen auf etwa — 0,45 in der wasserführenden Schicht, wobei der für den Bau des Nord-Ostsee-Kanals gewählte Nullpunkt 20 m unter N. N. liegt.

Die Sohle der Brunnen wurde zum Schutze gegen das Aufquellen des Sandes der Reihe nach von unten nach oben gerechnet mit grobem Sand, Kies und Steinschlag bezw. Steinen angefüllt (Fig. 60).

Die Brunnen wurden mit Kreiselpumpen versehen, die im Januar 1891 in Betrieb gesetzt wurden. Nach etwa $1^1/_4$ Jahren unausgesetzten Pumpens hatte sich der Wasserstand in den Bohrlöchern am Umfange der Baugrube von etwa + 22 m auf etwa + 11,75 gesenkt, in drei unter der Mittelmauer eingetriebenen Bohrrohren sogar auf nicht ganz + 7 Pegelstand, also um ganze 15 m. Da die Sohle des Schleusenbodens auf + 6,77, der Thorkammerböden auf + 5,77 liegt, so betrug die Druckhöhe des Grundwassers jetzt nur noch 0,23 bezw. 1,23 m in der Baugrubenmitte.

Die Entwässerung der Baugrube war in der That eine so ausgiebige, daſs nur an den Stellen der Sohle, an welchen die Sandschicht angeschnitten war, einige unbedeutende und in Bezug auf die Bodenlockerung vollkommen unschädliche Quellen zu Tage traten. Das Wasser dieser Quellen, sowie etwaiges Regenwasser wurde den drei Brunnen durch 30 cm weite, in Kies verlegte Thonrohre zugeführt. Unter jeder der drei Schleusenwände liegt ein Strang dieser Rohre, welche durch zwei Querstränge miteinander und mit den Brunnen verbunden und auſserdem mit kleineren Zweigleitungen versehen eine vollständige Drainage der Sohle bewirken.

Die Brunnen sollen nach Beendigung des Baues oben zugewölbt werden, damit man sie später wieder zur Entlastung der Sohle benutzen kann, wenn die Kammern einmal trocken gelegt werden sollen.[36])

Auf die angegebene Weise verlor der Bau der Schleusen bei Holtenau ganz den sonst so gefürchteten Charakter eines Wasserbaues und konnte in der bequemsten Weise vollkommen im Trocknen ausgeführt werden. Es geschah dies in der Reihenfolge, daſs man zuerst die Wände fast fertig stellte, darauf die Sohlen dazwischen spannte und schlieſslich die Seitenwände hinterfüllte. Die Betonsohlen unter den Seitenwänden wurden an ihrer unterschnittenen, der Sohle benachbarten Seite zunächst durch Streichwände begrenzt, die nach Erhärtung des Betons entfernt wurden, wie aus Fig. 60 ersichtlich.

Betonierung unter Wasser. Das Einsetzen der Sohlen zwischen die zuvor aufgemauerten Wände war ursprünglich auch für die Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals in Brunsbüttel (F. 17, T. XI und 1 bis 6, T. XII) geplant, und wäre, wie die Folge zeigte, des viel weicheren Baugrundes wegen hier auch notwendiger gewesen als in

[36]) Begleitschrift zu dem auf der Weltausstellung zu Chicago ausgestellten Modelle der Schleusen und eigene Notizen des Verfassers.

Holtenau. Nach Versuchen mit einer Anzahl eiserner Brunnen erschien indessen die Trockenlegung der Baugrube in derselben Weise wie in Holtenau nicht durchführbar, und zur Preſsluftgründung, welcher Verfasser das Wort redete, konnte man sich an maſsgebender Stelle nicht entschlieſsen.

Es wurde daher Betonierung unter Wasser, Trockenlegung nach Erhärtung der Sohle und die Aufmauerung der Wände auf derselben bestimmt. Die Folge war der durch die statischen Untersuchungen in § 6 für weichen Baugrund als unvermeidlich nachgewiesene Bruch der Sohlen in den Axen der beiden Schleusen, sowie verschiedene Querrisse, welche sowohl durch die Unterwaschung infolge von Quellen, als auch unmittelbar durch das ungleiche Gewicht der einzelnen Mauerteile hervorgerufen wurden.[37])

Hat man einen festen Baugrund, dessen Durchlässigkeit aber zu stark ist, um eine Trockenlegung nach Art der in Holtenau ausgeführten zu ermöglichen, so ist eine durchgehende Betonsohle um so mehr am Platze, je kleiner das Bauwerk ist, je leichter also eine genügende Standsicherheit auch bei dieser Ausführungsweise zu erzielen ist.

Einzelheiten des Betonierens. Indem hinsichtlich der Einzelheiten des Betonierens auf Band I (2. Aufl.), Kap. VII verwiesen werden muſs, erscheint es zweckmäſsig, die für Schleusen besonders zu beachtenden Regeln hier hervorzuheben. Da die wichtigste Eigenschaft des Betonbodens seine Wasserdichtigkeit ist, so muſs es unbedingt als unzulässig gelten, vor völliger Erhärtung des Betonbettes behufs der weiteren Mauerarbeiten das Wasser aus der Baugrube auszuschöpfen oder gar während des Betonierens einen so niedrigen Wasserstand in derselben zu halten, daſs in dem Untergrund unter dem Beton Quellen entstehen. In beiden Fällen wird das aufquellende Wasser bald durch den nicht erhärteten und immer einzelne besonders weiche Stellen enthaltenden Beton seinen Weg nach der Oberfläche finden und eine spätere Dichtung des Bodens unmöglich machen. Durch derartigen fehlerhaften Schöpfbetrieb sind manche Schleusenböden ganz oder nahezu verdorben.

Da ferner im allgemeinen langsam bindender Cement dem rasch bindenden vorzuziehen ist und ebenfalls Traſsmörtel nur langsam bindet, so muſs dem Betonbett mindestens auf 8 bis 12 Wochen, je nach der Dicke, Zeit zum Erhärten gegeben werden. Zweckmäſsig ist es also, etwa im Herbst die Betonierung auszuführen und das Betonbett den Winter über bis zum Wiederbeginn der Mauerarbeiten, völlig ohne Schöpfen, unter Wasser liegen zu lassen.

Es würde nun in einzelnen Fällen die Ausführung ungemein erschweren, wenn die Betonierung gänzlich ohne Wasserschöpfen geschehen sollte. Es wird auch gegen die vorstehende Regel nicht verstoſsen, das Wasser in der Baugrube bis zu einer solchen Tiefe zu senken, bei welcher die Spundwände eine wesentlich geringere Höhe bedürfen, aber ein Aufquellen im Untergrunde noch nicht stattfindet. Welche Höhe gegen die äuſseren Wasserstände ein solcher gesenkter Spiegel haben muſs, kann freilich mit Sicherheit in jedem einzelnen Falle nur durch sorgfältigen Versuch ermittelt werden, wenn nicht etwa darüber von vorhergegangenen Bauausführungen Erfahrungen vorliegen. Jedenfalls darf die fragliche Senkung nicht bis zu einer sandigen oder sehr lockeren Schicht von Moor, Darg u. s. w. reichen, weil alsdann ein starkes Aufquellen ganz gewiſs ist. Ebenso wird schon ein Aufquellen erfolgen, wenn der Beton selbst in einer porösen

[37]) Wie wünschenswert selbst bei wesentlich festerem Baugrunde das nachträgliche Einsetzen der Sohlenmitte ist, zeigte auch der Bau einer infolge der Herstellung des Nord-Ostsee-Kanals bei Rendsburg notwendig gewordenen neuen Schleuse. Auch diese hat nach Aufführung der Seitenwände auf der durchgehenden Sohle einen wenn auch unbedeutenden Längenriſs in der letzteren gezeigt.

wasserhaltenden Schicht liegt, und die Senkung so tief reicht, daſs der Gegendruck des gesenkten Binnenwassers kleiner wird als der thatsächliche Druck des Auſsenwassers in der Sohle der Baugrube. Dieser thatsächliche Druck ist nämlich auſser von anderen Umständen, z. B. der Dichtigkeit des Grundes, auch vorzugsweise abhängig von der Entfernung der Baugrube von dem Auſsenwasser und wegen der Bewegungswiderstände des Wassers im Boden jedenfalls kleiner als der der vollen Wasserdifferenz entsprechende Druck, vergl. § 6. Es wird also in vielen Fällen eine gewisse Senkung des Binnenwassers über der Baugrube geschehen dürfen. Dieselbe gestattet namentlich geringere Höhe der das Betonbett umschlieſsenden Spundwände, niedrigere und bequemere Gerüste für das Betonieren, falls dieses nicht von schwimmenden Flöſsen geschieht. Es wird dann ferner in Erwägung zu ziehen sein, ob die Umschlieſsungsspundwände allein die nötige Dichtigkeit und Steifigkeit besitzen, um nach Erhärtung und Trockenlegung des Betons das vom Rande der Baugrube eindringende Wasser oder feuchte Erdreich von dem Betonbette abzuhalten. Wenn dies voraussichtlich nicht der Fall ist, werden, wie z. B. bei der Geestemünder Schleuse nach F. 11 bis 16, T. VII und bei der Hamelner Schleuse (F. 14, T. VI), seitliche Dämme von Beton aufgeführt, welche nachher ohne Schaden als ein Teil des Mauerwerks angesehen werden können, weil die Drucklinie der hinterfüllten Mauer sehr weit nach vorn liegt. Wenn jedoch Umlaufskanäle in dem hintern Teil der Mauer liegen müssen, so kann es zweckmäſsiger sein, die Betonwand wenigstens teilweise wegzulassen, um entweder die Mauer nicht zu sehr zu schwächen oder nicht eine zu groſse Breite des Betonbettes nötig zu haben. So sind z. B. bei der Hamelner Schleuse Betondämme neben den Seitenspundwänden nur streckenweise angewandt.

Fig. 61.

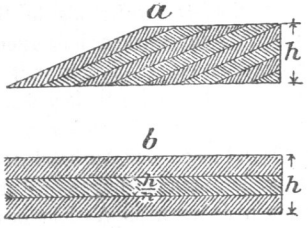
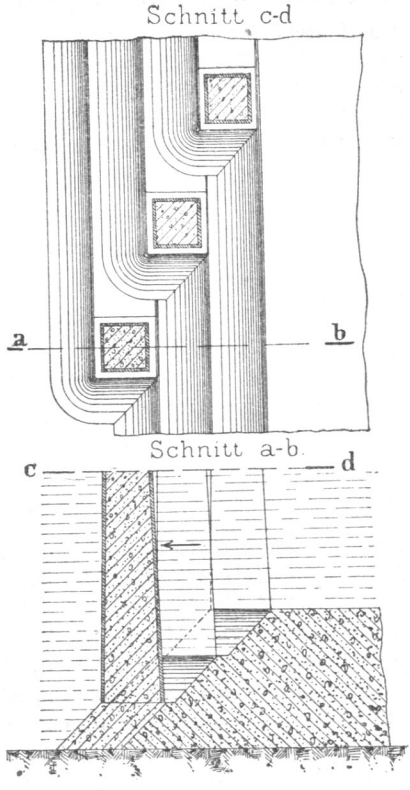


Fig. 62.



Die Versenkung des Betons geschieht bei grossen Baugräben in der Regel mittels Kästen von schwimmenden Gerüsten, wiewohl im allgemeinen die Betonierung mit Hilfe von Trichtern empfehlenswerter ist, weil der Beton dabei nicht in so kleinen Partien eingebracht, und daher weniger vom Wasser umspült wird. Der Schlamm, welcher sich bei der Betonierung bildet — und zwar bei dem zähen Traſsbeton weniger, als bei dem loseren Cementbeton — muſs unten durch Pumpen vorsichtig vor der fortschreitenden Schüttung abgesogen werden, damit er die fertige Lage nicht überflute und das Anbinden der nächsten verhindere.

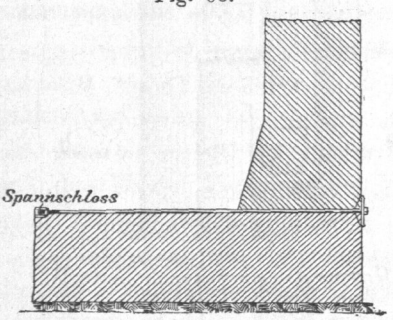
Am festesten und gegen Biegen am widerstandsfähigsten wird die Betonsohle, wenn man dieselbe von einem Ende der Baugrube beginnend und in schrägen Lagen schüttend sogleich in der vollen Stärke ausführt, wie Fig. 61*a* andeutet, nicht aber mehrere horizontale Lagen übereinanderlegt, wie es meistens geschieht (Fig. 61*b*).

Mit Trichtern läfst sich dies in der Weise erreichen, dafs man mehrere derselben von verschiedener Länge auf einem fahrbaren Gerüst unmittelbar hinter- und nebeneinander quer durch die Baugrube bewegt, wie Fig. 62 zeigt. Die Verschiebung des Gerüstes in der Richtung des Pfeiles nach Beendigung einer Querlage darf dann nur etwa eine Trichterbreite betragen. Mit Betonkästen ist die Schüttung in schrägen Lagen schwieriger, aber immerhin möglich.

Bei dieser Schüttungsweise wird das Betonbett offenbar viel zusammenhängender, als bei horizontalen Lagen übereinander, von denen erst die eine ganz fertig gestellt wird, bevor man mit der nächsten beginnt, weil sowohl wegen der Schlammablagerungen als auch wegen des ungleichen Erhärtungszustandes eine feste Verbindung zwischen denselben nicht stattfinden wird. Die Festigkeit eines Betonbettes von der Höhe h aus schrägen Lagen nach Fig. 61 *a* verhält sich näherungsweise zur Festigkeit eines solchen aus n horizontalen Lagen von gleicher Gesamthöhe, wie diejenige eines Balkens von der Höhe h zu derjenigen von n Balken der Höhe $\frac{h}{n}$, also wie $h^3 : \left(\frac{h}{n}\right)^2 n$ oder wie $h^2 : \frac{h^2}{n}$.[38]) — Auf alle Fälle hüte man sich, während der Betonierung längere Pausen eintreten zu lassen, da man dann gewärtigen mufs, an der Unterbrechungsstelle starke Quellen zu bekommen.[39])

Zur Verstärkung der Zugfestigkeit von Betonsohlen, die im ganzen ausgeführt sind, könnte man mit Vorteil eine Querverankerung anwenden, die vor Beginn der Aufmauerung der Wände oben in die Sohle eingelegt würde. Bei den Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals in Brunsbüttel ist eine solche bei den Häuptern versucht und zwar in Gestalt von $^{30}/_{30}$ cm starken hölzernen Spannbalken, die ausgeklinkt waren und in die Oberfläche des Betonbettes eingelassen, 1 bis 2 m mit ihren Enden unter die Seitenwände reichen, s. T. XII, F. 1—6. Abgesehen davon, dafs diese Balken das Betonbett schwächen, und sich niemals genügend mit dem Beton verbinden, ist die ganze Verankerung infolge der notwendigen Stöfse eine viel zu nachgiebige, um das Betonbett genügend gegen das Aufbrechen schützen zu können, wie auch der trotz der Verankerungen erfolgte Bruch zeigte. Zweckmäfsiger erscheinen daher nach Ansicht des Verfassers eiserne Anker, die man schon in Spannung versetzt, bevor im Betonbette bedeutende Zugspannungen auftreten. Man müfste also zu diesem Zwecke, nachdem das Betonbett trockengelegt ist, in die Oberfläche desselben kleine Querrillen zur Aufnahme der Anker hauen, die bis zur Hinterkante der Seitenwände reichen (Fig. 63).

Fig. 63.



In diese Rillen werden die Anker eingelegt und an beiden Enden zur Verteilung des Druckes mit grofsen gufseisernen Platten versehen. Um die Anker anziehen zu können, bekommt entweder das eine Ende derselben eine grofse Mutter, oder sie erhalten in ihrer Mitte ein Spannschlofs und alsdann an beiden Enden nur Köpfe. Letztere Anordnung ermöglicht es, die Hinterfüllung der Seitenwände fortlaufend mit ihrem Anwachsen vorzunehmen. Ob mit dieser eine Entlastung oder eine Mehrbelastung der Sohle erreicht wird, hängt allerdings, wie in § 6, S. 78 erwähnt, von der Richtung der Erddruck-Mittelkraft und der Breite des Bauwerks ab, indem bei breiten Schleusen nur ein Erddruck mit sehr kleinem Böschungswinkel die Sohle entlasten wird.

Soweit die Anker vom Mauerwerk überdeckt werden, streicht man dieselben, falls das Anziehen durch eine Mutter am Ende geschieht, mit Talg an, damit der Mörtel sie zwar wasserdicht umhülle, aber nicht an ihnen hafte und ihre Dehnung verhindere. Im übrigen bleiben sie in den Rillen der Betonsohle vorläufig unbedeckt liegen. Wenn nun die Seitenwände aufgemauert werden, zieht man die Anker nach

---

[38]) L. Brennecke. Herstellung grofser Betonbetten unter Wasser. Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 5.

[39]) Wegen der Dichtung solcher im Betonbett sich zeigenden Quellen wird auf folgende Mitteilungen in der Fachlitteratur verwiesen: Engineering 1882, Febr., S. 183, auszüglich auch in der Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1882, S. 593. — Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 444. — Wochenblatt f. Arch. u. Ing. 1881, S. 371 u. 524. — Fortschritte der Ingenieurwissenschaften. Zweite Gruppe, 2. Heft, S. 24.

und nach an, und zwar so stark, als es ohne Schädigung des Mauerwerks der Seitenwände irgend statthaft ist. Auf diese Weise kann man die Zugspannungen, welche das wachsende Gewicht der Seitenwände in der Oberfläche der Betonsohle erzeugen mufste, fortlaufend ganz oder wenigstens gröfstenteils auf die Anker übertragen, somit die Sohle vor dem Aufbrechen in der Mitte schützen. Nach Fertigstellung der Wände werden die Anker in der Sohle vollständig mit Beton umhüllt.

In Brunsbüttel hat man die hölzernen Anker den eisernen vorgezogen, weil man fürchtete, dafs das Eisen trotz der Einmauerung verrosten könnte, sodafs alsdann der Schleusenboden für spätere Trockenlegungen der Kammern zu schwach wäre. Die hölzernen Anker dagegen seien als unvergänglich zu betrachten, da sie stets unter Wasser liegen. Demgegenüber ist zu bemerken, dafs bei späteren Trockenlegungen der Schleusen die Sohlen niemals wieder so ungünstig beansprucht werden, als während der Bauzeit. Denn erstlich wird bei späteren Trockenlegungen nach § 6 der Druck gegen die Seitenwände gröfser und namentlich günstiger gerichtet sein, als während der Aufmauerung, wo der Wasserdruck gegen diese fehlte, indem sie nur mit trockener Erde hinterfüllt waren, und zweitens wird dann das Mauerwerk der Sohle eine ganz andere Festigkeit besitzen. Dasselbe hat endlich alsdann auch noch ein gröfseres Gewicht, da die Verblendung fertiggestellt ist.

Man könnte die Sohle vielleicht auch nach Art des Monier-Systems durch einfaches Einlegen einer grofsen Anzahl dünner Eisenstäbe verankern (vergl. § 13), wobei infolge der grofsen Umfläche der vielen Stäbe ein sehr inniger Verband zwischen Eisen und Beton erzielt würde, während allerdings kleine Risse wegen der weit gröfseren Elasticität des Eisens kaum zu vermeiden sein würden.

Gründung auf Brunnen. Eine eigentümliche Gründungsweise ist bei einigen Schleusen zu Bordeaux angewendet worden. Wie aus F. 4 bis 6, T. VII ersichtlich, liegen unter den beiden Seitenmauern, der Mittelmauer und unter den äufseren und inneren Begrenzungen der Vorschleusen dicht nebeneinander riesige Blöcke oder Senkbrunnen, welche ein Rechteck von 205 m Länge und etwa 57 m Breite umschliefsen. Dieselben haben unter den Seitenmauern im Durchschnitt 6 m Breite und 16 bis 35 m Länge, unter der Mittelmauer 9 m Breite und etwa 15 m Länge. Dabei reichen die Blöcke nach ihrer Versenkung bis zu durchschnittlich 14 m unter dem natürlichen Terrain oder etwa 13 m unter der höchstbekannten Flut bis auf den in dieser Tiefe vorhandenen groben Sand. Der Grund für die Versenkung so kolossaler Brunnen war, dafs zu beiden Seiten neben den zu erbauenden Schleusen in grofser Nähe Häuser standen und zwar auf einem sehr nachgiebigen Boden von weichem Thon. Man befürchtete daher bei einer offenen Aushebung der Baugrube bis zu der notwendigen Tiefe des festen Sandes das Einrutschen der Ufer und Einstürzen der Häuser. Durch das allmähliche Einsenken der grofsen Blöcke und das damit entsprechend fortschreitende Ausheben der von ihnen umschlossenen Grube erwartete man dagegen zwar eine mäfsige Austrocknung und Senkung des umliegenden Terrains, aber eine vor ernstlichen Unfällen sichere Bauausführung. Dies hat sich soweit bekannt auch bestätigt.

Diese Bauweise bietet zwar den Vorteil, dafs die Sohle nachträglich zwischen die fertigen Seitenwände eingebaut wird, dafs mithin nach § 6 die Standsicherheit derselben leichter erreicht werden kann. Die aus einzelnen, wenn auch nachträglich verbundenen Blöcken zusammengesetzten Mauern dürfen aber ebenso wenig als mustergiltig empfohlen werden, wie die dort angewendete, den Baugrund lockernde Wasserhaltung.[40])

Prefsluft-Gründung. Die Gründung mittels Prefsluft ist bei Schleusen und Dockbauten im Auslande bereits vielfach, in Deutschland aber bis jetzt (1894) noch nicht in Anwendung gekommen. Wenn diese Bauweise namentlich dann, wenn sie wie bei uns überhaupt noch wenig im Gebrauch ist, bei der Veranschlagung vielleicht teurer

---

[40]) Näheres über diesen Bau siehe in „Friedmann. Offizieller Bericht über das Marinewesen auf der Weltausstellung 1873 zu Wien", 1874, und in den Notices sur les dessins et modèles exposées à Vienne 1873, relatifs aux travaux des ponts et chaussées, réunis par les soins du ministère des travaux publics. Paris 1873.

erscheint, als irgend eine andere, so hat sie jedenfalls den grofsen Vorzug, dafs sie in den schwierigsten Verhältnissen schnell und sicher zum Ziele führt und keine Anschlagsüberschreitungen befürchten läfst, was von den offenen Gründungen gerade bei Schleusen nicht immer behauptet werden kann. Sie empfiehlt sich daher besonders für sehr schwierigen Baugrund von geringer Festigkeit. Man hat dabei zwei verschiedene Wege eingeschlagen. Bei dem früher ausschliefslich benutzten wurde ein eiserner Senkkasten, dessen Grundfläche gleich derjenigen der ganzen Schleuse oder des Trockendocks war und der über der Decke wasserdichte Wände mit Aussteifungen erhielt, auf der vorher meist durch Baggern schon genügend vertieften Baustelle schwimmend versenkt, indem man über der Decke desselben das Sohlenmauerwerk und dasjenige der Seitenwände aufführte. Hatte der Senkkasten den Grund erreicht, so wurde er mit Preſsluft gefüllt und von Arbeitern bestiegen, welche den Boden ebneten und schliefslich den Senkkasten mit Beton anfüllten.

Die ersten Bauwerke, welche in dieser Weise zur Ausführung kamen, waren zwei Trockendocks zu Toulon von 144 m Länge und 41 m äufserer Breite. Es ergab sich hierbei, dafs es aufserordentlich schwierig war, den grofsen schwimmenden Senkkasten durch das Mauerwerk gleichmäfsig zu belasten, sodafs sich bedeutende Verbiegungen zeigten. Jede Verbiegung aber war gleichbedeutend mit einem Rifs in dem über der Decke aufgeführten Mauerwerke; die Festigkeit und Dichtigkeit desselben konnten somit auf diese Weise schwer gewahrt werden. Dies mag auch wohl die Ursache gewesen sein, weshalb bei der zweiten derartigen Ausführung, dem Trockendock in Saigon, statt des einen zwei halb so grofse Senkkasten möglichst nahe aneinander versenkt wurden, über deren jedem das halbe Dock fertiggestellt wurde. Nach Entfernung der trennenden eisernen Querwände über den beiden fertig versenkten Senkkasten wurden alsdann die beiden Dockhälften durch Beton zu einem Ganzen verbunden.

Beide Ausführungen haben nur noch historischen Wert und möge daher auf die Quellen: Engineering 1879, April, S. 287, 331 u. 376 oder Annales industrielles 1878, Juni, S. 777, Juli, S. 18 u. 38 bezw. für das zuletzt genannte Dock auf: Annales des travaux publics 1885, S. 1383 verwiesen werden.

Je kleiner die eisernen Senkkasten sind, desto leichter wird man das Mauerwerk vor Rissen bewahren können. Es würde daher ganz gerechtfertigt sein, wenn man bei grofsen Kammerschleusen nur die beiden Häupter auf je einem Senkkasten von mäfsiger Gröfse gründete, die Schleusenkammer dagegen je nach den vorliegenden Baugrund-Verhältnissen, sei es mit oder ohne Preſsluft, getrennt ausführte. Aus dem angegebenen Grunde erscheint die Preſsluft-Gründung mit verloren gehendem, eisernen Senkkasten namentlich dann berechtigt, wenn es sich um die Herstellung einer einfachen Dockschleuse handelt, wie bei dem Halbtide-Bassin zu Dieppe.[41])

Besondere Schwierigkeiten bietet stets die Ausfüllung der Senkkasten und zwar wegen der wagerechten Decke. In Dieppe stopfte man den Beton mit langen vorn zugeschärften Stäben unter dieselbe und glaubt den Zweck vollkommen erreicht zu haben, weil nach dem Auslassen der Preſsluft nur in zwei Schachtrohren trotz des Überdruckes von 10 m das Wasser aufstieg. Es dürfte dies aber nur beweisen, dafs die Decke unmittelbar neben den 10 dichten Schachtrohren gut unterfüllt war, und dafs die 10 Schachtrohre selbst in ihrem unteren Teile gut ausgefüllt wurden. Einen Schluſs auf

[41]) Ann. des ponts et chaussées 1887, II, S. 535.

die Dichtigkeit unter der ganzen Decke daraus ziehen zu wollen, ist entschieden unzulässig.[42])

Wenn schon bei der zuletzt erwähnten Ausführung der an den beiden ersten gerügte Nachteil des Reifsens der Mauerkörper möglichst vermindert ist, so haben alle drei doch den einen gemeinsamen und niemals zu vermeidenden Mangel, dafs das ganze Mauerwerk und namentlich dasjenige der Sohle von Eisenteilen durchsetzt, letzteres sogar durch die Blechdecke des eigentlichen Senkkastens in zwei voneinander getrennte Mauerblöcke zerlegt ist.

Da es sehr schwer, wenn nicht unmöglich ist, die Ecken der einzelnen Winkeleisen und der Abteilungen des Senkkastens namentlich unter der Decke mit Beton oder Mauerwerk vollkommen dicht auszufüllen, so wird das Eisen voraussichtlich mit der Zeit durch Rost zerstört werden und es ist nicht ausgeschlossen, dafs sich Wasseradern bilden, welche die Sohle durchziehen, soweit die eisernen Träger reichten.

Diese und ähnliche Erwägungen haben dazu geführt, die Prefsluft in einer Weise zur Ausführung von Docks und Schleusen zu verwenden, welche einen ganz gleichmäfsigen Beton- oder Mauerkörper zu liefern im stande ist. Der eiserne Senkkasten, welcher an schwimmenden Gerüsten hängt oder auch als ein selbständig schwimmender Körper eingerichtet ist, wird bei diesem Verfahren genau wie eine Taucherglocke benutzt, unter der das Mauerwerk stückweise, aber in unmittelbarem Zusammenhange der einzelnen Teile untereinander hergestellt wird.

Auf die Einzelheiten dieser Herstellungsweise, sowie der Taucherglocken, Luftschleusen und der Prefsluftgründung überhaupt hier näher einzugehen, würde zu weit führen. Es mufs dieserhalb auf Kapitel VII des ersten Bandes (2. Auflage) und auf Kapitel XII des vierten Bandes (1. Auflage) dieses Handbuches, sowie auf folgende Quellen verwiesen werden:

Luftdruckgründung mit Wiedergewinnung des Senkkastens vom Verfasser. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 207 u. 231. Original: Ann. des ponts et chaussées 1884, II, S. 272.

L. Brennecke: Anwendung der Prefsluftgründung beim Molenbau. Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 260.

Revue industrielle 1879, S. 133.

Der „Grundbau“ von L. Brennecke. Handbuch der Baukunde, Abt. III, Heft 1.

Bei Anwendung der fraglichen Bauweise wird man die Schleuse, soweit es angeht, nur im Rohbau unter der Taucherglocke fertig stellen, die Verblendung aber nachträglich in freier Luft anbringen. Lag das Bauwerk während der Prefsluftgründung im offenen Wasser, so schliefst man den Rohbau an beiden Häuptern durch einen später wieder fortzubrechenden Betonfangdamm, oder auch nur durch eine Holz- oder Eisenkonstruktion wasserdicht ab und pumpt das Innere desselben zur Vornahme der Verblendung und zur Montierung der Thore trocken. Liegt das Bauwerk dagegen von Spundwänden umgeben in einer geschlossenen Baugrube, so kann man diese jetzt, nachdem die Sohle undurchlässig geworden ist und sobald nach Bedarf auch noch die Böschungen der Längsseiten durch Hinterfüllung der Schleusenwände mit undurchlässigerem Boden dicht gemacht sind, leicht trocken legen.

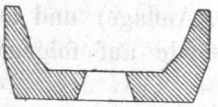
Verfasser ist der Ansicht, dafs es zweckmäfsiger ist, den ganzen Rohbau aus Beton herzustellen, als denselben zu mauern. Einesteils ist das Einbauen des Betons

[42]) Auch für Verlängerung bereits fertiger Docks oder Schleusen läfst sich das eben beschriebene Verfahren mittels eiserner Senkkasten verwenden; vergl. Engineering 1893, 12. Juli, S. 92.

unter der Taucherglocke bequemer als das Mauern, es ist also wahrscheinlich schon aus diesem Grunde die Güte des Betons gröfser als die des Mauerwerks. Noch mehr wird dies aber deswegen der Fall sein, weil beim Beton die Dichtigkeit weit mehr vom Mischen desselben abhängt als vom Einbauen, beim Mauerwerk dagegen fast ausschliefslich vom Maurer, weniger dagegen von der Mischung des Mörtels. Das Mischen des Betons und Mörtels aber geschieht aufserhalb der Prefsluft und kann deshalb sehr sorgfältig überwacht werden.

Hat man einen ausreichend festen Baugrund, so führt man zuerst die Sohle in ganzer Ausdehnung aus und verwendet hierfür am zweckmäfsigsten eine grofse Taucherglocke von beliebiger Breite, aber einer Länge, welche der Breite der Schleusensohle entspricht. Für neue auf Felsen gegründete und von Zschokke ausgeführte Trockendocks in Genua hatte z. B. die für die Betonierung der Sohlen verwendete Glocke eine Länge von 36 m und eine Breite von 32 m. Für die Seitenwände dagegen ist es bequemer, je nach der Zeit, welche man auf deren Herstellung verwenden will, mehrere kleinere, an schwimmenden Rüstungen hängende Senkkasten von beliebiger Länge, aber einer Breite, die durch die Stärke der Seitenwände im Rohbau bestimmt wird, zu verwenden. Bei den genannten Docks waren diese kleinen Glocken 20 m lang bei etwa $6^1/_2$ m Breite. Dieselbe Gröfse hatten die Glocken, mit denen in der Bai von Talcahuana (Chile) die Wände eines 200 m langen Docks hergestellt wurden, dessen Sohle, da der Baugrund genügend dicht und fest war, nachträglich im Trocknen eingefügt wurde. Die Seitenwände bestanden hier aus Mauerwerk (nicht aus Beton).[43])

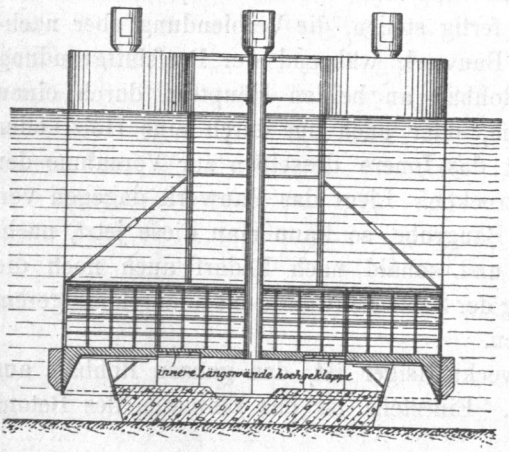
Fig. 64. M. 1:1500.



Ist der Baugrund nicht widerstandsfähig genug, so führt man den mittleren Teil der Sohle zunächst nicht aus, sondern nur diejenigen, auf denen die Seitenwände stehen und unterscheidet sie an ihrer der Schleusenaxe zugewandten Begrenzungsfläche. Auf diesen Sohlenteilen werden dann zunächst die Seitenwände im Rohbau fertig gestellt, sodafs alsdann das Bauwerk den durch Fig. 64 dargestellten Querschnitt hat.

Soll der ganze Rohbau der Einheitlichkeit halber aus Beton hergestellt werden, so müssen künstliche Begrenzungen der Seitenflächen angebracht werden, die man am besten gegen die Decke der Glocke verstrebt. Fig. 65 zeigt eine Taucherglocke während der Herstellung der beiden seitlichen Sohlenteile unter den Seitenwänden.

Fig. 65. *Vorrichtung bei Prefsluft-Gründungen.* M. 1:400.



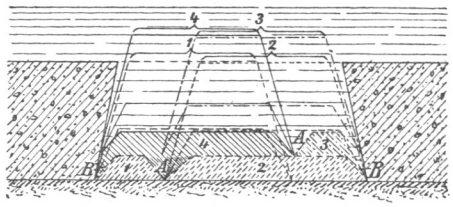
Der bei der Herstellung des ganzen Rohbaues aus Beton zu verwendende Mörtel darf nicht zu langsam abbinden, damit die Seitenbegrenzungen bald gelöst und die Taucherglocke versetzt werden kann. Reiner Trafsbeton wird daher für die Aufsenflächen nicht gut verwendbar sein.

Es bleibt nun noch übrig, den mittleren Teil der Sohle (vergl. Fig. 64) ebenfalls unter Wasser mit Hilfe von Prefsluft einzusetzen. Hierfür giebt es verschiedene

[43]) Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 462.

Wege, von denen die beiden gangbarsten mitgeteilt werden mögen. Der nächstliegende Gedanke ist wohl der, eine Taucherglocke zu benutzen, deren Wände die gleiche oder eine etwas stärkere Neigung zeigen, als die Wände des Sohlenschlitzes, welche in den Sohlenschlitz hinabgesenkt und hart an die Wände desselben herangesetzt werden kann. In dem Querschnitt des Schlitzes (Fig. 66) sind durch verschiedenartig ausgezogene Linien und eingeschriebene Ziffern die nacheinander folgenden Stellungen gezeigt, welche diese Taucherglocke während der Ausfüllung einzunehmen hat. Die Betonmassen, welche bei den einzelnen Stellungen der Glocke unter derselben eingebracht werden, zeigen dieselben Ziffern und sind durch verschieden geartete Schraffur voneinander unterschieden. Man sieht, dafs die Glocke, die an Gerüsten hängend zu denken ist, sehr oft versetzt werden mufs, dafs also die Füllung des Schlitzes aus vielen einzelnen Teilen besteht. Es bleiben ferner bei dieser Ausführungsweise nach jeder Stellung der Glocke unter den Rändern derselben Gräben liegen von der Tiefe der einzelnen Schicht. Diese sind in Fig. 66 durch engere Schraffierung kenntlich gemacht; sie können erst ausgefüllt werden, wenn die Glocke gehoben ist und liegen dann tiefer als der Glockenrand und bleiben voll Wasser. Die Gräben *A* in der Mitte des Schlitzes kann man allerdings mittels eines von Zschokke geübten Verfahrens trocken legen[44]), nicht aber die Gräben *B* an der Schlitzwand. Diese bleiben stets voll Wasser, weil dieses nicht nur von beiden Enden in den Graben dringt, sondern auch von oben durch die Fuge zwischen Schlitzwand und Schneide der Taucherglocke, der Anschlufs des frischen Betons an die Schlitzwände mülste also unter Wasser ausgeführt werden. Trotzdem wird ein in dieser Weise hergestellter Beton immer noch viel besser werden, als ein mit Kasten oder Trichtern bei grofser Tiefe unter Wasser geschütteter, weil die Grabentiefe nur eine unbedeutende ist.

Fig. 66. M. 1:300.



Diese Ausführungsweise erfordert verhältnismäfsig kleine Prefsluft-Einrichtungen und empfiehlt sich infolge dessen zur Ausfüllung von Sohlenschlitzen bei Bauwerken, die im übrigen Teile ohne Hilfe von Prefsluft ausgeführt wurden. Hätte man z. B. die Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals zu Brunsbüttel in derselben Reihenfolge ausführen wollen, wie die zu Holtenau, aber unter Vermeidung des Wasserschöpfens vor erfolgter Betonierung, so würde man zuerst die Sohlenteile unter den drei Längswänden durch Betonierung unter Wasser hergestellt haben, während über den Schleusenmitten der Boden noch liegen blieb. Darauf hätte man die getrennten drei Baugruben trocken gelegt und die drei Längswände aufgemauert, die sich jetzt ohne Schädigung der Sohle hätten setzen können. Nachdem die Wände fast fertig waren, hätte man die schrägen Spundwände, welche zur Begrenzung der Sohlenschlitze erforderlich gewesen wären, entfernt und den Boden im Sohlenschlitz ausgebaggert, um keine Unterspülungen der Seitenwände zu bekommen. Alsdann wären die beiden Sohlenschlitze in der oben geschilderten Weise mit Hilfe von Prefsluft auszufüllen gewesen. Da die Baugrube während dieser letzten Arbeit voll Wasser war, hätte nach § 6 zu dieser Zeit nahezu der für die Sohle des wasserleeren Bauwerkes ungünstigste Belastungszustand geherrscht, sodafs nach Erhärtung des Betons im Schlitze ein Reifsen der Sohle ausgeschlossen gewesen wäre.

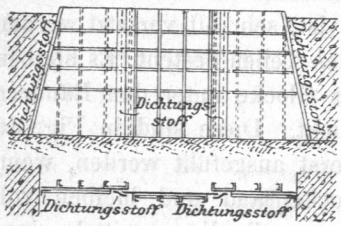
---

[44]) Vergl. Fortschritte der Ingenieurwissenschaften. Zweite Gruppe, 2. Heft, S. 113.

Wird das ganze Bauwerk mit Hilfe von Preſsluft ausgeführt, so wird man ohnehin groſse Preſsluft-Einrichtungen haben und es ist für diesen Fall das folgende Verfahren, welches eine breite Taucherglocke voraussetzt, mehr zu empfehlen. Es wird ein Teil des Schlitzes durch zwei provisorische, später wieder zu beseitigende Wände, die wir Schilde nennen wollen, von dem Ganzen abgetrennt, über diesen abgetrennten Teil eine Taucherglocke gestülpt; die Fugen zwischen dem unteren Rande der Glocke, dem fertigen Beton und dem Schilde, sowie die Fugen zwischen dem Schilde und den Wänden des Schlitzes werden soweit thunlich luftdicht geschlossen und es wird der nun allseitig abgeschlossene Schlitzteil mit Hilfe von Preſsluft trocken gelegt.

Die Schilde (Fig. 67 und 68) werden je nach der Breite des Schlitzes aus zwei oder drei Teilen hergestellt, die mit ihren Rändern übereinander greifen (Fig. 68). Die einzelnen Teile sind in sich luft- und wasserdicht, sodaſs nur die Fugen zwischen den einzelnen Teilen und zwischen diesen und der Schlitzwand zu dichten bleiben. Die Teilung des Schildes in mehrere Teile empfiehlt sich, weil diese ermöglicht, den Schild gut an die unterschnittenen Wände des Schlitzes, mit deren Unregelmäſsigkeiten man rechnen muſs, heranzubringen, sodann aber auch, damit der Schild unter der Glocke bequemer gehandhabt werden kann. Aus letzterem Grunde wird es vielleicht besser sein, die Schilde nicht, wie Fig. 68 zeigt, ganz aus Eisen, sondern aus Eisen und Holz herzustellen, sodaſs ihr Gewicht dem des verdrängten Wassers möglichst gleich ist.

Fig. 67 u. 68. *Schild.*



Bei Sohlenschlitzen von so bedeutender Breite und Tiefe wie der in Fig. 67 dargestellte bietet die ausreichende Belastung der Glocke einigermaſsen Schwierigkeiten. Das Gewicht des Eisens der Glocke und des Ballastes muſs namentlich nach Abzug des vom Eisen und Ballast verdrängten Wassergewichtes noch mindestens gleich dem Gewicht des ganzen durch die Preſsluft ersetzten Wassers sein.

Fig. 69 u. 70. *Vorrichtung bei Preſsluft-Gründungen.* M. 1 : 400.

Fig. 69. Querschnitt.

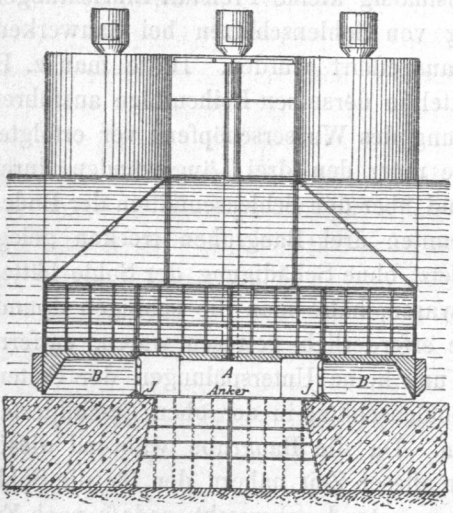
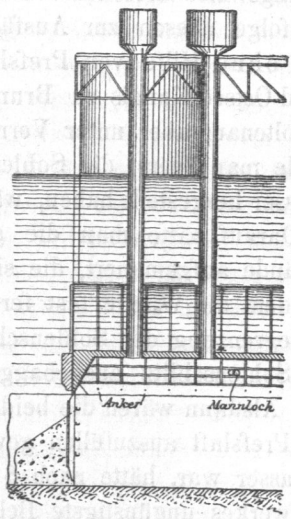


Fig. 70. Teil des Längenschnitts.



Um diese bedeutende Belastung zu erhalten, ist die verhältnismäſsig breite Glocke, welche Fig. 65 bei der Herstellung der seitlichen Sohlenteile im Querschnitt zeigt, durch zwei innere Längswände in drei Teile zu zerlegen, von denen während der Ausfüllung des Sohlenschlitzes nur der innere *A* (Fig. 69) mit Preſsluft, die beiden äuſseren dagegen mit Wasser gefüllt sind, während bei der Benutzungsweise nach Fig. 65 die ganze Arbeits-

kammer voll Preſsluft ist. Bei der Füllung des Sohlenschlitzes kommt also der Ballast der ganzen Glocke ausschlieſslich dem Teile *A* zu gute, und man kann das Gewicht der Glocke noch dadurch vermehren, daſs man auch die vier runden Türme auf den Ecken derselben voll Wasser pumpt.

Die Längswände zur Trennung der Arbeitskammer in drei Teile sind mit Gelenkbändern an der Decke befestigt und liegen bei der Arbeitsweise Fig. 65 aufgeklappt in Nischen, welche in derselben ausgespart sind, und in denen auch die eisernen Anker, welche die unteren Ränder der beiden Wände in Fig. 69 u. 70 verbinden, aufbewahrt werden.

Die heruntergeklappten Wände sind luftdicht (Gummidichtung) mit Decke und Querwänden der Glocke, sowie mit dem fertigen Beton unter ihnen (Mörteldichtung) verbunden. Nicht minder wird der eingesetzte Schild oben an die Glockenwand und seitlich an die Schlitzwände dicht angeschlossen, während eine Schotterschüttung (Fig. 70) die Verschiebung desselben durch den Luftüberdruck hindert.

Eine genaue Schilderung des ganzen Vorganges der Schlitzausfüllung mit der beschriebenen Glocke, sowie einige andere für diesen Zweck geeignete Taucherglocken findet man mitgeteilt in der Zeitschr. f. Bauw. 1893, S. 641 und Génie civil 1894.

§ 13. Besondere Konstruktionen von Böden und Wänden. Da bei den Kammerschleusen die eigentliche Kammer in der Regel mehr als die Hälfte der Länge des ganzen Bauwerks einnimmt und, wenngleich in den Einzelheiten einfacher gebildet als die Häupter, doch einen sehr bedeutenden Teil der Gesamtkosten bedingt, so ist es stets zu erwägen, ob nicht dieser Teil der Schleuse in billigerer Weise hergestellt werden kann. Wenn jedoch erst einmal die Anordnung eines dichtschlieſsenden steinernen Bodens und stabiler Seitenmauern angenommen ist, so läſst sich ohne Nachteil für die Solidität dieser beiden Hauptteile der Kammer hieran eine erhebliche Ersparung an Material gegen die in den § 8, 10 u. 12 aufgestellten Regeln nicht mehr vornehmen.

Es fragt sich jedoch, ob denn beide Teile für die Wirksamkeit der Schleuse unbedingt erforderlich sind. Dies kann in manchen Fällen verneint werden und zwar bald nur für einen, bald für beide Teile. Wenn die beiden Häupter an ihrer Grenze mit der Kammer durch Querspundwände im Boden genügenden Abschluſs erhalten, so hat der Kammerboden selbst eine groſse Bedeutung nicht mehr, so lange er nur tief genug und ohne jedes Hindernis für die Schiffe ist. Falls sogar auf dem Umwege um die Häupter herum durch den natürlichen Erdboden sich kleine Wasseradern ausbilden und in dem ungedichteten Kammerboden aufquellen, so würde erst dann ihr Vorhandensein nachteilig werden, wenn entweder in der Schleusenkammer der Wasserspiegel nicht nach Belieben niedrig oder hoch zu halten wäre, durch das Aufquellen lästige Ablagerungen entständen, oder wenn endlich die Wasseradern den Bestand der seitlichen Erdmassen neben der Schleuse in Gefahr brächten. Schon aus dem Bestehen zahlreicher Dock- und Schutzschleusen, welche nur ein einziges Haupt haben, und wobei der ungedeckte Boden vor oder hinter demselben sich genau so verhält wie der ungedeckte Kammerboden einer Kammerschleuse, ist aber erwiesen, daſs diese Gefahren, bei übrigens zweckmäſsiger Anlage der letzteren, wenig zu fürchten sind.

Ähnlich verhält es sich mit den Seitenmauern hinsichtlich der Sicherheit der ganzen Anlage. Wenn sie fehlen, so bestehen gewissermaſsen zwei selbständige Häupter hintereinander, welche sowohl abwechselnd den vollen und gröſsten Wasserdruck zu ertragen haben, als auch zeitweilig sich durch Verteilung des gröſsten Unterschiedes der

Wasserhöhen gegenseitig unterstützen können. Dies ist z. B. der Fall bei Kammerschleusen, bei denen nur bis zu einer gewissen Höhe des Aufsenwassers durchgeschleust, bei einer gröfseren Höhe aber in der Kammer ein mittlerer Stand gehalten wird.

Das Vorhandensein von steilen Kammerwänden kann jedoch erwünscht und notwendig sein, um die zum Durchschleusen erforderliche Wassermenge thunlichst zu beschränken, somit auch an Zeit für das Durchschleusen zu sparen. Der erstere Fall kann nur bei Kanalschleusen wasserarmer Haltungen oder bei solchen Schleusen in Frage kommen, die gegen höheres Aufsenwasser ein soweit möglich niedrig zu haltendes Binnenwasser abschliefsen. Die andere Absicht läfst sich in gewissem Mafse auch durch Vergröfserung der zum Füllen und Leeren der Kammer dienenden Öffnungen erreichen. Wo aber diese beiden Umstände nicht einmal in Frage kommen, darf unbedenklich auch die Kammer ohne steile Mauern hergestellt werden. Bei den Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals in Holtenau z. B., die aufserdem nur wenige Tage des Jahres in Wirksamkeit treten, würden Kammern ohne Seitenmauern und massive Sohlen nach Ansicht des Verfassers auch genügt haben.

Selbstverständlich kann noch bei Weglassung eines festen dichten Bodens die Anordnung von Seitenmauern zweckmäfsig sein, während wohl umgekehrt ein fester Boden ohne solche Seitenwände keinen Sinn haben würde. Es kommen deshalb sowohl Kammern vor, welche nur künstlich gebildete Seitenwände, Mauer oder Holzwand, dagegen keinen entsprechenden Boden haben, als auch solche, welchen beide Teile fehlen und wobei statt derselben nur in sehr einfacher Weise eine Sicherung gegen die Angriffe des bei dem Füllen und Leeren oder durch Wind bewegten Wassers gegeben ist.

Aufser diesen durch einige Beispiele zu erläuternden Fällen mögen dann noch solche erwähnt werden, bei denen Böden und Seitenwände zwar angewandt sind, wobei jedoch die Konstruktionen von den gewöhnlichen erheblich abweichen.

Als Beispiel einer Kammer ohne festen Boden und Seitenwände diene zunächst die auf Tafel V dargestellte und bereits in § 2 u. 3 besprochene Papenburger Hauptschleuse. Die verfügbaren Geldmittel zwangen zur gröfsten Sparsamkeit. Dazu kam, dafs nach dem Binnenhaupte hin der Untergrund etwa 4 bis 5 m tief unter der nötigen Sohlentiefe aus völlig weichem Moorschlamm bestand, dafs also massive Seitenwände eine sehr teure Fundierung veranlafst haben würden. Es wurde deshalb nur die Anbringung kräftiger oben etwa 2,5 m, unten reichlich 3,5 m starker, nach der Kammer hin nur etwa wie $1:\frac{1}{2}$ geböschter Buschwände angeordnet, deren einzelne Schichten zur Vermeidung eines Rutschens nach hinten geneigt und zur Dichtung gegen Ausspülung mit guter Klaierde ausgestampft wurden. Diese Wände beschweren den Boden am wenigsten und stützen die hinterliegende Erde wirksam. Bei etwaigem Nachsinken bedürfen sie nur einer Aufhöhung. Ihre horizontale Oberfläche ist mit gestampften Backsteinbrocken geebnet und bequem gangbar gemacht. Über der Höhe der gewöhnlichen Flut liegt eine einfache Rasenböschung.

Der Boden der Schleuse bedurfte zur Verhütung von Auskolkungen durch die zeitweilig starke Abwässerung von 12000 ha, sowie wegen der Wirkung der Thorschützen eine Abdeckung. Hierzu schien bei der Weichheit des Untergrundes in der Nähe des Binnenhauptes eine 0,3 bis 0,6 m dicke Buschschicht mit darauf gelegten roh bearbeiteten, 0,3 m dicken Sandsteinstücken am vorteilhaftesten, zumal solche Sandsteine sehr billig von der oberen Ems her zu beziehen waren. Die Sohle der Kammer erhielt dabei eine kleine Wölbung. Der Vorhafen ist in ähnlicher Weise mit Busch eingefafst

und bis auf etwa 15 m von der Schleuse ab gedeckt. Alle diese sehr billigen Konstruktionen haben sich lange Zeit hindurch gut erhalten.

Bei der auf Tafel VII dargestellten Nordsee-Schleuse des Amsterdamer Kanals mufsten offenbar die grofse Kammerschleuse und die nördlich daneben liegende Abwässerungsschleuse gemauerte Seitenwände haben, dagegen hat man trotz der verhältnismäfsig unbedeutenden Ersparung es nicht verschmäht, an der Landseite der kleinen Kammerschleuse die Kammermauer fortzulassen und sie durch ein auf einer Klaischicht ruhendes Basaltpflaster aus rechteckig behauenen Stücken zu ersetzen. In gleicher Weise sind auch, wie F. 2, T. VII zeigt, die Böschungen in der Nähe der Schleusen aufsen und innen bis etwas über gewöhnlicher Fluthöhe gedeckt, während sie oberhalb dieser Höhe nur eine fette Klaischicht auf dem natürlichen Sandboden erhalten haben. Die Böden der Schleusen sind, aufser in den Häuptern und in der Abwässerungsschleuse, ebenso wie die Kanalsohle in etwa 12 m Abstand von allen Schleusenmauern, zunächst mit einer Buschlage, darauf mit kleineren Steinbrocken und endlich mit einem dichtschliefsenden Basaltpflaster versehen. So zweckmäfsig im allgemeinen diese Anordnungen, so dürfte wohl das rechteckige Behauen der Basaltstücke einiges Bedenken erregen. Bei der zur Zeit (1894) noch im Bau begriffenen neuen grofsen Kammerschleuse zu Ymuiden verwendet man für die Kammerböden Betonblöcke auf einer schwachen Bettung von grobem Kies, vergl. Fortschritte d. Ingenieurwissensch. Zweite Gruppe, 2. Heft, S. 23. — Ähnlich wie die vorhin erwähnte kleine Kammerschleuse ist auch die schon in § 3 besprochene Kammerschleuse bei Emden (F. 7, 8 u. 21, T. VII) mit einer geböschten Kammer erbaut, wobei das roh bearbeitete Steinpflaster der Sohle und der Böschungen auf einer etwa 0,5 m dicken Unterlage von Beton versetzt ist. Die Böschungen stützen sich dabei gegen schwache Pfahlreihen.

Eine sehr vorteilhafte Konstruktion zeigen die in F. 16—19, T. VI dargestellten Schleusen aus dem mittleren Emsgebiet.[45]) Während die Häupter in gewöhnlicher Weise massiv gebaut sind, wurden die Kammern in möglichst billiger Weise ausgeführt. Die Sohle ist auch hier mit Steinpflaster auf Buschunterlage gedeckt, von welch letzterer die Stackpfähle in F. 18 sichtbar sind. Nur im Anschlufs an die Häupter ist ein 3 m breiter Streifen der Sohle mit Beton und Klinkerpflaster in $1^1/_2$ Stein Stärke versehen. Der unter dem Steinpflaster sichtbare Querbalken ist ein Rundholz, welches jeden zweiten eingerammten Seitenpfahl mit dem ihm gegenüberliegenden abspreizt. Diese auch in F. 17 erkennbaren, mit einem starken, aus F. 19 ersichtlichen Holm versehenen und um $^1/_{10}$ geneigten Pfähle bilden in Verbindung mit der dahinterstehenden, 13 cm starken Spundwand den unteren, unter dem Unterwasser liegenden hölzernen Teil der Seitenwände, wogegen der obere Teil aus gufseisernen Ständern mit dazwischen gemauerten flachen, $^1/_2$ Stein starken Gewölbkappen (Klinker in Cement) besteht. Die Spundwand stützt sich unten mittels Längshölzern und Knaggen gegen die Seitenpfähle. Die 0,914 m von Mitte zu Mitte entfernten eisernen Ständer sind 0,1 m in der Vorderfläche breit und von dieser bis zur Hinterfläche stark, während die aus dem Querschnitt ersichtlichen Wandungen 0,02 m dick sind. Sie sind je nach der Lage der Schleuse 2 bis 3 m hoch, in einem Drittel der Höhe von unten mit einer Verstärkungsrippe und in zwei Drittel der Höhe mit einer 0,2 m hohen massiven Verstärkung versehen, an welcher die obere Verankerungsstange angreift. Indem nur jeder zweite Ständer so verankert ist, geht in gleichen Abständen eine untere Ankerstange durch den Holm. Beide Anker vereinigen sich an einem aus zwei Pfählen gebildeten Bock. Die Verbindung der unten

[45]) Kerner. Die Schleusen der Schiffahrtskanäle im mittleren Emsgebiet. Centralbl. d. Bauverw. 1882, Mai.

mit einem hohlen Halbcylinder versehenen Ständer und der Holme wird durch gufseiserne Schuhe vermittelt, welche den Holm mit zwei vertikalen Lappen umfassen (der vordere ist eingelassen) und oben zur Aufnahme des runden Ständerfufses entsprechend hohl sind. Der obere Teil des Schuhes ist jedoch nach hinten offen bis zum niedrigsten Punkte der Höhlung. Die an ihren Köpfen mit Querrippen versehenen Ständer werden unter sich durch eine mit diesen Rippen verschraubte, wulstförmige gufseiserne Deckplatte und aufserdem noch durch ein hinter ihnen liegendes T-förmiges Walzeisen verbunden. Aufserdem befinden sich auf jeder Kammerwand an fünf Stellen gufseiserne Köpfe oder Poller, welche durch einige der Holme gehen und in einem angegossenen Wulst des betreffenden Ständers befestigt sind. Ferner tragen einige der Ständerköpfe an Ketten oder Drahtseilen hängende, 7 m lange und 0,2 m starke Rundhölzer oder Schwimmbäume, welche bei jedem Wasserspiegel die Schiffe von den Wänden abhalten. Die Wände sind endlich in 2 m Breite mit regelmäfsigen Torfstücken, die bei Aushebung der Schleusengrube gewonnen sind, hintermauert. — Die Kosten einer solchen Schleuse von 33 m nutzbarer Kammerlänge, 6,5 m Weite im Thore und 2,1 m Tiefe über den Drempeln haben rund 107000 M. betragen. Durch die in F. 16 u. 17 dargestellte und in § 26 besprochene Unterführung eines Baches, sowie für Überbrückung des Unterhauptes sind die Kosten bei einigen Schleusen auf 153000 M. gewachsen.

Nachstehendes Beispiel der in den Figuren 71 bis 75 zum Teil dargestellten Schleuse bei Evry ist aus Lagrené's „Cours de navigation intérieure" entnommen. Diese im Jahre 1860/61 entstandene Schleuse ist ein Vorbild der auf der kanalisierten oberen Seine gebauten Schleusen. Man hat hier zwischen Kammer und Flufs nur einen Damm hergestellt. Derselbe hat nach Fig. 72 einen bis etwa 2 m tief in den festen Boden eingelassenen Thonkern, welcher zu beiden Seiten mit gewöhnlichem Boden bedeckt ist. Zum Schutz gegen das bewegte Wasser ist der ganze Körper sodann mit gestampfter Kreide bedeckt und diese Schicht mit trockenen Steinen abgepflastert. Nach der Schleuse hin stützt sich diese Decke gegen einen Streifen Beton mit einer Spundwand (vergl. Fig. 73), nach dem Flusse hin dagegen nur gegen eine Steinpackung nebst Spundwand. Das trockene Pflaster aus ebenfalls trockener Kreide hat sich jedoch nicht gehalten, sondern ist durch den häufigen Wechsel des Wassers ausgewaschen und versackt. Lagrené ist daher der Ansicht, dafs statt der Kreide

Fig. 71 bis 75. *Schleuse in der oberen Seine bei Evry.*

Fig. 71. Grundrifs nebst Wehranschlufs. M. 0,0005.

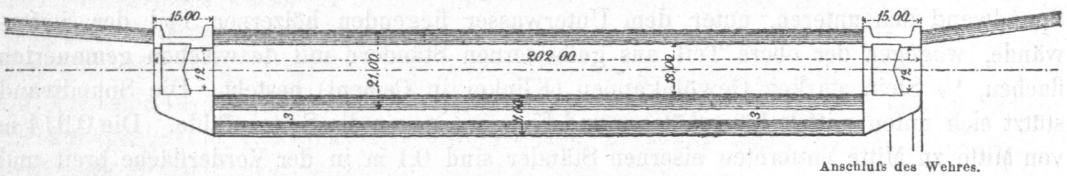


Fig. 72. Schnitt durch die Kammer. Mafsstab zu Fig. 72 bis 75 = 0,006.

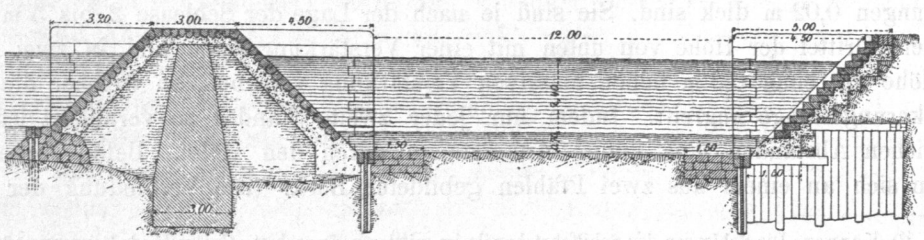


Fig. 75.

Schnitt *A B.*

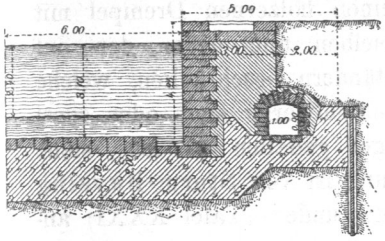
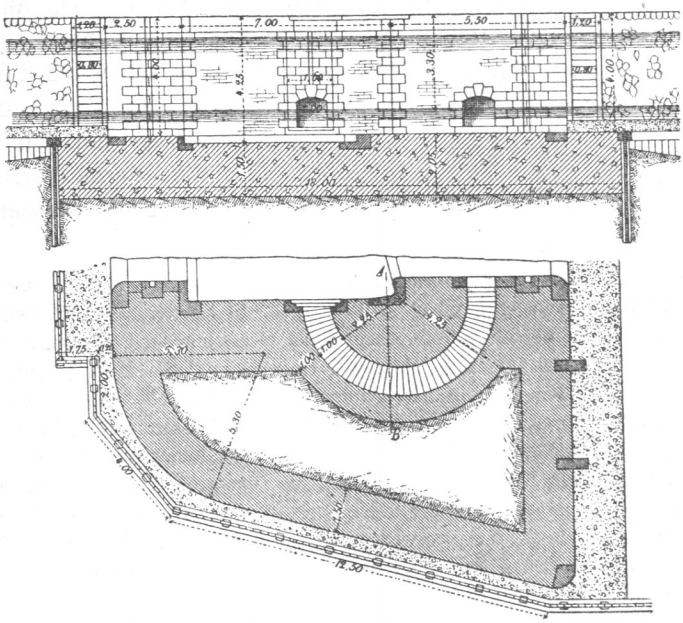


Fig. 73 u. 74.

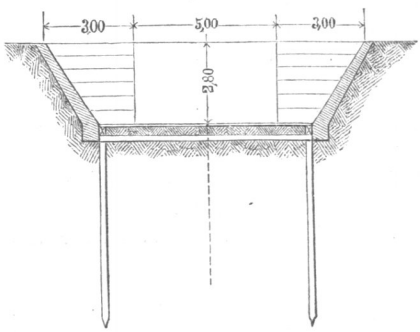
Längenschnitt des Oberhauptes. Schnitt durch die Umläufe.



und statt der äufseren Steinpackung ebenso wie unten an der Innenseite hätte Beton verwandt und dafs das Pflaster in hydraulischen Mörtel hätte gelegt werden sollen. Dieser Ansicht ist gewifs beizutreten, zumal für den an beiden Seiten im Angriff liegenden Zwischendamm, welcher eine ungleich höhere Bedeutung hat als die in gleicher Weise gedeckte Böschung der Kammer an der Landseite, von welcher in Fig. 72 ein Schnitt durch die kleine neben den Häuptern liegende Treppe gezeichnet ist. Die Kammersohle dieser Schleuse ist völlig unbedeckt geblieben. Bei dem guten Untergrund der dortigen Schleusen und dem billigen Mauerwerk jener Gegend ist die gewählte Konstruktion nicht als ganz zweckmäfsig anzuerkennen.

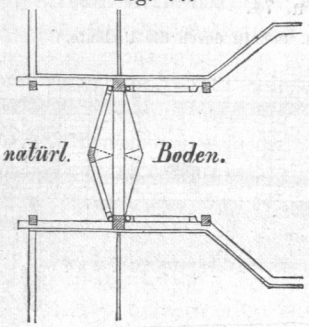
Eine sehr leichte und für kleine Schleusen unter Umständen nachahmungswerte Konstruktion findet man bei der Schleuse bei Mauloy in dem kanalisierten Ourcq-Flusse. Während die Häupter der Schleusen auf einem gewöhnlichen, durch den sehr schlechten Untergrund bedingten Pfahlroste ruhen, welcher freilich unzweckmäfsigerweise in den Böden mit einer etwa 0,5 m dicken Mauerschicht bedeckt ist, besitzt die Kammer nach Fig. 76 geneigte Wände aus einer hochkantigen Schicht Backsteine, welche sich gegen zwei Reihen 4 m von Mitte zu Mitte entfernter und verholmter Pfähle stützen, die durch Spreizen gegenseitig abgesteift sind. Der Boden ist durch quergelegte, auf jene Holme genagelte Bohlen bedeckt.

Fig. 76.



Eine sehr einfache Konstruktion der ganzen Schleuse findet sich bei einigen holländischen Schleusen, z. B. an einem Zweigkanal der Maas, vergl. Ann. des ponts et chaussées 1867, II, S. 309. Es ist dabei nicht allein die Kammer völlig aus Buschwänden und mit ungedecktem Boden gebildet, sondern auch die Thorkammerwände sind weggelassen und nur durch bogenförmig zurückspringende Flügel ersetzt. Um den Schleusenthüren eine Stütze bei geöffnetem Zustande zu geben, sind statt der Thornischen nur Dükdalben angebracht.

Fig. 77.

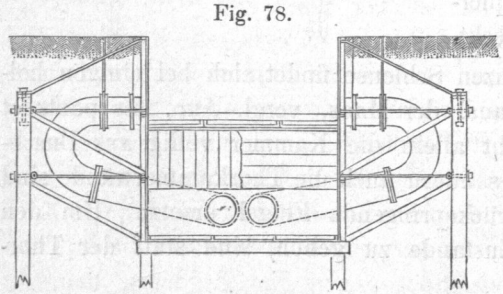


Man kann endlich bei sehr kleinen Kanalschleusen für leichte Kähne und bei gutem Boden die sämtlichen Teile der Schleuse bis auf einen hölzernen Drempel mit einer Spundwand unter demselben und neben den auf dem Drempel stehenden Thorständern beschränken, welche letztere entweder Teile eines Bohlwerks sind oder sonst gegen den Zug der Thorflügel gehalten werden, siehe Fig. 77. Eine solche Vorrichtung ist von Storm-Buysing im II. Teile seiner „Waterbouwkunde“ (Tafel XXXI) angegeben.

Eine eigentümliche Konstruktion hat das der Themse zugekehrte Unterhaupt einer Schleuse der Viktoria-Docks in London, s. T. VII, F. 16 bis 20. Diese Schleuse besitzt etwas gröfsere Abmessungen als die auf derselben Tafel dargestellte Geestemünder Schleuse, ist übrigens nur als Dockkammerschleuse, nicht zugleich als Schutzschleuse eingerichtet. Sie kann jedoch zu Zeiten nach dem Einlassen einer Springflut bei der darauf eintretenden Springflutebbe einen Wasserdruck von etwa 5,5 m zu ertragen haben, während in Geestemünde ein solcher Wasserdruck nicht eintreten kann, da in dem Bassin nahezu die Höhe des gewöhnlichen Hochwassers gehalten wird. Trotzdem ist der ersteren Schleuse eine sehr viel leichtere Konstruktion gegeben, die zum grofsen Teil aus Sparsamkeitsrücksichten, zum Teil dagegen aus sehr günstigen Terrainverhältnissen entsprungen ist. — Wie F. 17 angiebt, liegt die Sohle des Betons schon in dem fast wasserdichten und dabei völlig tragfähigen Thonboden, dem sogenannten London Clay. Der Boden der Schleuse besteht nun nach F. 16 in den Häuptern aus Ziegelmauerwerk, wobei sogar die Drempel nicht aus Werksteinen gebildet, sondern nur mit einer gufseisernen Kante verkleidet sind. Das Mauerwerk des Unterhauptes ruht unmittelbar auf dem London Clay, wogegen unter dem des Oberhauptes noch eine Betonschicht liegt. Der Drempel des Oberhauptes liegt nämlich 1,35 m höher und wird nach der Kammer hin durch eine ebenfalls nur aus Backsteinen hergestellte, übrigens abgetreppte Abfallmauer begrenzt. Wie F. 16 und 18 zeigen, greift das Mauerwerk des Unterhauptes an den Seiten um etwa 1,5 m tiefer in den Boden als in der Mitte. Die Betonschicht in der 24 m weiten Kammer ist nur 1,2 m dick und ist mit einer 0,6 m dicken Schicht von Thon bedeckt.

Ebenso leicht wie der Boden sind die Wände, namentlich in der Kammer. Die in der Thorkammer und den nächsten Vorsprüngen aus Ziegeln aufgemauerten, mit Klinkern verblendeten und an den Kanten und Wendenischen mit Quadern eingefafsten, in der Mitte nur 2,8 m dicken Mauern werden allerdings noch durch eine Hinterfüllung von Beton verstärkt, welche zugleich die aus 1,5 m weiten, gufseisernen Röhren gebildeten und mit Ziegelmauerwerk umgebenen Umlaufkanäle trägt. Diese Betonwand zieht sich nun nach der Kammer, sowie nach der Aufsen- und Innen-Vorschleuse oder Einfahrt hin als die Hauptwand fort, welche bei $^1/_6$ Anlauf oben 1,5 m, unten 2,7 m dick, also etwa $^1/_5$ der Höhe erhalten hat. Sie wird indessen etwas verstärkt durch vorgeschlagene, nach hinten jedoch sehr schwach verankerte eiserne Pfähle, welche noch etwa 0,3 m in den London Clay reichen, aber sich namentlich gegen die Betonsohle stützen. Die Pfähle stehen in 1,8 m Abstand von Mauer zu Mauer und reichen etwa bis zur halben Höhe der Wand, von wo ab sie durch Aufständerung verlängert sind. In der unteren Hälfte füllen gufseiserne Spundbohlen die Zwischenräume der Pfähle, in der oberen aber quadratische Platten die der Ständer aus. Hinter der Betonwand liegt eine etwa 1 m starke Thonhinterfüllung. Während des Baues sollen erhebliche Ausweichungen der Wände vorgekommen sein, doch stehen sie seitdem soweit bekannt unversehrt.

Fig. 78.



Es sei hier ferner die ausschliefsliche Verwendung von gufseisernen Platten zu Böden und zu Seitenwänden erwähnt, welche schon im vorigen Jahrhundert durch Telford auf dem Ellesmere-Kanale stattfand. Die Skizze Fig. 78 zeigt einen Schnitt unterhalb des Oberhauptes, sodafs man gegen den Abfallboden sieht. Dieser ist zum Schutz gegen das Anstofsen der Schiffe zum Teil mit doppelten Holzbohlen verkleidet, während im übrigen sämtliche Boden- und Seitenflächen aus gufseisernen Platten mit den nötigen Rippen bestehen. Die ganze 4,5 m betragende Weite der Schleuse ist

von etwas längeren und 1,5 m breiten Bodenplatten überspannt, welche durch ein leichtes Rostwerk unterstützt werden. Die Seitenplatten sind ebenfalls 4,5 m lang, reichlich 1,5 m hoch, liegen mit verwechselten Stöfsen und stützen sich unten gegen die Rippe der Bodenplatten. Indem sie untereinander zu einem Ganzen verschraubt sind, wird die durch sie gebildete Wand in sehr geschickter Weise nach hinten verankert. Thornischen, Wendenischen und Dammfalze sind durch entsprechende Krümmungen in den gegossenen Platten und die Drempel durch Einlegung von Holzschwellen zwischen entsprechende Rippen gebildet. Die Umläufe bestehen aus krummen gufseisernen Röhren, die an passenden Stellen der betreffenden Platten angeschraubt sind. Die ganze Konstruktion ist in ihrer Art vollendet zu nennen; auch wird eine solche Schleuse selbst in dem schlechtesten Grunde mit Leichtigkeit die nötige Unterstützung finden. Aber dieser Vorteil ist bei einer Holzschleuse in noch höherem Mafse zu erreichen und die Vorzüge des Gufseisens vor dem Holze stehen bei Berücksichtigung seiner Schwächen nicht in dem richtigen Verhältnisse zu den sehr viel gröfseren Kosten.

Aus neuerer Zeit sind einige Vorschläge zu erwähnen, welche bezwecken, anstatt der massiven Schleusen gemischte Konstruktionen anzuwenden, wobei namentlich durch Anwendung des Eisens Ersparnisse zu erzielen sein würden.

So schlägt Löhmann im Wochenbl. für Arch. u. Ing. 1884, S. 299 vor, die Schleusen und Thorkammern aus eisernen Rippen zu bilden, gegen welche sich die Bohlen, die den dichten Abschlufs im Boden und in den Wänden bilden, stützen. Die Zwischenräume zwischen den eisernen Spanten in der Sohle und teilweise auch an den Wänden will er der besseren Erhaltung des Eisens (und wohl auch der Belastung wegen) mit billigem Beton ausfüllen. Als Thore empfiehlt er anstatt der Stemmthore eiserne aus gewelltem Bleche hergestellte Hebethore, welche — durch Gegengewichte ausbalanciert — an zwei auf den Wänden der Häupter aufgestellten eisernen Säulen in die Höhe gezogen werden, bis ihre Unterkante 4,5 m über Wasser liegt. Die Kosten einer solchen Schleuse giebt er auf Grund eingehender Veranschlagung nur halb so hoch an, als diejenigen einer gleich leistungsfähigen massiven.

Auch hier würde — abgesehen von den Thoren — eine reine Holzkonstruktion mindestens für alle stets unter Wasser liegenden Teile vorzuziehen sein. Wenn man eine solche auf Rostpfähle stellt, läfst sie sich gegen bedeutenden Auftrieb sichern, gegen welchen bei der Löhmann'schen Konstruktion nur ein geringes Gewicht wirksam ist.

Ferner empfiehlt Scheck im Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 489 die Ausführung der Mauer und Sohle von Schleusen aus Beton mit Eiseneinlagen nach der Monier-Bauweise und berechnet, dafs die Kosten einer solchen Schleuse nur $^2/_3$ der Kosten einer ganz aus Beton hergestellten betragen.

Für eine Schleuse von 9,6 m Weite und 6,85 m Höhe der Wände berechnet er bei einer Sohlenstärke von 1 m und einem Auftriebe gegen die Sohle von 7,85 m Druckhöhe für ein Längenmeter der Sohle eine Eiseneinlage von 67 qcm oder 13 Rundeisen von 26 mm Durchmesser, welche möglichst nahe der Oberfläche zur Aufnahme der Zugspannungen einzulegen wäre. Die Seitenwände bildet er aus 0,6 m starken, 5 m von Mitte zu Mitte entfernten 2,4 m tiefen Pfeilern, welche in Höhe von 2,55 und 5,05 m über der Sohle durch Monier-Kappen miteinander verbunden werden. Die durch die Kappen und die Pfeiler gebildeten Hohlräume werden nach der Schleusenkammer zu durch eine 0,6 m starke Betonwand abgeschlossen und dann mit Boden angefüllt.

Wenn man annehmen dürfte, dafs das Eisen in dieser Anwendung unvergänglich wäre, so würde diese Ausführungsweise zu empfehlen sein. So lange aber hierüber noch keine längeren Erfahrungen vorliegen, wird man mit derselben vorsichtig sein müssen. Es läfst sich indessen nicht leugnen, dafs die Erfahrungen, welche bisher mit gemischten Ausführungen aus Stein und Eisen in Holland und dem mittleren Emsgebiete bei Wasserbauten gemacht wurden, sehr ermutigend sind.

Eine beachtenswerte neuere Ausführung, bei welcher Eisen und Stein verwendet sind, zeigen die Wände der in § 2 erwähnten Kesselschleuse im Ems-Jade-Kanale, siehe Fig. 79 bis 81. Dieselben bestehen aus eisernen, verankerten Ständern mit zwischengespannten Klinkerkappen, haben also Verwandtschaft mit den oben besprochenen Wänden der Emskanal-Schleuse T. VI, F. 16—19. Anstatt der ursprünglich vorgesehenen, mit den Flantschen zusammengenieteten alten Eisenbahnschienen entschlofs man sich, der günstigeren Beanspruchung wegen für die Mittelständer I-Eisen, für die Endständer an den massiven Häuptern aber U-Eisen zu verwenden, welche mit diesen kräftig verankert sind. Zur Verankerung der Mittelständer gegen den Erddruck benutzte

Fig. 79 bis 81. *Wände einer Kesselschleuse. Ems-Jade-Kanal.*

Fig. 79.

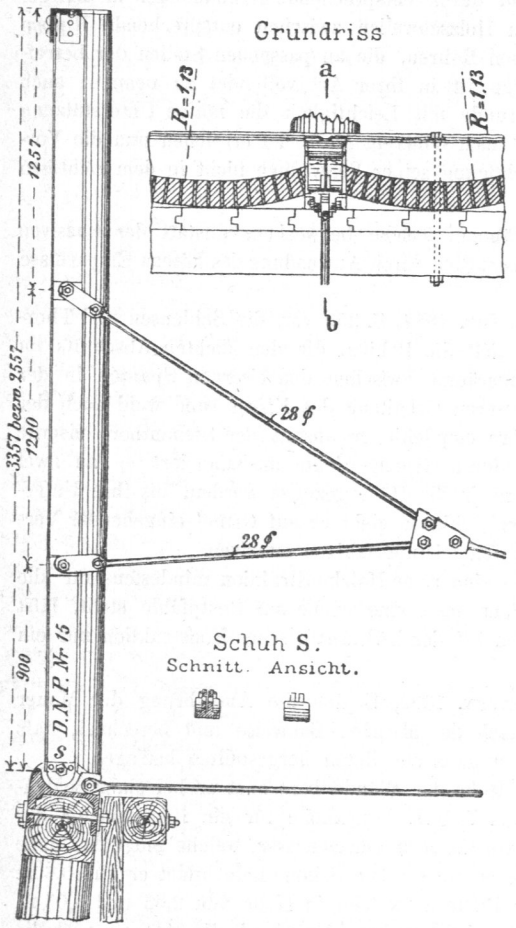


Fig. 80.

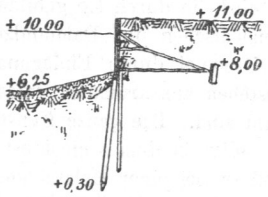
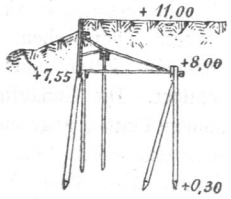


Fig. 81.



man, soweit man den gewachsenen Boden erreichen konnte, durchlaufende Ankerbohlen (Fig. 80). Wo dies nicht möglich war, sind Ankerböcke nach Fig. 81 verwendet.

Die Klinkerkappen zwischen den Ständern sind vorn mit Cementmörtel gefugt und hinten mit ebensolchem geputzt. Es war anfangs beabsichtigt, anstatt der Klinkerkappen verzinkte Eisenbleche von 5 bis 6 mm Stärke in Kappenform zu verwenden, wodurch eine gröfsere Dichtigkeit der Wände erzielt wäre. Ein Quadratmeter Kammerwand hätte aber dann 11,50 M. gekostet, dagegen nur 4 M. in der Ausführung mit Klinkern. Die Wände sind zwar nicht vollständig dicht, bewähren sich aber bis jetzt sehr gut.

Die Dichtung der Sohle in den Schleusenkammern der Kesselschleuse und der anschliefsenden Kammerschleuse, siehe § 2, ist durch Einbringen einer starken, von Spundwänden eingeschlossenen Klaischicht erfolgt.[46])

§ 14. Einfahrten nebst Zubehör. Flügel. Dammfalze. Treppen. Mit den Einfahrten der Schleusen stehen verschiedene kleinere bauliche Anlagen (Leitwerke, Spills, Poller, Trossenrollen und dergl.) in Verbindung, welche demnach im Zusammenhange mit jenen zu besprechen sind. Beigefügt sind einige Beobachtungen über den Zeitverbrauch beim Einfahren, weil derselbe in erster Linie von einigen der oben genannten Teile abhängig ist.

Einfahrten nebst Zubehör. Für die Einfahrt einer Schleuse steht der Begriff nicht völlig fest. Man versteht darunter zwar in der Regel den mit einem Ende der eigentlichen Schleuse zusammenhängenden Teil, welcher aufserhalb des letzten Thores und dessen Zubehörungen als Thorkammer, Thorsäule u. s. w. liegt und wesentlich nur zum bequemeren oder sicheren Einfahren der Schiffe aus dem Fahrwasser des Kanals, Flusses oder Seehafens in die Schleuse dient. Es bildet nun häufig, z. B. bei Kanalschleusen, die Vorschleuse schon die Einfahrt, doch kann bei gröfseren, schwieriger ein-

[46]) Deutsche Techniker-Zeitung 1893, S. 192.

zufahrenden Flufs- und Seeschleusen sich die Einfahrt weit über die eigentliche Vorschleuse hinaus erstrecken und als sogenannter Vorhafen erscheinen. In solchem Falle ist jedoch nach dem herrschenden Sprachgebrauch die Grenze für die Einfahrt nicht genau zu ziehen. Die weiteste würde den ganzen Vorhafen mit umfassen, die engste dagegen schon bei der Vorschleuse, als dem unbedingt zur Schleuse gehörenden und konstruktiv mit ihr verbundenen Teile, liegen. Es mögen einige Beispiele aus den in den Tafeln V u. s. w. dargestellten Schleusen zur Erläuterung dienen.

Nur die nach den Figuren 2 u. 3, T. V eng mit dem übrigen Schleusenhaupt verbundene, zwischen den schräg zusammenlaufenden Mauern liegende Vorschleuse würde eine Einfahrt in engerem Sinne genannt werden können. Denn da der Vorhafen hier auch zum Liegen von Schiffen, welche entweder nicht sogleich von dem Flusse in die Schleuse oder von der Schleuse auf den Flufs fahren können, dienen soll, also eine gewisse selbständige Bedeutung neben der Schleuse oder wenigstens neben der Einfahrt besitzt, so würde es zu weit gerechnet sein, ihn ebenfalls Einfahrt zu benennen. Fast dasselbe gilt von der in F. 10, T. VI dargestellten Weserschleuse, indem der obere Vorhafen für sechs Segelschiffe von 35 bis 47 m Länge und 6 bis 7,5 m Breite, sowie für ein Dampfschiff von 52 m Länge und 10,8 m Breite, der untere Vorhafen für ein Dampfschiff und zwei Segelschiffe Raum bietet. Es sind also beide Vorhäfen unter Umständen sogar als Zufluchtshäfen zu benutzen und daher gewissermafsen selbständige Bauwerke. Trotzdem ist ihr gewöhnlicher Zweck, das bequeme Einfahren vom Flufs in die Schleuse zu erleichtern. Ferner wird bei den in F. 13, T. V dargestellten Schleusen zu Harburg aus denselben Gründen der Raum zwischen der Elbe und den schräg zusammenlaufenden Mauern vor den Schleusen als Vorhafen, dagegen der trichterförmige Raum zwischen diesen Mauern als Einfahrt zu bezeichnen sein.

Bei den in F. 2, T. VI und in Fig. 71—75 im Texte dargestellten Schleusen ist nun aufser den möglichst kurz gehaltenen Vorschleusen keine weitere Einfahrt vorhanden, als in dem ersteren Falle eine von der Kanalseite her erfolgende Konvergenz der Kanalufer, während im zweiten Falle die Schiffe aufserhalb der schmalen Vorböden sich sofort im offenen Wasser befinden.

Seeschleusen haben nicht selten aufser der eigentlichen in der Nähe der Schleuse meist trichterförmig zulaufenden Einfahrt noch einen Vorhafen für mindestens ein gröfstes Schiff. Beispiele bieten die Kammerschleuse in Geestemünde (F. 15, T. VII), die Kammerschleuse und die beiden Dockschleusen in Bremerhaven, die Kammerschleusen in Wilhelmshaven und andere, vergl. S. 66 u. 67. Aufser örtlichen Gründen, wie z. B. in Geestemünde die Lage der Schleuse zu dem engen Geeste-Flusse, werden in der Regel das Vorhandensein einer starken Strömung oder die Heftigkeit des Wellenschlages die Anbringung eines Vorhafens bedingen. Wo dieses entweder nicht der Fall, oder wo statt des Vorhafens ein Halbtidebassin sich befindet, oder endlich wo der Platz zu einem Vorhafen gefehlt hat, wird nur eine kurze Einfahrt aufser der Vorschleuse gegeben.

Aus den vorstehenden Beispielen geht zunächst hervor, wie mannigfaltig die Bedingungen für die Anlage einer Einfahrt unter Berücksichtigung der verschiedenen Örtlichkeiten sind. Da bei den getroffenen Anordnungen aber auch das persönliche Ermessen der verschiedenen Erbauer einen sehr wesentlichen und keineswegs gleichmäfsigen Einflufs geübt hat, so mögen unter Bezugnahme auf die Erwägungen im § 4 nachstehende allgemeine Regeln zur Beurteilung neuer Fälle dienen.

Bei reinen Kanalschleusen, wo das Wasser als ganz ruhig angesehen werden kann und man die Schiffe völlig in der Gewalt hat, ist aufser einer Abrundung der äufseren Mauerteile keine besondere Einfahrt nötig. Man läfst zwar in der Regel die Ufer des Kanals dicht vor der Schleuse schräg zusammenlaufen. Doch geschieht dies mehr, um auf dem Lande einen bequemen und kurzen Weg von dem Kanalufer nach den Schleusenmauern zu gewinnen und um die Länge der Schleusenflügel thunlichst einzuschränken, als um dadurch den Schiffen das Einfahren zu erleichtern. Bei rechtwinkligen Schleusenflügeln (s. weiter unten) und breiten Kanälen mit geraden Erdböschungen ist es unter Umständen nützlich, in den Hypothenusen der beiderseitigen rechten Winkel verholmte oder vergurtete Pfahlreihen anzubringen, welche eine trichterförmige Einfahrt zur Schleuse bilden.

Bei Flufsschleusen würde jene schräge Führung der Uferlinien unter Umständen schon notwendiger sein, namentlich dann, wenn die Schleuse nicht, wie z. B. in Fig. 71, S. 148, dicht an einem der Ufer, sondern etwa wie z. B. in Hameln zwischen zwei Wehren liegt. In solchen Fällen also, wo die Strömung des Flusses das Schiff in Gefahr bringen kann, die Schleuse selbst zu verfehlen, mufs derselben eine trichterförmige Einfahrt, jedoch nur an dem oberen Haupte gegeben werden. Es wird dabei gewifs stets genügen, wenn die Mündung der Einfahrt die doppelte Schleusenweite bekommt und die Länge der Einfahrt etwa gleich der gröfsten Weite ist. Diese Länge erscheint nötig, damit die, wenn auch langsam, sich bewegenden Schiffe doch nicht schädlich gegen die Mauern der Einfahrt stofsen, sondern sanft in die Richtung der Schleusenaxe geleitet werden. Wenn aber, wie in Hameln, ein besonderer Vorhafen zur Schleuse führt, so gilt der Vorhafen wie ein Kanal mit stillstehendem Wasser und es bedarf dann die Schleuse nicht noch einer besonderen Einfahrt.

Bei allen Seeschiffsschleusen dagegen, welche nicht in einem völlig geschützten Kanale liegen, erscheint wenigstens an der Aufsenseite, wo fast stets der Wind und der Wellenschlag noch auf das Schiff einwirken und wo unter Umständen sogar eine quer zur Schleusenrichtung gehende Strömung das Schiff gegen eine Seite zu treiben sucht, die Anbringung einer trichterförmigen Einfahrt notwendig. Denn schon ein mäfsiges Seeschiff von etwa 500 t ist wegen seiner Masse und wegen seiner viel gröfseren dem Winde ausgesetzten Fläche ohne Benutzung von Segeln oder Dampf ungleich schwieriger in eine bestimmte Richtung zu bringen als ein Flufs- oder Kanalschiff, bei welchem jene Umstände selten zusammentreffen. Vollends aber erfordern die grofsen Schiffe von einigen Tausend Tonnen sehr viel gröfsere Anstrengung und deshalb eine besonders vorteilhafte Form und Richtung der Schleuseneinfahrt.

Indem Seeschleusen vorzugsweise nur in Ebbe und Flut haltenden Gewässern vorkommen und die Schiffe gewöhnlich kurz vor dem Hochwasser, also noch bei Flut einlaufen und auslaufen, so kommt ganz vorzüglich die Lage der Einfahrt zur Richtung des Flutstromes in Betracht. Dabei wird es weniger nachteilig erscheinen, das Schiff etwas spitz gegen die Richtung dieser Strömung aufwinden zu müssen, als dafs das Schiff in seiner vollen Breite von der Strömung gefafst und gegen das Ufer getrieben wird. Es mufs folglich die Mündung der Einfahrt einen spitzen Winkel mit der Flutströmung bilden, d. h. stromaufwärts gerichtet sein. So liegen auch z. B. die Mündungen der Vorhäfen oder (im weiteren Sinne) Schleuseneinfahrten von Bremerhaven, Wilhelmshaven, Vlissingen stromaufwärts. Je weniger diese Richtung gegeben werden kann, desto notwendiger wird es, die Mündung der Einfahrt weit zu gestalten, damit das Schiff bei dem Ein- und Ausfahren sich nicht klemmt. Eine gröfsere Weite, mindestens so, dafs zwei gröfste Schiffe bequem nebeneinander Platz haben, ist allen Einfahrten in der Mündung zu geben, wenn die Schleuse stark benutzt wird, weil dann die Schiffe, um rechtzeitig ein- und auszulaufen, keinen Augenblick versäumen dürfen, sich also oft in der Mündung begegnen müssen. Wo nun Schiffe unter der Wirkung der Strömung ein- und auslaufen, wird ein Anstofsen gegen die Ufer der Einfahrt nicht immer zu vermeiden sein. Es ist deshalb unbedingt notwendig, dafs aufser möglichst geraden Linien nur sanft abgerundete Ecken vorkommen. Dabei werden aufserdem diese Ecken oft noch mit Holz zu verkleiden oder wenigstens mit sogenannten Reibhölzern zu versehen sein, weil die Berührung des Schiffes mit der Steinwand besonders dem ersteren nachteilig sein würde. So ist z. B. die ganze Einfahrt zur Geestemünder Schleuse, wie zum Teil aus F. 10, T. VII zu ersehen, mit Reibhölzern ausgestattet; ebenso die Einfahrten von

Bremerhaven. In englischen Häfen sieht man aufserdem sehr oft hölzerne verholmte und mit Bohlenbelag bedeckte Pfahlwerke (Leitwerke) neben den Schleuseneinfahrten. Dieselben sind jedoch meistens später entstanden, nachdem sich die Einfahrt als zu kurz herausgestellt hatte; sie sind indessen wegen ihrer Elasticität für die Schiffe sehr vorteilhaft.

Bei den Schleusen des Amsterdamer Kanals[47]) (F. 2, T. VII) sind erst nachträglich die zur sicheren Einfahrt nötigen Holzgerüste angebracht. Dieselben bestehen bei den Nordsee-Schleusen, welche aufsen und innen nur von dem Spiegel des Kanals begrenzt werden, nur aus Dükdalben von der in Fig. 82 dargestellten Form, welche in etwa 100 m Abstand voneinander angebracht sind. Dieselben dienen also auch wie die gewöhnlichen Dükdalben und sind zum bequemen Anbinden der Schiffe mit einer kleinen Plattform versehen. Vor den Zuidersee-Schleusen jedoch, wo zu beiden Seiten ausgedehnte Wasserflächen sich finden, mufsten in der Verlängerung der beiden äufsersten Mauern zusammenhängende Leitwerke von etwa 150 m Länge und in etwas geschweifter Form und selbst bei den zwei dazwischenliegenden Mauern der grofsen (mittleren) Schleuse kürzere gerade Werke bis 80 m Länge angelegt werden. Die äufseren sind zum Begehen eingerichtet, um den Schiffen frühzeitig helfen zu können und haben den in Fig. 83 dargestellten Querschnitt.

Fig. 82.

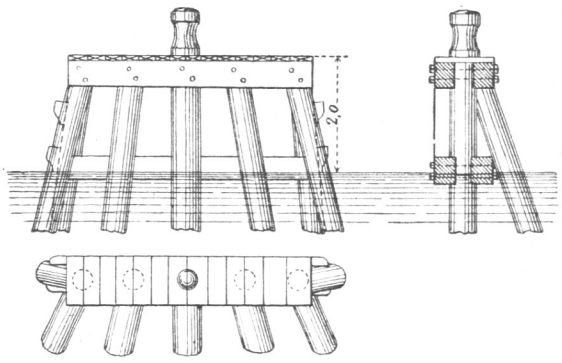
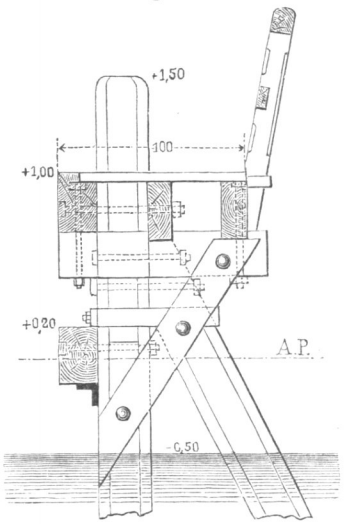


Fig. 83.



Diese verholmten und bekleideten Pfahlwerke dienen nach Bedarf, wenn sie von den Schiffen angelaufen werden, auch zum Hemmen der Fahrt.

Die Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals haben — abgesehen von der möglichst günstigen Richtung zum Ebbe- und Flutstrome und zum Wellenschlag an der Elbseite — an beiden Mündungen bedeutende Vorhäfen erhalten. In Brunsbüttel hat dieser Vorkanal von der Spitze der Westmolen bis zu den Schleusen 700 m Länge bei 100 m Breite (vergl. F. 7, T. XII), in der Kieler Bucht von der Spitze der Nordmole bis zu den Schleusen 700 m Länge bei 120 m Breite. Aufserdem sind die Einfahrten unmittelbar an den Schleusenhäuptern sowohl binnen- als aufsenwärts noch durch lange hölzerne, möglichst elastische Leitwerke gesichert. Die an die Mittelpfeiler sich anschliefsenden bilden lang sich vorstreckende Zungen aus Pfahlwerk, das ganz mit Bohlenbelag abgedeckt ist, an den Aufsenwänden geschieht die Einweisung der Schiffe durch Dükdalben, vor denen schwimmende Fender liegen.

Als ein notwendiges Zubehör jeder Einfahrt einer Seeschleuse sind kräftige stehende Winden oder Gangspills anzusehen, welche mindestens an dem vordersten Punkte der Einfahrt, sodann aber auch in mehrfacher Wiederholung an der ganzen Schleuse entlang stehen müssen. Die ein- oder auslaufenden Schiffe werfen Taue ans Ufer, welche dann von der Schleusenmannschaft sofort um die Winden gelegt werden. Auf diese Weise werden die Schiffe nicht allein kräftig vorwärts gezogen oder bei umgekehrtem Bedürfnisse in der Fahrt gehemmt (gestoppt), sondern auch nach Erfordern seitlich abgelenkt und vor dem Anstofsen gegen Mauern oder andere Schiffe geschützt.

---

[47]) W. Kuntze. Der Amsterdamer Seekanal. Zeitschr. f. Bauw. 1881, S. 353.

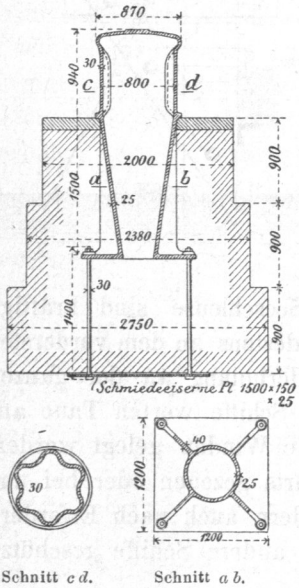
Bei Schleusen, deren Thore und Schützen durch Maschinen bewegt werden, pflegt man auch die Spills für diesen Betrieb einzurichten, gleichzeitig aber die Anordnung so zu treffen, dafs, falls die Maschinenkraft versagen sollte, auch Handbetrieb möglich ist. Die Stellung der Spills wählt man so, dafs, falls die Bewegungsvorrichtung der Thore versagt, Schliefsen und Öffnen derselben auch durch die Spills bewirkt werden kann.

In oben beschriebener Weise sind die Spills auf den Schleusenmauern des Nord-Ostsee-Kanals eingerichtet, deren Lage für die Schleuse zu Brunsbüttel aus F. 13, T. XI ersichtlich ist. Die Kraftübertragung erfolgt durch Transmissionswellen und Zahnräder von der Kraftquelle aus (hydraulische Dreicylindermaschinen), welche gleichzeitig die Thore und Schützen bewegen. Weit häufiger findet man aber unmittelbar in oder unter den Spills kleine Dreicylindermaschinen angebracht, welche ausschliefslich zu deren Bewegung dienen (vergl. weiter unten Fig. 85), eine Anordnung, die bei gröfseren Entfernungen der Billigkeit wegen jedenfalls vorzuziehen ist.

Um die Stärke der Maschinen für die Spills zu bestimmen, welche im stande sein sollen, Schiffe von bestimmten Abmessungen in einer bestimmten Zeit in die Schleuse zu winden, würde es allerdings notwendig sein, dafs man den Widerstand kennte, der für eine bestimmte Geschwindigkeit durch das Schiff verursacht wird. Über diesen Gegenstand haben Fontaine und Desmur Untersuchungen angestellt, welche in den Annales des ponts et chaussées 1881, Aug., S. 139—161 mitgeteilt und in der Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1882, S. 297 von Eichhorn kurz wiedergegeben sind. Im Jahrgange 1885, II, S. 727 der genannten französischen Zeitschrift weist aber Barbet nach, dafs diese Formeln unzuverlässig sind, weil sie verschiedene wichtige Verhältnisse, die den Kraftbedarf beeinflussen, unberücksichtigt gelassen haben. Barbet sucht die Formeln durch eine Funktion der Wasserhöhe zu vervollkommnen und bringt sie mit eigenen Versuchen dadurch in Übereinstimmung. Diese Formeln sind aber so kompliziert, dafs es nicht angezeigt erscheint, dieselben wiederzugeben. Das wichtigste Ergebnis der Untersuchungen von Barbet, der zweckmäfsigste Abstand zwischen Schiffsboden und Drempel ist bereits in § 4 mitgeteilt.

Für die grofsen Seeschleusen in England wendet man in der Regel Spills von verschiedener Zugkraft an und setzt die stärksten, welche je 11 bis 12 Tonnen Zug entwickeln können, auf die Aufsenhäupter, da hier die Schiffe des unruhigeren Wassers wegen am meisten Widerstand leisten. Diese Spills werden bis jetzt fast ausnahmslos durch Druckwasser getrieben. Die zwei oder vier Spills auf dem Binnen- oder Mittelhaupte haben gewöhnlich je 5 Tonnen Zugkraft und werden selbst in solchen Fällen nicht selten durch eingesteckte Bäume bewegt, in denen eine Prefswasseranlage vorhanden ist. Die Spills stehen in der Regel 1,5 bis 2 m von der Mauerkante entfernt. An der Mauerkante sind gewöhnlich Reihen wagerechter Führungsrollen für die Trossen, und weiter vom Rande entfernt stehen starke Haltepfähle oder Poller (Fig. 84) mit verstärkten Köpfen.[48])

Fig. 84. *Poller.* M. 1 : 80.



Wenn im allgemeinen die Spills nur bei grofsen Seeschleusen üblich sind, während bei Flufs- und Kanalschleusen die Schiffer selbst mit ihrer Mannschaft das Einfahren besorgen müssen, so ist man doch im stande, durch maschinellen Betrieb nicht nur der Thore und Schützen, sondern auch des Ein- und Ausfahrens der Schiffe die Schleusungsdauer wesentlich zu verkürzen und dadurch die Leistungsfähigkeit

[48]) Vergl. auch Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1888, S. 435.

der Schleuse zu erhöhen. Man findet daher neuerdings auch Flufs- und Kanalschleusen, die einen grofsen Verkehr zu bewältigen haben, nicht nur mit mechanischen Bewegungsvorrichtungen für Thore und Schützen, sondern auch für Spills versehen. Namentlich eignen sich hierfür solche Schleusen, die so vieles Wasser haben, dafs man das Gefälle gleich zur Erzeugung der Maschinenkraft durch Turbinen oder Wasserräder benutzen kann.

So dient zur Erleichterung des Einfahrens der sehr voll gebauten Schiffe in die zwischen Buffalo und New-York liegenden fünf Schleusen des Erie-Kanals, wobei wegen des grofsen Widerstandes früher 2—3 Pferde aufs höchste angestrengt werden mufsten, um ein Schiff in 20 bis 30 Minuten in die Schleuse zu bringen, jetzt die Kraft kleiner Turbinen von 61 cm Durchmesser, welche mittels des 3,47 m hohen Schleusengefälles an jeder Schleuse eine Windetrommel treiben, von der aus ein Seil an das einzuholende Schiff befestigt wird, siehe Centralbl. der Bauverw. 1883, S. 115.

Fig. 85.

Cabstan (Spill). M. 1:40.

Ansicht. Schnitt.

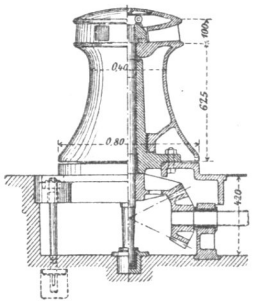


Fig. 85 zeigt ein hydraulisches Spill von der Schleuse zu Bougival an der Seine, welches sich bei dem dortigen sehr lebhaften Betriebe gut bewährt hat. Neben dem Spill befindet sich eine hydraulische Dreicylindermaschine, welche die in der Figur angedeutete horizontale Welle antreibt. Näheres über diese Anlage findet sich in der Zeitschr. f. Bauw. 1884, S. 33.

Als Anhalt für die Berechnung der unter günstigen Umständen zum Durchschleusen erforderlichen Zeit, je nachdem das Einfahren in die Schleuse durch Menschenkraft oder durch Pferde oder durch Maschinenkraft erfolgt, möge die nachstehende Tabelle dienen.

Schiffsbeförderung.	Bergfahrt			Thalfahrt			Mittlere Dauer der ganzen Durchschleusung
	Eigentliche Schleusung	Einfahrt in die Kammer bezw. Ausfahrt	Zusammen	Eigentliche Schleusung	Einfahrt in die Kammer bezw. Ausfahrt	Zusammen	
	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.	Min.
Durch Dampfkraft	4,7	3,8	8,5	4,5	3,4	7,9	8,2
„ Pferdekraft	5,5	5,1	10,6	5,2	4,4	9,6	10,1
„ Menschenkraft	6,2	9,7	15,9	5,7	7,6	13,3	14,6

Die Tabelle beruht auf Beobachtungen des Oberingenieurs Bazin an zahlreichen Schleusen des Kanals von Burgund. Das Öffnen und Schliefsen der Thore geschah durch einen Mann in 2 Minuten. Das Füllen und Leeren der Kammer von 2,6 m Gefälle und 600 cbm Inhalt mittels eines durchgehenden Seitenkanals und abzweigenden Stichkanälen geschah bei den Versuchen in 3 Minuten, während es bei gewöhnlichem Betriebe etwa 5—6 Minuten dauern wird. Dieser Seitenkanal diente gleichzeitig zur Erleichterung des Ein- und Ausfahrens der Schiffe in der in § 24 näher klarzustellenden Weise.[49])

Die Erhebungen sind an Schiffen von 1,3 bis 1,4 m Eintauchungstiefe und 200 bis 220 t Belastung gemacht. Die Eintauchungstiefe der Dampfschiffe war sehr verschieden und betrug oft 1,5—1,6 m. Die Wasserspiegel der Haltungen lagen in der Regel 1,8 m über den Drempeln.

[49]) Ann. des ponts et chaussées 1885, März, S. 450—463; Wochenbl. f. Bauk. 1885, S. 272.

In solchen Einfahrten oder richtiger Vorhäfen, in denen die Schiffe unter Umständen eine Zeit lang liegen müssen und wo übrigens keine hohen und festen Mauern zum Anbinden (Vertauen) der Schiffe vorhanden sind, müssen Dükdalben oder Anbindepfähle im Wasser, Prellpfähle vor den niedrigen oder schrägen Ufern und aufserdem Landfasten oder Landpfosten (Poller) auf dem Ufer angebracht sein. Diese Einrichtungen sind bis auf die letztgenannten z. B. in F. 1 u. 2, T. V enthalten.

Flügel. Nach der Besprechung der Einfahrten wird es leicht sein, das Erforderliche hinsichtlich der Flügel einer Schleuse zu sagen. Die Flügel stellen den Übergang von den eigentlichen Schleusenmauern nach den Ufern des betreffenden Gewässers dar. Wenn diese Ufer selbst mit Mauern oder Holzwänden bekleidet sind, so ist der Übergang oft ein unbegrenzter, weil die Konstruktion sich nirgends ändert, und die Flügel besitzen dann je nach der Anschauung eine grofse oder geringe Länge. Wo aber die Ufer nur aus Erdböschungen bestehen oder auch mit Busch oder Steinen bekleidet sind, wird der Flügel nach dieser Richtung hin eine bestimmte Länge erhalten. Von der Schleuse aus rechnet man die nicht etwa noch zur Vorschleuse gehörenden, aber mit der Schleuse übrigens in festem Zusammenhange stehenden Wände zu den Flügeln, obgleich dabei eine scharfe und zweifellose Trennung nicht gegeben ist. So würden in F. 2, T. V binnen die Mauer von der obersten Treppenstufe ab, also einschliefslich der Treppe, aufsen dagegen von der untersten Stufe oder einer die beiden Mauerfluchten an der abgerundeten Ecke schneidenden Linie ab, also ohne die Treppe, als Flügel zu gelten haben, während aufsen die mit der Treppe bedeckte Mauer zur Vorschleuse und binnen der horizontal abgedeckte obere Mauerteil unbedingt zu dem Hinterboden und der Thorsäule gehört. In der Ansicht dagegen werden binnen die von der runden Ecke ab sich nach dem Ufer hin erstreckenden Flächen als zu den Flügeln gehörig bezeichnet. Wenn dagegen keine eigentliche mit der Hauptschleuse einheitlich fundierte Vorschleuse vorhanden ist, wie z. B. in F. 13, T. V, so werden die dort ähnlich wie im vorigen Beispiele liegenden Seitenmauern schon gewöhnlich zu den Flügeln gerechnet. Es ist also eine Trennung zwischen Vorschleusen- und Flügelwänden stets eine etwas willkürliche. Vergleiche auch die übrigen Beispiele auf Tafel VI u. VII.

Die Flügel haben nun unter gewissen Umständen aufser der Vermittelung des Anschlusses an die Ufer und der Gewährung einer bequemen Einfahrt noch wesentlich zu der Sicherung des ganzen Schleusenkörpers gegen das Hindurchziehen von Wasseradern aus dem höheren nach dem niedrigen Wasser hin beizutragen. Sie wirken dann in diesem Sinne wie starke Flügelspundwände hinter den Mauern, liegen zu diesem Zwecke am besten senkrecht zur Schleusenaxe und sind im Fundament unbedingt mit dichten Spundwänden zu versehen.

Dammfalze. Die Dammfalze dienen zur Abdammung der Hauptteile der Schleuse, namentlich der Thorkammer und der Kammer bei etwaigen Reparaturen an Thoren, Drempeln u. s. w. Sie liegen zu diesen Zwecken meistens in den Mauern der Vorschleusen, vergl. § 8, bei langen Kammern jedoch auch wohl in diesen, um nach Bedürfnis nur einen kleinen Teil der Schleuse trocken halten zu müssen. Diese Anordnung hat jedoch wenig Sinn, denn sobald der eine Teil der Schleuse abgesperrt ist, wird bei derselben Gelegenheit auch der übrige Teil mit Nutzen nachzusehen sein. Das Ausschöpfen verursacht bei der Dichtigkeit des Ganzen in der Regel keine Schwierigkeiten. Selbstverständlich wird dies anders, wenn die Schleuse, wie z. B. die Papenburger F. 6, T. V, aus zwei getrennt liegenden Häuptern mit dazwischen liegender Kammer

aus Busch oder Steinpflaster u. s. w. besteht. Alsdann ist eine Trockenlegung der einzelnen Häupter meistens vorzuziehen.

Die Dammfalze werden nun je nach der Weite der Schleusen und der Höhe des während der Abdammung zu erwartenden Wasserdrucks einfach oder doppelt gemacht. Im ersteren Falle müssen die in den Falz gesenkten Dammbalken im wesentlichen allein die nötige Dichtung und Stärke abgeben, während im zweiten Falle die zwischen den zwei Balkenwänden eingestampfte fette Erde u. s. w. nicht allein die Dichtung, sondern auch die Festigkeit der Abdammung befördert. Wenn die Schleuse weiter als etwa 12 m ist und die Abdammung einen höheren Druck als etwa 2 m zu ertragen hat, sollten die Dammfalze doppelt sein, weil es sonst zu schwierig ist, die nötige Dichtigkeit zu erreichen. Man kann zwar von der Aufsenseite durch vorgeschüttete Erde die Dichtung der einfachen Balken vermehren, doch wird bei deren starken Durchbiegung eine Dichtung immer mangelhaft bleiben. — Eine in Holland mitunter vorkommende, raumersparende Anordnung doppelter Dammfalze zeigt F. 20, T. IV.

In hohem Mafse kann man jedoch eine einfache Abdammung durch Anbringung einiger Sprengwerke verstärken, welche horizontal liegend sich gegen die inneren Mauerteile stemmen. Um ihre Wirkung auf alle Dammbalken zu verteilen, sind zwischen dieselben und die Sprengwerke senkrechte Ständer zu stellen. Bei hohen Wasserdrücken, z. B. wenn während einer Abdammung eine Sturmflut eintritt, wird es aber auch für doppelte Dammbalken notwendig, eine Verstärkung anzubringen. Dies geschieht auch in letzterwähntem Falle für einfache dadurch am leichtesten, dafs man in der Mitte der Schleusenweite oder etwa gar an mehreren Punkten einen vertikalen Ständer mit einer nach innen gerichteten Strebe anbringt. Es müssen jedoch für diese die entsprechenden Schuhe aus Quaderstücken oder von Gufseisen u. s. w. im Boden vorhanden sein, siehe F. 15, T. VII.

Bei kleinen Kanalschleusen sind diese Verstärkungen nicht notwendig, und genügen dabei meistens Balken von etwa 20 bis 25 cm Dicke. Für gröfsere Seeschleusen reichen unter Anwendung jener Verstärkungen meistens Balken von 30 cm Dicke aus. Die Tiefe der Falze mufs mindestens gleich der Dicke der Balken sein. Dabei müssen die Kanten der Falze sorgfältig abgerundet sein, weil sonst auch bei dem besten Stein ein Abspringen erfolgen würde. Endlich mufs als Regel gelten, die Dammfalze nur in gutem Werkstein herzustellen und darauf zu sehen, dafs die Steine infolge der Falze nicht brechen. Eine in den übereinanderliegenden Schichten bald an der einen, bald an der anderen Seite des Falzes liegende Stofsfuge läfst unter Umständen mit Vorteil vermeiden, dafs die Quader in ihrer Länge einen vollen Falz erhalten.

Bei Schleusen mit Umläufen ist es notwendig, auch die Schütze oder Ventile in denselben nachsehen zu können. Wo daher — was immer vorzuziehen — diese nicht so eingerichtet sind, dafs alle irgendwie leichter zu beschädigenden Teile herausgenommen und nachgesehen werden können, müssen auch in den Umläufen vor und hinter den Verschlüssen Dammfalze zum Abdämmen und Trockenlegen dieser Teile vorgesehen werden.

Treppen sind an allen solchen Stellen der Schleusen nötig, wo die Wände von einer gröfseren Höhe auf eine geringere heruntergehen, denn es ist durchaus notwendig, dafs nicht allein die Bedienungsmannschaft der Schleuse, sondern auch die Schiffsmannschaften oder das an der Schleuse verkehrende Publikum ohne Gefahr jederzeit an den beiden Ufern entlang gehen kann. Die namentlich bei grofsen Schleusen den Schiffen mit gröfster Geschwindigkeit zu gewährenden Hilfeleistungen machen daher besonders

bequeme und breite Treppen nötig. Da nun massive Seitenwände ohnehin stets mit guten Deckplatten abgedeckt werden müssen, so verursacht die Herstellung massiver Treppen dabei wenig besondere Kosten, indem einfach statt der schrägliegenden Deckplatten Stufen angebracht werden. F. 1, 2 u. 5, T. V; F. 2 u. 4, T. VI; F. 2, T. VII; F. 13, T. XI und F. 1—5, T. XII geben verschiedene Beispiele hierzu. Ist der Treppenlauf gerade und in der Flucht der Hauptmauer, so erscheinen Wangen unnötig, im anderen Falle jedoch erwünscht. Dagegen ist es, wie an der ganzen Schleuse, Regel, keine Geländer anzubringen, weil hierdurch der Dienst zu sehr erschwert werden würde.

Bei einigen Kanal- und Flufsschleusen kommen auch Treppen von der Kammermauer abwärts bis etwas über den Unterwasserstand vor, um den Schiffern und Beamten den Verkehr zwischen Schiff und Ufer zu erleichtern. Solche Treppen liegen dann ähnlich wie in Trockendocks parallel zur Seitenwand. Es mufs jedoch diese Anordnung in allen Fällen, wo nicht etwa die Schleusenkammer als Anlegeplatz für Passagiere gilt, wie z. B. bei der holländischen „Treckschuiten"-Fahrt, als fast überflüssig und für den Verkehr auf der Schleuse als gefährlich bezeichnet werden. Es genügt meistens für den erstgedachten Zweck, in einer dammfalzartigen, etwa 0,5 m breiten und 0,3 m tiefen Nische eine eiserne Steigeleiter anzubringen.

Über die Anbringung von Laufbrücken über den Thoren ist in § 15, sowie gelegentlich der Beschreibung verschiedener Thore in § 18 und § 19 das Nötige gesagt. Von beweglichen Brücken ist in § 26 die Rede.

C. Die Thore.

(119 Textfiguren.)

§ 15. Die Thore im allgemeinen, Arten derselben: Stemmthore, Fächerthore, einflügelige Drehthore, Klappthore, Schiebethore, Pontons. Die eigentümlichen und wichtigsten Bedingungen für die Verschlufsvorrichtungen oder die Thore einer Schiffsschleuse sind Sicherheit gegen den stärksten Wasserdruck, genügende Dichtigkeit und leichte Beweglichkeit. Dafs aufserdem die allgemeinen Bedingungen jeder Konstruktion, vorteilhafte Beanspruchung der verschiedenen Teile oder sparsame Verwendung des Materials, möglichst grofse und gleichmäfsige Dauer der einzelnen Teile und der ganzen Verbindung, erfüllt sein müssen, dürfte wohl als selbstverständlich gelten.

Da die Schleusenthore der kleinen und grofsen Schleusen, der im Binnenlande oder an der See belegenen u. s. w., den mannigfachsten Verhältnissen unterworfen sind und namentlich hinsichtlich der Beweglichkeit sehr verschiedenen Ansprüchen zu genügen haben, so ist es nicht auffallend, dafs eine grofse Verschiedenheit in der allgemeinen Anordnung und der Ausbildung im einzelnen besteht. Eine Dockschleuse, welche täglich höchstens zweimal geöffnet und geschlossen zu werden braucht, während ihrer Öffnungszeit aber zahlreichen Schiffen die Durchfahrt gestattet, kann ihrem Zwecke unbeschadet mehrere Minuten Zeit zur völligen Bewegung ihres Thorverschlusses erfordern, während bei Kanalschleusen, die nur jedesmal einem einzelnen Schiff die Fahrt gestatten, aber dies täglich etwa 40mal zu leisten haben, die Schnelligkeit, mit der die Thore bewegt werden, kaum grofs genug sein kann.

Einen nicht geringeren Einfluſs hat sodann die Höhe und die Beständigkeit des Wasserdrucks. Es giebt Schleusen, die nur einen nach Centimetern zu messenden Spiegelunterschied zu halten oder eine der Schiffahrt kaum hinderliche Strömung abzuschneiden

haben. In solchen Fällen genügt nicht allein eine sehr einfache Anordnung des Verschlusses, sondern auch die leichteste Konstruktion. Dahingegen sind bei starkem Flutwechsel manche Seeschleusen, sowohl Schutzschleusen als Dockschleusen, einem Wasserdruck von 6 m ausgesetzt. Von der Festigkeit ihrer Thore hängt in dem einen Falle die Sicherheit einer reichen Stadt oder Landschaft, in dem anderen die einer Flotte beladener Schiffe ab. Es ist alsdann neben einer genügend leichten Beweglichkeit die Festigkeit der Thore auf das höchste Mafs zu bringen.

Ferner wird auch bei übrigens gleichem Wasserdruck und ähnlichen Ansprüchen an Beweglichkeit die Weite der Schleuse sehr mafsgebend für die Anordnung der Thore sein.

Endlich wird das zu wählende Material in geringem Mafse von den örtlichen Preisen, in höherem aber von seinen Eigenschaften und seiner Dauer in dem betreffenden Wasser abhängen, wie dieses namentlich für das vom Bohrwurm heimgesuchte Seewasser von Bedeutung ist. Seit der Ausbildung der Eisenblechkonstruktionen mufs es geradezu als ein Konstruktionsfehler gelten, wenn man noch die Thore grofser Seehafenschleusen aus Holz herstellt. Die Schwierigkeit, mit der sich zahlreiche Hölzer zu einem den verschiedenen Angriffen widerstehenden grofsen Schleusenthore zusammensetzen lassen, bedingt eines Teils eine Anhäufung von totem Material und daneben übermäfsige Beanspruchung anderer Teile. Man kann unbedingt behaupten, dafs *je gröfser das Thor, desto weniger die Holzkonstruktion noch geeignet bleibt*, während umgekehrt bei kleinen Thoren das Holz wohl stets in erster Linie Beachtung verdient. Um so weniger werden grofse Holzthore dann aber angebracht sein, wenn sie auch der Gefahr ausgesetzt sind, vom Seewurm angegriffen zu werden. Man kann allerdings durch kostspielige Mittel einen zwar notdürftigen aber nicht völlig sicheren Schutz gewähren, namentlich durch den Überzug der ganzen Aufsenfläche des Holzes mit eisernen, sehr breitköpfigen Nägeln. Vergleicht man aber die Kosten, die Dauer, das Gewicht und die Schwerfälligkeit eines grofsen eisenbenagelten Holzthores und eines gleich grofsen, aus dünnen Eisenblechen ohne Materialverschwendung konstruierten, schwimmenden und leicht beweglichen Thores, so mufs die Verwendung des Holzes in solchem Falle als fast nach allen Richtungen hin unzweckmäfsig erscheinen. Es kommen aber begreiflicherweise Fälle vor, wo unter Einwirkung der örtlichen Verhältnisse, als Materialpreise, Entfernung von geeigneten Eisenfabriken u. s. w. die Holzkonstruktion ausnahmsweise den Vorzug verdient oder wenigstens in nähere Erwägung zu ziehen ist, während an anderen Orten für gleiche konstruktive Verhältnisse nur das Eisen in Frage kommen dürfte.

Es ist nun allerdings als ein Mangel unserer Kenntnisse anzusehen, dafs wir über die Dauer des Eisens, insbesondere des Eisenbleches, bei Schleusenthoren noch keine ausreichende Erfahrung besitzen. Die schmiedeeisernen Thore sind verhältnismäfsig noch so jung, dafs kaum die ältesten von ihnen völlig abgenutzt sind. Es kann aber schon jetzt als zweifellos gelten, dafs bei übrigens guter Konstruktion, Wartung und Unterhaltung ein schmiedeeisernes Thor, dessen dünnste Bleche etwa 6 mm sind, mindestens 30 Jahre, wahrscheinlich aber viel länger, vielleicht 60 Jahre hält. Es haben z. B. die stets unter salzigem Wasser liegenden Bleche der seit dem Jahre 1848 bestehenden alten Bremerhavener Dockschleuse bei einer im Jahre 1893 vorgenommenen Untersuchung an der stark geteerten Aufsenseite gar keine, im Innern der Thore eine nur geringe Verminderung ihrer Stärke gezeigt. Eine Dauer von 60 Jahren ist aber im Vergleich zur Dauer des Holzes so bedeutend, dafs selbst mehr als die doppelten Herstellungs-

kosten das eiserne Thor noch vorteilhafter erscheinen lassen. Denn einem aus gutem Eichenholz hergestellten Holzthore kann im Durchschnitt nicht viel mehr als eine 15jährige Dauer zugesprochen werden, wobei die jährlichen Unterhaltungskosten im Durchschnitt etwa 2 Prozent der Baukosten betragen.

Abgesehen nun von dem Materiale lassen sich die in der Überschrift dieses Paragraphen genannten Hauptarten von Schleusenthoren unterscheiden. Es soll hier zunächst die zweckmäfsige Anwendung jeder dieser Arten kurz besprochen werden, worauf alsdann in späteren Paragraphen eine eingehendere Betrachtung folgen mag.

Sämtliche Thore zerfallen in zwei Hauptgruppen, deren eine und bisher gebräuchlichste die Stemmthore bilden, bei denen die Druckübertragung, wie der Name besagt, durch Gegeneinanderstemmen zweier Flügel erfolgt, während die andere Gruppe alle übrigen Thore in sich schliefst, bei denen die Thore wie Platten beansprucht werden, welche auf zwei einander gegenüberliegenden oder auch auf drei und selbst allen vier Seiten unterstützt sind.

Die Stemmthore haben vor den übrigen Thorarten den Vorzug, dafs sie die freie Länge auf nur wenig mehr als die Hälfte einschränken und infolge dessen einen geringeren Materialverbrauch erfordern und auch leichter zu bewegen sind, als manche der einflügeligen Thore. Dagegen haben sie den Nachteil, dafs ihre statische Beanspruchung, sobald sie nicht nur stemmen, sondern auch am Drempel anliegen, eine sehr unklare wird (vergl. § 16 und 17), dafs sie bei unruhigem Wasser durch Zusammenschlagen beider Flügel leicht beschädigt werden (vergl. den Schlufs dieses Paragraphen), und dafs sie, wenn sie ihrer Gröfse wegen durch Maschinen bewegt werden müssen, die doppelte Anzahl von maschinellen Einrichtungen erfordern. Da aber Betriebsstörungen hauptsächlich durch Verletzung dieser Teile, sowie der Zapfen und Halsbänder eintreten, sind Stemmthore mit Maschinenbetrieb Betriebsstörungen doppelt so leicht ausgesetzt als einflügelige Thore. Ferner macht der Ersatz alter Stemmthore durch neue weit mehr Schwierigkeiten, als bei den aus einem Stück bestehenden Thoren, weil das Einpassen der ersteren viel gröfsere Genauigkeit erfordert und ohne Trockenlegung des Schleusenhauptes nur sehr mangelhaft ausfallen mufs, auch ist die Konstruktion des Drempels bei den Stemmthoren viel umständlicher als bei jenen anderen. Endlich sind die Stemmthore viel empfindlicher gegen geringe Bewegungen der Mauern und werden durch dieselben leicht in ihrem Bestande gefährdet, während bei Schiebethoren und Pontons selbst ein starkes Neigen der Mauern weder die Festigkeit noch die Dichtigkeit beeinträchtigt und auch Klappthore und einflügelige Drehthore nur dann dadurch Schaden nehmen können, wenn man denselben zu wenig Spielraum gegeben hat. Dieses sind die Gründe, deretwegen man in neuerer Zeit nicht selten von den Stemmthoren absieht.

Nach dieser allgemeinen Erörterung der gemeinsamen Vor- und Nachteile der beiden Gruppen mögen die besonderen Vor- und Nachteile der einzelnen Thorarten kurz angeführt und die Verhältnisse angegeben werden, für welche sich dieselben eignen oder nicht eignen.

Das Stemmthor eignet sich nach dem Obigen und nach den eingehenden Untersuchungen der folgenden Paragraphen also besonders für alle mittleren und kleineren Schleusen, bei denen die Verschlüsse aus Holz hergestellt werden sollen, welche mit jedem Haupte nur nach einer Richtung zu kehren haben, und bei denen Bewegungen der Wände nicht zu fürchten sind. In Eisen ausgeführt eignet es sich aber bei diesen Verhältnissen auch noch für grofse Weiten, wenn nur den Eigentümlichkeiten dieses

Stoffes gehörig Rechnung getragen wird, vergl. § 16 und 17. Es ist namentlich dann geeignet, wenn wegen beschränkten Betriebes die Bewegung der Thore von Hand geschehen kann, sodafs die kostspieligen zahlreichen Bewegungsvorrichtungen fortfallen.

Weniger empfiehlt es sich dagegen bei grofsen Schleusen auf unsicherem Baugrunde, deren Verschlüsse in jedem Haupte nach beiden Seiten hin kehren, die bei ein- und ausgehender Strömung geschlossen werden und deren Thore wegen lebhaften Betriebes durch Maschinen bewegt werden müssen.

Das Fächerthor ist gewissermafsen nur eine feste Zusammenfügung zweier gewöhnlichen Thorflügel. Man könnte zwar auch einseitige Fächerthore nach Analogie der einflügeligen Thore herstellen, doch ist aus den später bei der eingehenden Besprechung sich ergebenden Gründen die Fächerschleuse stets mit zwei symmetrischen Flügeln versehen. Der Zweck einer solchen Anordnung ist ein ganz bestimmter, nämlich um bei beliebigem Wasserdruck die Thorflügel nach Belieben dicht schliefsen oder gänzlich öffnen zu können. Es eignet sich also das Fächerthor bei etwaiger Verwendung in einer Kammerschleuse gleichzeitig auch zur Spülung des Vorhafens. Die Fächerschleuse ist aufser zu Schiffsschleusen auch als Entlastungsschleuse in Deichen angewandt, um bei einem eingetretenen Maximaldruck ein Übermafs zu vermeiden, oder um zwischen zwei verschiedenen Wasserständen jederzeit nach Belieben eine Verbindung oder Trennung herzustellen. Neben dem zu diesen Zwecken überhaupt schon selten in Gebrauch befindlichen Fächerthore sind noch ungewöhnlichere Arten zu gleichen Zwecken erfunden oder nur vorgeschlagen; dieselben sollen in § 21 als Abarten der Fächerthore Erwähnung finden.

Das einflügelige, um eine senkrechte Axe drehbare Thor fand früher nur bei kleinen Kanalschleusen von 4 bis 5 m Weite und etwa 2 m Wasserdruck namentlich in England Verwendung, ist aber neuerdings aufser bei grofsen Dockschleusen in der Form von Drehpontons auch bei grofsen Kanalschleusen bis zu 16 m Weite in Frankreich angewandt, vergl. § 21. Dies verdankt es ausschliefslich den oben allgemein als Vorzüge aller Thore mit nur einem Flügel den Stemmthoren gegenüber nachgewiesenen Eigenschaften, trotzdem es auch eine Eigenschaft besitzt, durch welche es sowohl den Stemmthoren als auch einigen anderen einteiligen Thoren gegenüber im Nachteile ist. Es ist dies die gröfsere freie Länge, welche nicht nur den oben erwähnten grösseren Materialaufwand bedingt, sondern auch, falls das Thor nach der Schleusenkammer hin aufschlägt (als Unterthor) die nutzbare Länge derselben beeinträchtigt; ferner bedingt es durch diese Vergröfserung der Kammer einen gröfseren Wasserverbrauch.

Es eignet sich daher vorwiegend zum Verschlufs der Oberhäupter, in denen es nach aufsen aufschlägt. Soll das geöffnete Thor ganz in einer Mauernische liegen, so würde allerdings ein sehr langes Oberhaupt erforderlich sein. Dieser Nachteil ist indessen zu vermeiden, da es nicht ausgeschlossen ist, einen Teil des geöffneten Thores aus dem Haupte hervorragen zu lassen und denselben in geeigneter Weise durch Pfähle zu schützen. Das einflügelige Drehthor wird also in Holz ausgeführt für kleinere Schleusen, in Eisen auch für gröfsere mit den Stemmthoren in Wettbewerb treten, wobei die jeweiligen besonderen Verhältnisse den Ausschlag geben müssen. Besonders günstig ist es für Doppel- oder Zwillingsschleusen, weil es gestattet, die Bedienung beider Schleusen von der Mittelmauer aus zu besorgen.

Von den sogenannten Klappthoren (Thore mit horizontaler Drehaxe) ist bisher nur in geringem Mafse Gebrauch gemacht, jedoch beginnt man in neuerer Zeit denselben mehr Aufmerksamkeit zuzuwenden. Ihre Anwendung beschränkt sich zweckmäfsiger-

weise auf die Oberhäupter von Schleusen von mäfsiger Weite, welche nur nach einer Seite kehren und möglichst gleichbleibenden Wasserdruck haben. Für die Unterhäupter eignen sie sich deswegen weniger, weil sie nach der Kammer zu aufschlagend, wie die einflügeligen Drehthore, die nutzbare Länge derselben beeinträchtigen. Bei grofsen Schleusenweiten würden sie auch, um genügend widerstandsfähig zu werden, eine bedeutende Stärke erlangen. Diese bedingt aber eine entsprechend tiefe Höhlung in der Sohle, in der das geöffnete Thor Platz findet, welche ohne tiefere Fundierung nur im Oberhaupte bequem herzustellen ist. Stark wechselnde Wasserstände aber werden dadurch unbequem, dafs die Klappen für gewöhnliche Stände entweder aus dem Wasser hervorragen und dadurch schwerer beweglich werden; diesen Übelstand könnte man zwar beseitigen, aber nur auf Kosten einfacher Gestaltung.

Schiebethore sind ebenfalls erst in neuerer Zeit mehr in Aufnahme gekommen; man hat sie bisher vorwiegend für Dockschleusen und Trockendocks verwendet, in Entwürfen aber auch vielfach für Kanalschleusen mit grofsem Gefälle in Aussicht genommen, vergl. § 21.

Die Vorzüge des Schiebethores sind:

1. Seine klare Beanspruchungsweise, die es mit den anderen einflügeligen Thoren teilt;
2. seine Fähigkeit, nach beiden Seiten kehren zu können;
3. die günstige Ausnutzung der Kammerlänge, die es bietet;
4. die bequeme Verbindung über die Schleuse für Fuhrwerk und selbst für Eisenbahnen, welche es ermöglicht;
5. die grofse Betriebssicherheit, die es namentlich in der Form als Gleitponton bietet, indem keine beweglichen, leicht zerstörbaren Teile unter Wasser liegen;
6. die Eigenschaft, dafs man es auch bei durchgehender Strömung schliefsen, sowie öffnen kann, bevor die vollkommene Ausspiegelung erfolgte[50]), endlich
7. seine Unempfindlichkeit gegen etwaige Kippbewegungen der Schleusenwände bei schlechtem Baugrunde, da solche weder die Dichtigkeit des Thores beeinträchtigen, noch Beschädigungen desselben herbeiführen können.

Schiebethore eignen sich daher besonders für grofse Schleusen mit beliebigem Gefälle, wenn die Häupter nach beiden Seiten kehren, die Thore starkem Wellenschlage ausgesetzt sind und geschlossen werden müssen, während Strömung durch die Schleusen geht. Einem einfachen Paar Stemmthore gegenüber sind sie durch gröfseres Gewicht im Nachteile, sie können aber bei sehr schlechtem Baugrunde wegen der unter Punkt 4 und 7 aufgeführten Eigenschaften auch hier noch in Betracht kommen.

Da der Verfasser zufällig in der Lage ist, einen auf durchgearbeiteten Entwürfen beruhenden Vergleich anstellen zu können zwischen den Kosten, welche bei den Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals unter Verwendung von Schiebethoren entstanden wären, gegenüber den durch Anwendung der Ebbe-, Flut- und Sperrthore wirklich entstandenen, so sei derselbe hier kurz mitgeteilt.

---

[50]) Nach einer Mitteilung von Barkhausen in der Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1888, S. 436 hat sich ein Schiebethor von Kinipple bereits seit nahezu 20 Jahren vorzüglich bewährt und hat die Bewegung desselben nicht nur beim heftigsten Seegange, sondern sogar bei einem einseitigen Überdrucke von 1,83 m keinerlei Schwierigkeiten gemacht. Beim Öffnen unter einseitigem Überdrucke hat man bei Schiebethoren eben nur die Reibung, die nötigenfalls in rollende verwandelt werden kann, zu überwinden, bei Stemmthoren aber den Wasserdruck selbst. Schiebethore gestatten also eine wesentliche Abkürzung der für die Ausspiegelung erforderlichen Zeit.

Die sämtlichen Thore beider Schleusenanlagen einschliefslich je eines Reservethores von jeder Sorte enthalten rund 4966 t Eisen und Stahl und kosten mit den Ausrüstungsgegenständen und dem Holzwerk rund 1 985 000 M. Anstatt der 5 Flutthore, 5 Ebbethore und 5 Sperrthore für jede Schleusenanlage, zu welchen insgesamt 30 Thorflügel gehören, wären nur 4 Schiebethore für den regelmäfsigen Betrieb und ein Reservethor nötig gewesen. Für Brunsbüttel und Holtenau zusammen also 10. Die Kosten dieser 10 Thore würden, nach den beim Nord-Ostsee-Kanale gezahlten Preisen veranschlagt, für rund 3000 t Eisen und Stahl, 11 t Bronze und das erforderliche Holzwerk höchstens 1 100 000 M. betragen haben, sodafs an den Thoren allein 885 000 M. gespart wären. Die Ersparnis an den Bewegungsvorrichtungen aber, die für beide Anlagen einschliefslich der Umlaufschützen und Spills jetzt etwa 2 660 000 M. kosten, würde fast doppelt so grofs als obige Summe gewesen sein, sodafs sich die gesamte Minderausgabe auf mindestens 2 bis $2^1/_4$ Millionen Mark berechnet. Der Hauptgewinn aber würde in der Vereinfachung und der damit verbundenen Erhöhung der Betriebssicherheit der Schleusen gelegen haben. Denn anstatt der jetzt in jeder Anlage vorhandenen 24 einzelnen Bewegungsvorrichtungen würde man dann nur 4, und zwar viel einfachere, ganz über Wasser liegende erhalten haben, die Wahrscheinlichkeit einer Betriebsstörung wäre also sechsmal geringer gewesen. Aufserdem hätten die beiden Thore jeder Schleuse in Bezug auf die Sicherheit des Schlusses bei durchgehender Strömung einander als Reserve gedient, während gegenwärtig, falls eins der betreffenden Sperrthore versagt, sofort auch das Schliefsen der zugehörigen Flut- oder Ebbethore gefährlich, wenn nicht unmöglich wird. Vergl. auch den Schlufs des § 21.

Für die Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals und ganz besonders für diejenigen in Brunsbüttel, bei denen des schlechten Baugrundes wegen eine nachträgliche Bewegung der Wände nicht ausgeschlossen ist, hätten daher Schiebethore nach Ansicht des Verfassers erhebliche Vorteile gehabt.[51])

Schliefslich sind die freischwimmenden Pontons (Thorschiffe) zu nennen, deren Konstruktion namentlich bei hohen Wasserdrücken vorteilhaft ist. Bei Trockendocks werden sie häufig verwendet, als Verschlüsse von Schiffsschleusen sind sie erst in vereinzelten Fällen, z. B. bei dem inneren Verschlufs der neuen Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven und bei der Einfahrt des Duisburger Hafens angewandt; bei lebhaftem Verkehr erfordert das Ein- und Ausbringen zu viel Zeit. Man vergleiche übrigens § 21.

Nach der vorstehenden Übersicht über die verschiedenen Thorarten ist es am Platze, die Form und die allgemeinen konstruktiven Verhältnisse der zweiflügeligen Stemmthore, als der am häufigsten vorkommenden, etwas näher zu erörtern, während die theoretische Untersuchung derselben im § 16 und die eingehende Beschreibung der Konstruktion in den §§ 18 und 19 erfolgt.

Die cylindrische Form würde ohne Zweifel in theoretischer Hinsicht für die zweiflügeligen Thore die vollkommenste sein, weil die aus dem Wasserdruck hervorgehenden Kräfte alsdann sämtlich nur auf das Zusammendrücken der cylindrischen Fläche wirksam, dabei genau zu berechnen sind und demgemäfs auch auf die vollständigste und einfachste Weise von den einzelnen Konstruktionsteilen aufgenommen werden. Nichtsdestoweniger mufs aus konstruktiven Gründen für fast alle hölzernen Thore von dieser Form abgesehen und die geradlinige Form in Anwendung gebracht werden. Denn es kann nicht erwartet werden, für gröfsere Thorflügel der beabsichtigten Form entsprechende, krummgewachsene Hölzer in genügender Zahl zu erhalten. Das sogenannte „Über den Span schneiden“ würde aber ganz unzuverlässige Hölzer geben und das etwa in feuchtem Zustande erfolgende Krümmen der Hölzer mufs für diesen Zweck als unzulässig gelten, weil die dabei eintretende Dehnung und Stauchung der Fasern die Stärke gegen Druck in der Längenrichtung zu sehr beeinträchtigen würde. Es darf die Zulässigkeit und Notwendigkeit des Biegens der Schiffsplanken nicht ent-

---

[51]) Die zur Zeit (1894) im Bau begriffene grofse Kammerschleuse für Bremerhaven erhält im Binnenhaupt ein Schiebethor, für das Aufsenhaupt hat man aber Stemmthoren den Vorzug gegeben. Vergl. Fortschritte der Ingenieurwissenschaften. Zweite Gruppe, 2. Heft, S. 73.

fernt auf die etwaige Biegung der hauptsächlichsten Thorhölzer übertragen werden, weil die ersteren Hölzer im wesentlichen nur eine wasserdichte Bekleidung abgeben sollen, aber nicht annähernd in ihrer Längenrichtung so wie die letzteren beansprucht werden. Die mehrfach bei älteren hölzernen Schleusenthoren angewandte Zusammensetzung der in ihrer Längenrichtung gedrückten Hölzer aus verschiedenen einzelnen Stücken, um dadurch eine gekrümmte Form herzustellen, mufs aber mit Rücksicht auf die verschiedenartigen kleinen Bewegungen der einzelnen Hölzer bei dem Öffnen und Schliefsen der Thore, bei ihrem Freihängen und dem Stemmen gegen den vollen Wasserdruck u. s. w. als durchaus fehlerhaft bezeichnet werden, weil sich die einmal eingetretenen kleinsten Verschiebungen mit jedesmaligem Wechsel der Lage wiederholen und vergröfsern werden.

Für Holzthore kann es demnach als Regel gelten, jede künstliche Krümmung und Zusammensetzung aus einzelnen Stücken für alle wichtigeren Konstruktionsteile unbedingt zu vermeiden und dagegen thunlichst nur geradlinige und geradfaserig gewachsene Hölzer mit möglichst einfachen Holzverbindungen zu verwenden. Es folgt daraus, dafs für Holzthore die geradlinige Form die zweckmäfsigste bleibt.

Aber selbst für kleinere eiserne Thore, z. B. für Kanalschleusen, wird die geradlinige Form deshalb meistens vorzuziehen sein, weil der Mehraufwand an Material durch die Vereinfachung der Arbeit in den Kosten reichlich aufgewogen wird.

Bei den gröfseren eisernen Thoren dagegen wird die gekrümmte oder eine aus gebrochenen Linien gebildete Form, wenigstens an der Aufsenseite, nicht nur keine Schwierigkeiten bieten, sondern auch wesentliche Vorteile in der Materialverwendung gewähren. Es sei dabei daran erinnert, dafs die Notwendigkeit einer über das gewöhnliche und leicht zu verarbeitende Mafs der Bleche hinausgehenden Stärke dahin führt, die grofsen Thore wenigstens in ihrem unteren Teile aus zwei Blechwänden zu konstruieren und den eingeschlossenen Luftraum als Mittel zu benutzen, die Thore im Wasser schwimmen zu lassen. Es ist ohne weiteres klar, dafs man dadurch die Befestigungsvorrichtungen vereinfacht und die Beweglichkeit der Thore bei gleichem Kraftaufwande erheblich vergröfsert.

Wie die Verhältnisse der geradlinigen und gekrümmten Thore in ihrem Horizontalschnitte am zweckmäfsigsten zu wählen sind, möge im § 16 erörtert werden.

Die Benennung der einzelnen Teile eines Thorflügels ist bei den eisernen Thoren fast gänzlich von den älteren hölzernen Thoren übernommen worden; es fehlen allerdings meistens gewisse Stücke der Holzthore den eisernen Thoren, sowie umgekehrt einzelne Teile, z. B. Dichtungsleisten, nur bei den letzteren vorkommen.

Das wichtigste Stück ist die Wendesäule oder derjenige Teil, der die senkrechte Drehaxe des Thores enthält und an dem also alle anderen Teile des Thores sich hängend oder stützend ansetzen. Sie lehnt sich gegen einen entsprechend gebildeten Teil der Seitenmauer, die Wendenische, und ist wegen der Drehung des Thores um nahezu einen rechten Winkel auf ihrer der Mauer zugekehrten Seite in der Regel halbcylindrisch abgerundet. Es mag schon hier kurz erwähnt werden, dafs man diesen Rücken der Wendesäule auch wohl durch einzelne kurze Stückchen eines Cylinders ersetzt und den Hauptteil der Wendesäule, der das ganze übrige Thor trägt, nur als prismatischen Körper herstellt. Die Wendesäule trägt stets oben den sogenannten Halszapfen oder den Hals und unten eine abwärts gekehrte Spurpfanne, durch deren übereinanderliegende

Mittelpunkte die genau senkrechte Drehaxe des Thorflügels geht. Auf die Lage dieser Axe zu der Rundung der Wendesäule wird weiter unten zurückgekommen.

Der Wendesäule gegenüber steht gleichfalls senkrecht die Schlagsäule, oder der materielle vordere Rand, mit dem die beiden geschlossenen Thorflügel sich berühren und gegeneinander stemmen. Wegen dieses weiter unten näher betrachteten Stemmens mufs die Berührungsfläche eine genügend grofse sein. Zwischen beiden Säulen liegen fest eingespannt das obere und das untere Rahmenstück, auch Obertramen und Untertramen (Schwellrahmen) genannt. Die Rahmhölzer liegen fast stets horizontal und bilden mit der vertikalen Wendesäule und Schlagsäule ein Rechteck, innerhalb dessen sich die gleichfalls horizontalen Riegel befinden. Das auf diese Weise hergestellte Gerippe ist nach der Seite des höheren Wasserstandes stets, mitunter aber auch an der anderen Seite mit einer Bekleidung versehen.

Die Riegel, welche bei doppelhäutigen Thoren verdeckt und namentlich bei eisernen Schwimmthoren in ihrer Bedeutung etwas verringert werden, haben bei den meisten übrigen Thoren die Aufgabe, den durch das gegenseitige Stemmen in der Thorfläche entstehenden Horizontaldruck aufzunehmen, die Bekleidung zu festigen und auch, wenigstens bei allen geraden Thoren, den von der Bekleidung auf sie kommenden Wasserdruck unschädlich zu machen. Sie sind deshalb zwischen Wendesäule und Schlagsäule horizontal eingespannt und geben mit der Bekleidung zusammen das Mafs für die Dicke des Thores, nicht aber auch für die Tiefe der Thornische. Da Ober- und Unterrahmstücke auch gewissermafsen als Riegel gelten können, so werden die übrigen wohl die Zwischenriegel genannt.

Bei eisernen Thoren von mäfsiger Höhe und bedeutender Länge hat man in neuerer Zeit angefangen, den Stemmdruck nur oben durch einen sehr starken Riegel zu übertragen, während die Aussteifung der Haut im übrigen durch Ständer geschieht, welche oben an dem Riegel und unten am Drempel ihre Stütze finden. Diese Stemmthore mögen im Gegensatze zu den mit einer gröfseren Anzahl sich stemmender Riegel versehenen und als Riegel-Stemmthore zu bezeichnenden, Ständer- oder Pfosten-Stemmthore benannt werden, vergl. T. XII, F. 8—16.

Vorzugsweise bei Holzthoren sind endlich zur Aussteifung jedes Thorflügels gegen das Versacken infolge der eigenen Schwere oder gegen die Veränderung des Rechtecks in einem Rhombus zwei Teile als wirksame Gegenmittel in Gebrauch: die Strebe und das Zugband. Sie wirken beide zu demselben Zwecke, haben aber gemäfs ihrer verschiedenen Wirkungsweise eine sich überkreuzende Lage. Die Strebe geht möglichst tief von dem Fufs der Wendesäule bis zu dem der Schlagsäule naheliegenden Ende des Oberrahmstücks, wogegen das Zugband von dem Kopf der Wendesäule bis nahe zu dem tiefsten Punkte der Schlagsäule geht. Die konstruktiven Einzelheiten sind im § 18 angegeben.

In den Thorflügeln sind fast stets Schützöffnungen angebracht, auch dann, wenn neben dem Thore in oder hinter den Seitenwänden Umläufe liegen. Beide Arten von Öffnungen dienen bekanntlich dazu, das höhere Wasser mit dem niedrigeren zu verbinden und namentlich bei Kammerschleusen die Füllung und Leerung der Kammer zu bewirken. Die konstruktiven Einzelheiten der Thorschützen werden weiter unten, namentlich in § 23, ihre Bedeutung und Wirksamkeit ist dagegen im § 7 besprochen.

Endlich sei noch die Laufbrücke erwähnt, welche zur Hälfte auf jedem Thorflügel liegt und daher nur bei einem geschlossenen Thore benutzt werden kann. Ihre Konstruktion hängt durchaus von der des Thores ab, ihr Zweck ist aber bei allen

Schleusen der nämliche, die Herstellung eines Fufswegs über die Schleuse. Dies ist zur raschen Bedienung der in Kanälen liegenden Kammerschleusen durch den Schleusenwärter, namentlich wenn derselbe wie bei allen kleineren Schleusen keinen Gehilfen hat, notwendig. Die so gebildeten Laufbrücken reichen dabei aus, um bei jedem Stande des Durchschleusens rasch von dem einen Ufer auf das andere gelangen zu können, weil in diesen Kammerschleusen zu jeder Zeit das eine Thor geschlossen gehalten werden mufs. Wenn bei kleineren und daher nur geringe Dicke besitzenden Thoren die Laufbrücke erheblich breiter als die Dicke des Thores wird, so entsteht daraus in der Regel keine Schwierigkeit, weil die hoch zu legende Brücke nach den Landseiten leicht um ein kleines Mafs über die Seitenwände vortreten kann und deshalb bei geöffnetem Thore nicht auch wie der Thorflügel selbst Platz in der Thornische zu finden braucht. Über selbständige Brücken neben den Thoren s. § 26.

Nach dieser allgemeinen Darstellung eines zweiflügeligen Thores ist es besonders noch wichtig, die allgemeinen Bedingungen zu betrachten, welche zu einem dichten Verschlufs der Thoröffnung, sowie zu einer leichten Bewegung der Thorflügel und zu ihrer geschützten Lage während ihres Offenstehens zu erfüllen sind.

In geschlossenem Zustande können die Flügel eines zweiflügeligen Drehthores nur neben und hinter der Wendesäule durch die Seitenwand und an dem Unterrahmstück durch den Drempel eine unmittelbare Unterstützung erhalten, falls nicht, wie bei manchen schiffbaren Deichschleusen, die Schleuse überdeckt ist und alsdann auch dem Oberrahmstück eine dem Drempelanschlag ähnliche Unterstützung gewährt. Dieser Fall ist aber bei den eigentlichen Schiffsschleusen so selten, dafs er hier nicht weiter in Betracht zu ziehen ist. Es würde nun offenbar bei jener nur an zwei Kanten erfolgenden Unterstützung einer elastischen Platte eine erhebliche Verbiegung derselben durch einen bedeutenden Wasserdruck erfolgen müssen, wenn nicht auch die dritte Seite, die der Schlagsäule, durch das gegenseitige Stemmen in ihrer Lage und Form erhalten würde, s. § 16.

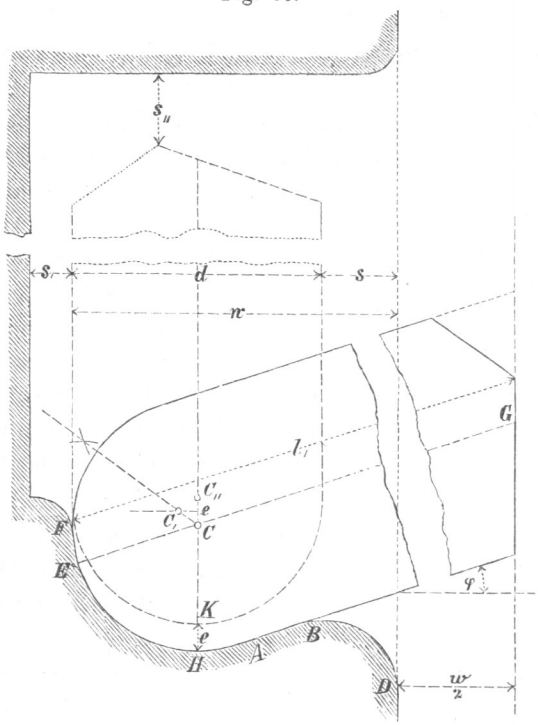
Dieses Stemmen in der ganzen Höhe der beiden Thorflügel und ohne eine Verbiegung derselben wird aber nur dann möglich, wenn sie sich sowohl über der Spitze des Drempels oder in der Axe des Schleusenhauptes in völlig lotrechter Ebene berühren, als auch mit Flächen von genügender Gröfse gegen die Seitenmauern stützen. Aber aus dieser Anforderung allein geht noch nicht die genaue Form des Thorflügels und des betreffenden Mauerteils, sowie die notwendige Breite eines Thorflügels hervor. Hierzu ist aufserdem die Lage desselben in völlig geöffnetem Zustande zu berücksichtigen. Bei diesem mufs nämlich der ganze Flügel mit allen etwaigen Vorsprüngen an der Unterseite so in der Thornische liegen, dafs ein in der Axenrichtung durch die Schleuse fahrendes Schiff nicht die geringste Gefahr einer gegenseitigen Berührung hervorruft. Weil aber der Thorflügel vielleicht nicht immer völlig in seine Nische gedreht ist und weil ferner ein geringes seitliches Abweichen des Vorder- oder Hinterschiffs von der Axenrichtung leicht möglich sein kann, so empfiehlt es sich, den richtig in die Nische gedrehten Thorflügel noch um etwa 5 bis 10 cm hinter die Front der Seitenwände zurücktreten zu lassen. Für alle etwaigen Vorsprünge auf der Oberseite des Thorflügels müssen entweder die entsprechenden einzelnen Vertiefungen in der Seitenwand oder aber eine entsprechend gröfsere gleichmäfsige Tiefe der Thornische, als für die blofse Hauptfläche jener Seite nötig sein würde, hergestellt werden. Wird ein weiteres Übermafs der Tiefe gegeben, so kann dieses bei den von der Wasserseite kommenden Stöfsen nachteilig für die Befestigungsteile des Thorflügels werden. Es ist vielmehr zu empfehlen,

so viel wie möglich allen einzelnen vorspringenden Teilen, wie Schraubenköpfen, Zugbändern u. s. w. die gleiche Dicke zu geben, genau um diese Dicke die Tiefe der ganzen Thornische über das für den eigentlichen Thorflügel erforderliche Maſs zu vergröſsern und nur für alle nicht innerhalb jener Dicke zu haltenden Vorsprünge, wie Schützen, Schützstangen u. s. w. besondere kleinere Nischen auszubilden. Es wird dann der Thorflügel bei etwaigem Stoſs sich an vielen Punkten gegen die Wand stützen und am wenigsten zu leiden haben. Bei groſsen Thoren bringt man auch, um ein gleichmäſsiges Anlehnen des offenen Flügels gegen die Nischenwand leichter zu erzielen, in verschiedenen Höhenlagen geeignete Futterleisten von Holz an (F. 17, T. XI; F. 10 u. 14, T. XII).

Nunmehr ist bei bekannter Weite der Schleuse und bei gegebenem Vorsprunge des Drempels über seine Grundlinie die Breite des Thorflügels genau zu bestimmen. Es muſs nach Fig. 86 zunächst derselbe in geöffneter Lage gezeichnet werden; aus seiner Dicke d, der Gröſse des vorderen Spielraums s und dem Winkel φ, wobei $tang\,\varphi$ gleich dem Verhältnis des Drempelvorsprungs zur halben Schleusenweite, ergiebt sich dann durch Rechnung oder Zeichnung sofort die gröſste Breite des Thorflügels l, von dem äuſsersten Stützpunkt F bis zu dem in derselben Parallele liegenden Schnittpunkt mit der Mittellinie des Schleusenhauptes als

$$l, = \frac{\frac{w}{2} + d + s}{\cos\varphi} \quad \text{(vergl. § 16).}$$

Fig. 86.



Aus der Breite des Thorflügels ergiebt sich ferner erst nach Hinzurechnung eines Spielraums s_u von etwa 15 bis 20 cm, sowie der später noch zu begründenden Excentricität e, d. h. des Maſses, um welches sich der geöffnete Thorflügel mit dem Rücken der Wendesäule aus der Wendenische frei dreht, die Länge der ganzen Thornische also zu $s_u + l, + e$. Die Tiefe derselben ist gleich $s, + d + s$. Die Form der Wendenische im Grundrisse ergiebt sich endlich aus der Lage des geschlossenen Thores, wobei die Punkte A und F die Tangentenpunkte des Kreisbogens sind, welcher dem Rücken der Wendesäule entspricht. An diese Punkte schlieſsen sich gerade Linien parallel zur Schleusenaxe bezw. zur Schlagschwelle an. Oft wird jedoch bei F eine dem Bogen $A\,E\,F$ sich anschlieſsende, aber entgegengesetzte kleine Abrundung und stets bei B eine stärkere von etwa 5 bis 10 cm Radius je nach der Gröſse der Schleuse gegeben. Der erstere Bogen ist ziemlich unwesentlich, der letztere dagegen sehr wichtig, damit nicht bei raschem Schluſs der Thorflügel ein heftiger Stoſs auf die spitzwinklige Ecke komme, welcher selbst bei harten Quadern leicht ein Abspringen zur Folge haben würde.

Für gekrümmte Schleusenthore würden sich leicht mit kleinen Änderungen der vorstehenden Figur die erforderlichen Horizontalabmessungen in ähnlicher Weise ermitteln lassen.

Es erübrigt indessen noch, die vorhin erwähnte, nach erfolgter Öffnung des Thores eintretende Excentricität des Thorrückens gegen die Rundung der Wendenische zu besprechen. Diese Excentricität wird angewandt, um bei dem Öffnen und Schliefsen der Thore möglichst wenig Reibung und Abnutzung der Wendesäule und Wendenische zu erhalten. Man legt dazu die Drehaxe $C_,$ des Thorflügels ebenfalls nach Fig. 86 excentrisch zu der Mittellinie oder Axe C der Wendenische, alsdann wird sich beim ersten Beginn des Öffnens sofort der Rücken der Wendesäule von der Wendenische entfernen. Die Lage der Drehaxe des Thorflügels wird gefunden, wenn die vorläufig angenommene Excentricität der Mittelpunkte der Wendenische und der Wendesäule des geöffneten Thorflügels e in der Richtung der Mittellinie des geöffneten Flügels von C nach $C_{,,}$ aufgetragen und halbiert wird, wenn ferner auf dem Halbierungspunkt eine Senkrechte gegen jene Mittellinie gezogen und endlich aus dem Mittelpunkte der Wendenische C eine Halbierungslinie durch den Winkel $E\,C\,C_{,,}$ gezogen wird. Wo diese Linie jene Senkrechte schneidet, liegt die Drehaxe für den Thorflügel. Denn der Winkel $C\,C,\,C_{,,}$ ist gleich dem Drehungswinkel des Thores oder gleich $G\,C\,C_{,,}$ und es wird sich also durch die Drehung der Punkt C nach $C_{,,}$ begeben oder der Rücken der Wendesäule von E nach K. Es wird sich also auch kein Punkt der Wendesäule in der Wendenische reiben können. Es genügt, wenn man die Excentricität e gleich 2 cm nimmt. Würde man sie gröfser nehmen, so ist die Anbringung der Zapfen unbequem und aufserdem würde um so leichter ein schwimmender Körper bei geöffnetem Thore in die Wendenische treiben und das Schliefsen nicht allein erschweren, sondern auch für die Verankerung des Halszapfens gefährlich werden.

Bei eisernen Thoren lassen sich Anordnungen treffen, welche die Excentricität entbehrlich machen; hiervon wird in § 20 die Rede sein.

Die Höhe der zweiflügeligen Thore bestimmt sich sehr viel einfacher. Nach § 8 und 9 (bei Beschreibung des Drempels) ist die nötige Höhe des sogenannten Thoranschlags je nach der Gröfse des Thores und des Wasserdrucks zwischen 10 und 20 cm bestimmt. Diese Höhe genügt, um den auf die Unterkante des Thorflügels kommenden Druck in einer für das Thor wie für den Drempel unschädlichen Weise auf den letzteren zu übertragen. Wie hoch die Thore nach oben hin zu reichen haben, mufs sich aus dem Zweck der Schleuse und der Belegenheit ergeben. Bei Kanalschleusen, wo in der oberen Haltung meistens nur ein Wasserstand von bestimmter Höhe vorkommen darf, würde eben dieser Spiegel die gröfste Höhe der Thore bestimmen. In einzelnen Fällen, wie z. B. in dem Papenburger Kanal (s. T. VI, F. 20 bis 23) sind die Thore absichtlich so niedrig gehalten, dafs selbst bei einer nur geringen Anschwellung der oberen Haltungen sofort ein Überlauf über die Thore erfolgt, der wenigstens eine merklich höhere Anschwellung verhindert und aufserdem dem Wärter sofort anzeigt, dafs auch die Thorschützen zur Erleichterung des Abflusses zu ziehen sind. Aus einer unnötigen Höhe der Thore kann dagegen für eine obere Haltung, die zeitweilig starken Zufluſs besitzt, leicht eine schädliche Anschwellung entstehen. Bei Flufsschleusen wird sich die Höhe der Thore danach richten, ob die Schleuse bei Hochwasser überströmt werden soll oder nicht. Ist ersteres der Fall, wie z. B. bei den Schleusen der kanalisierten Saar, so brauchen die Thore nicht höher zu sein als der höchste Wasserstand, bei welchem noch die Schiffahrt ausgeübt werden soll. Denn sobald dieser überschritten ist, hat auch die Schleuse für die Schiffahrt keine Bedeutung mehr. Man wird jedoch nur in solchen Fällen die Schleusen überströmen lassen, wenn einerseits kein wesentlicher Schaden für diese daraus zu erwarten ist und wenn anderseits die Höhe des höchsten

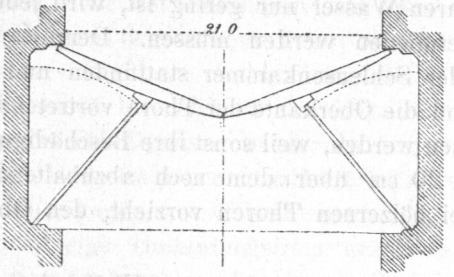
Hochwassers die des höchsten schiffbaren Wassers erheblich übersteigt und aufserdem die Schleuse in oder unmittelbar neben dem eigentlichen Flufsbette belegen ist, sodafs nur durch unverhältnismäfsige Mehrkosten die Schleuse selbst wasserfrei gemacht werden könnte. Wo dagegen die Schleuse in einem Seitenkanal oder so geschützt liegt, dafs sie leicht der Überströmung entzogen werden kann und wenn aufserdem der Unterschied zwischen höchstem Wasser und höchstem schiffbaren Wasser nur gering ist, wird jedenfalls die Überströmung als ein sicheres Übel vermieden werden müssen. Denn es ist unvermeidlich, dafs gewisse Ablagerungen in der Schleusenkammer stattfinden und es müssen ferner alle über die Schleusenmauern und die Oberkante der Thore vortretenden Teile rechtzeitig vor der Überströmung abgenommen werden, weil sonst ihre Beschädigung fast unausbleiblich ist. Eine Höhe von etwa 20 cm über dem noch abzuhaltenden Wasser wird aber genügen, wenn man nicht bei hölzernen Thoren vorzieht, den Obertramen wasserfrei zu legen.

Endlich ist noch die Höhe der Seeschleusenthore zu bestimmen. Hierzu kommt es namentlich auf die Belegenheit gegen die Richtung des stärksten Windes und der höheren Wellen an. Es soll allerdings, wenn irgend möglich, die Schleuse nicht in einer dieser Richtungen liegen oder wenigstens durch einen Vorhafen gegen den unmittelbaren Angriff der Wellen geschützt sein. Dennoch wird es oft nicht zu vermeiden sein, dafs etwa 1 m hohe Wellen noch die Thore treffen. Es kommt dann wieder zunächst auf den Zweck der Schleuse an, ob man gestatten darf, dafs die höchsten Teile der Wellen hinüberschlagen oder nicht. Wenn z. B. die Schleuse das offene Wasser von einem längeren und grofsen Binnenkanale trennt, in welchem eine mäfsige Erhöhung keinen Nachteil bringt und aufserdem mit Wahrscheinlichkeit bei einer der nächsten Ebben wieder zum Abflufs kommt, so darf man zur Ersparung an Höhe die Wellen etwas überspritzen lassen. So liegen z. B. die Flutthore der Schleusen des Amsterdamer Seekanals an der Nordsee nur 0,6 m mit ihrem dichten Teile über dem höchsten Aufsenwasser, während die Wellen, trotz der Zurücklegung der Schleusen von der Mündung des Vorhafens um etwa 2 km, mit ihren Köpfen noch etwas darüber schlagen. Bei den Flutthoren der Geestemünder Schleuse ist dagegen eine Höhe von reichlich 1 m über höchstem Aufsenwasser gewählt, weil hier nur eine beschränkte Hafenfläche durch die Schleuse geschützt wird und wegen der grofsen Nähe der Schleuse an der seeartig breiten Unterweser die Wellen noch über 1 m hoch über den ideellen höchsten Stand sich erheben. Wo aber gar eine tiefliegende und schwer zu entwässernde Niederung durch die Flutthore einer Seeschleuse zu schützen ist, wird unter Umständen ein noch höheres Mafs der Thore über den höchsten Wasserstand notwendig sein können.

Es mag hier eine seltene und wenig zu empfehlende Anordnung der Thore Erwähnung finden, welche nach F. 9, T. VI bei der Weichselschleuse zu Rothebude getroffen ist. Diese Schleuse bildet den Eingang des Weichsel-Haff-Kanals von der Weichsel aus und mufs zu Zeiten, wenn die letztere ihr höchstes Wasser hat, während der Wasserstand im Haff-Kanale niedrig ist, einen Druck von über 8 m ertragen. Indem die inneren nach dem Kanal hin belegenen Thore um etwa 4 m weniger hoch hinaufreichen als das höchste Aufsenwasser, sind die Aufsenthore aus zwei übereinanderliegenden Teilen gemacht. Die untere Hälfte hat die Höhe der inneren Thore und dient für die Zeiten, in denen auch das Weichselwasser nicht höher steht und die Schiffahrt auf der Weichsel betrieben wird. Diese Thore sind etwa 6,6 m hoch und schlagen an den steinernen Drempel. Um aber auch das höhere Weichselwasser abzuhalten, genügen sie offenbar nicht, sondern werden zu diesem Zwecke ergänzt durch ein für gewöhnlich in den Thornischen liegendes Flügelpaar, welches sich in geschlossenem Zustande mit der inneren Seite seiner Unterrahmstücke gegen die äufsere Seite der Oberrahmstücke der unteren Thorhälfte wie gegen einen Drempel legt.

Eine eigentümliche, in deutschen Seehäfen nirgends vorkommende Anordnung ist die im § 2 bereits erwähnte Anbringung von Gegenthoren (franz. *valets*) gegen die Thore einer Dockschleuse, s. Fig. 5*c*, S. 57. Dies kann dort notwendig werden, wo einfache Dockschleusenthore von starken äufseren Wellen getroffen und dadurch stofsweise bald geöffnet, bald zugeschlagen werden. Wo also bei starkem Sturm die äufseren Flut- oder Sturmthore geschlossen werden, kann ein solcher Fall nicht eintreten. Da nun in französischen Häfen, namentlich am Kanale, die Sturmfluten wenig höher sind als die gewöhnlichen, so fehlen dort in der Regel die Sturmthore, andererseits sind die Gegenthore häufiger. Dieselben schlagen in die entsprechend tiefere Thornische, bestehen aus einem meist trapezförmigen, unbekleideten Rahmen mit kurzer Schlagsäule und einigen unten meist schräg liegenden Riegeln. Die Schlagsäule stützt sich gegen Knaggen, welche in der Höhe der Riegel des Hauptthores liegen, siehe Fig. 87 und T. VIII, F. 12. Durch Zusammenbinden der Gegenthore während des Sturmes wird eine Verschiebung derselben unmöglich gemacht. In Deutschland pflegt man wohl die Schlagsäulen der Sturmthore zusammenzubinden, wenn dieselben bei nur geringem Überdruck ebenfalls schlagen sollten.

Fig. 87. *Gegenthor.*



Endlich ist hier kurz zu erwähnen, dafs man den Thoren auch zuweilen eine gröfsere Höhe als den Seitenwänden giebt, und zwar fast stets nur, um sie mehr gegen Versackung zu schützen oder ihre Bewegung zu erleichtern. Der obere Teil ist alsdann nicht selten unbekleidet, siehe F. 20, T. VI und Fig. 150 im Texte. — Über die etwaige Unterstützung der Thore während der Öffnung mittels Laufrollen für die Zeit der Bewegung und mittels Hebelapparaten für die Zeit der Ruhe ist in den §§ 18 und 19 und in § 20 gelegentlich die Rede, während die Verankerungen und Zapfen im § 20 und die Bewegungsvorrichtungen im § 22 ausführlich behandelt sind.

Das vorstehend über die Höhe von Stemmthoren Gesagte gilt ohne weiteres auch für die Höhe der einflügeligen Drehthore, der Klappthore, Schiebethore und Pontons. Die Länge dieser Thorarten wird wesentlich von der Art der Druckübertragung auf die Seitenwände der Häupter abhängig sein und ist so einzurichten, dafs der Auflagerdruck der Thorkanten an keiner Stelle das Material der Auflager gefährdet. Wird der Wasserdruck unten durch den Drempel aufgenommen und oben durch einen einzigen starken, horizontalen Balken auf die Seitenwände übertragen, so mufs man für diesen geeignete Auflagersteine ähnlich denjenigen von Brückenträgern anordnen.

§ 16. Theoretisches über Schleusenthore. In Nachstehendem sollen nur die wichtigsten Anhaltspunkte für die Berechnung der Schleusenthore gegeben werden, soweit dieselben diesen Konstruktionen eigentümlich sind. Die für die Berechnung der Einzelheiten erforderlichen Kenntnisse müssen als bekannt vorausgesetzt werden. Ferner wird auf das 3. Heft der zweiten Gruppe der Fortschritte der Ingenieurwissenschaften von Professor Th. Landsberg: „Die eisernen Stemmthore der Schiffsschleusen“ (Leipzig 1894) verwiesen.

In theoretischer Beziehung zerfallen die Thore der Schiffsschleusen in zwei Hauptgruppen; diese sind

1. die Stemmthore mit den Unterabteilungen,

a. die geraden oder nur zum Oberwasser hin schwach gekrümmten,
b. die nach einem kontinuierlichen Kreisbogen gekrümmten Thore,

2. diejenigen Thore, welche die Schleusenöffnung durch einen einzigen Thorkörper überdecken, also die einflügeligen Drehthore, die Klappthore, Schiebethore und Pontons.

Zunächst sind die hölzernen Stemmthore zu betrachten; daran anknüpfend sollen die besonderen Rücksichten erwähnt werden, welche die eisernen verlangen.

1. Stemmthore.

Bei der Berechnung der Abmessungen eines Stemmthores sind zwei verschiedene Zustände desselben zu unterscheiden, nämlich die des geschlossenen und des geöffneten Thores. Für beide Zustände sind gewisse Annahmen zu machen, welche sowohl in zulässiger Weise die Rechnung vereinfachen, als auch genügende Sicherheit gegen besonders ungünstige Umstände bieten.

Für den geschlossenen Zustand mufs das Thor auf den gröfstmöglichen Wasserdruck berechnet werden, oder unter Annahme der gröfsten Differenz der Wasserstände zu beiden Seiten. Wann oder unter welchen Höhenmafsen zu beiden Seiten der gröfste Wasserdruck eintritt, mufs in jedem einzelnen Falle nach den örtlichen Verhältnissen bestimmt werden. Dieser Wasserdruck fängt von der Spiegelhöhe an der Aufsenseite an, nimmt gleichmäfsig zu bis zur Spiegelhöhe an der Innenseite und reicht von dort mit gleichbleibendem Werte bis zur Höhe des Drempelanschlags. Wenn sich beide Thorflügel gegeneinander, mit ihren Wendesäulen gegen die Thornischen stemmen und mit ihren Unterkanten gegen den Drempel stützen, so ist während des stärksten Wasserdrucks keine Gefahr vorhanden, dafs die Flügel durch ihr eigenes Gewicht versacken. Für den geschlossenen Zustand kann man deshalb das Eigengewicht der Thore vernachlässigen. In der Regel wird auch die Stützung des Thores durch das Anliegen am Drempel vernachlässigt, weil diese Stützung unter Umständen fortfallen kann und die Rechnung durch Berücksichtigung derselben kaum durchführbar wird. Für Holzthore ist diese letztere Vernachlässigung unbedenklich, für eiserne von grofsen Abmessungen dagegen, wie weiter unten gezeigt wird, nicht. Bei solchen ist es notwendig, dafs dieses für die Beanspruchung des Thores nachteilige Anliegen am Drempel durch konstruktive Anordnungen möglichst vermieden werde.

Aus dem, was vorstehend über den Wasserdruck gesagt ist, ergiebt sich, dafs man ihn durch eine aus einem Rechteck und einem rechtwinkligen, gleichschenkligen Dreieck zusammengesetzte Figur (Druckfigur) veranschaulichen kann. Die Höhe des Dreiecks ist h (Fig. 88), ebenso grofs ist die Grundlinie des Rechtecks; die Höhe des letzteren ist der Abstand vom Wasserspiegel an der Innenseite bis zur Mitte des unteren Rahmholzes (Untertramen) des Thores, vergl. auch weiter unten Fig. 100.

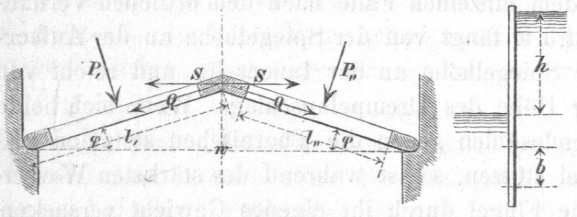
Wegen praktischer Schwierigkeiten sieht man davon ab, dafs dem Thorflügel im senkrechten Querschnitt eine dem Wasserdruck entsprechende äufsere Begrenzung gegeben werden könnte, man nimmt vielmehr im allgemeinen an, dafs diese Begrenzung ein Rechteck oder dafs die Dicke des Thores oben und unten gleich sei. Die Folge dieser letzteren Annahme ist, dafs die Hauptkonstruktionsteile, welche dem Wasserdruck zu widerstehen haben, nach unten hin entweder einander näher liegen oder an sich stärker und massiger gebildet sein müssen als nach oben hin.

Unter Bezugnahme auf die in den §§ 18 und 19 besprochene Konstruktion eines mit einer gröfseren Zahl gerader hölzerner oder eiserner Riegel versehenen Thores von

mäfsigen Abmessungen mögen für diese Konstruktionsart noch folgende Annahmen gemacht werden: Die Bekleidung, gleichviel ob mit Bohlen oder Blechen, wird lediglich als auf den Riegeln und den Umfangsstücken aufliegend und von diesen unterstützt angesehen, wogegen ihr Widerstand gegen den in der Längenrichtung der Riegel erfolgenden Angriff vernachlässigt wird. Es wird ferner von der Übertragung der Kräfte von einem Riegel auf den benachbarten, also von einer gegenseitigen Unterstützung derselben durch die Stärke der Wende- und Schlagsäule abgesehen, vielmehr jeder Riegel als für einen bestimmten horizontalen Streifen des Thorflügels wirkend betrachtet. Diese Streifen können mit hinreichender Genauigkeit als durch die Mitten der zwischen benachbarten Riegeln liegenden Abstände begrenzt angesehen werden und mögen Riegelfelder heifsen. Es ist danach noch in jeder Beziehung günstig für die Sicherheit, aber ungünstig für den Materialaufwand gerechnet, wenn jedes Riegelfeld als für sich bestehend betrachtet und wenn nach Mafsgabe seines Wasserdrucks zunächst die Stärken der Riegel unter Annahme der Entfernungen bestimmt werden.

Gerade Thore. Nach Fig. 88 ist der Wasserdruck eines unter Wasser liegenden Riegelfeldes für die ganze Breite l, eines Thorflügels gleich $P_{,} = l, b\,h\,.\,\gamma$ und für die freie Riegellänge $P_{,,} = l_{,,}\,b\,h\,.\,\gamma$, wenn γ das spezifische Gewicht des Wassers. Beide Drücke sind in horizontaler Richtung gleichmäfsig über die Längen l, und $l_{,,}$ verteilt. Der erstere Druck ist mafsgebend für den von dem ganzen Thorflügel oder einem horizontalen Streifen desselben aufgenommenen und auf den anderen Flügel, sowie auf die Wendenische übertragenen Druck, dem sogenannten Stemmdruck Q. Unter Einsetzung einer Kraft S, durch die sich beide Flügel in ihrer Lage erhalten und welche rechtwinklig zur gemeinsamen Berührungsfläche stehen mufs, erhält man zufolge der Gleichungen:

Fig. 88.



$$S\,.\,l,\,.\,\sin\varphi = P,\frac{l,}{2},\quad S = \frac{P,}{2\,\sin\varphi}\quad\text{und}\quad Q = S\,.\,\cos\varphi$$

$$Q = \frac{P,}{2\,\mathrm{tang}\,\varphi} = \frac{l,\,b\,h\,.\,\gamma}{2\,\mathrm{tang}\,\varphi}.$$

Bezeichnet sodann F den Querschnitt eines Riegels und $K,$ die Beanspruchung des Materials, so mufs letztere sein:

$$K, = \frac{Q}{F} = \frac{l,\,b\,h\,.\,\gamma}{2\,\mathrm{tang}\,\varphi\,.\,F},$$

wenn nur die in der Längenrichtung des Thorflügels wirkende Kraft berücksichtigt wird.

Da jedoch auch der auf die Länge des Riegels wirkende Druck $P_{,,}$ den Riegel auf Biegung in Anspruch nimmt und diese Beanspruchung

$$K_{,,} = \frac{\mathit{Kraftmoment}}{\mathit{Widerstandsmoment}}\quad\text{oder}\quad K_{,,} = \frac{{}^1/_8\,P_{,,}\,l_{,,}}{J:a} = \frac{a\,.\,l_{,,}{}^2\,b\,h\,\gamma}{8\,.\,J}$$

ist, wobei J das Trägheitsmoment des Riegelquerschnitts und a den Abstand der am stärksten beanspruchten Faser von der neutralen Axe bedeuten, so darf die gröfste zulässige Beanspruchung K nur sein:

$$K = K, + K_{,,} = \frac{l,\,b\,h\,\gamma}{2\,\mathrm{tang}\,\varphi\,.\,F} + \frac{a\,l_{,,}{}^2\,b\,h\,\gamma}{8\,.\,J}\quad\ldots\ldots\quad 13.$$

Für hölzerne Riegel vom Querschnitt $F = x\,.\,y$, einem Trägheitsmoment $J = {}^1/_{12}\,y\,.\,x^3$ und $a = {}^1/_2\,x$ wird also:

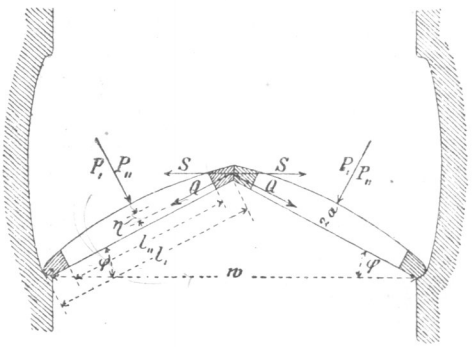
$$K = K, + K_{,,} = \frac{l,\,b\,h\,\gamma}{2\,\mathrm{tang}\,\varphi\,.\,x\,y} + \frac{3\,.\,l_{,,}{}^2\,b\,h\,\gamma}{4\,y\,x^2},$$

woraus entweder bei bekanntem Wert von K, $l_,$, $l_{,,}$, b, h, φ und unter vorläufiger Annahme einer Abmessung, z. B. y die andere x oder aber, wenn x und y angenommen sind, die Breite des Riegelfeldes b zu berechnen ist.

Für beiderseits gerade eiserne Riegel ist ein bestimmtes Profil, also sowohl F, als auch J und a zunächst anzunehmen und danach b zu berechnen, wobei übrigens versuchsweise verschiedene Profile zu wählen sind. Für den unteren Teil des Thores, wo bei einem gewissen Unterwasserstande der Wasserdruck konstant ist, bekommen die einzelnen Riegel für gleiche Abstände auch dieselben Profile. Wenn jedoch die Schützen eine gröfsere Höhe als jene Riegelentfernungen haben müssen, so ist für das betreffende Riegelfeld das Profil der benachbarten Riegel stärker zu nehmen. Es empfiehlt sich, eine vorläufige Bestimmung der Zahl und der Lage der Riegel in folgender Weise zu bewerkstelligen. Man ermittelt nach Obigem näherungsweise die Riegelfeldbreite b, schneidet durch Horizontallinien von der Druckfigur (s. S. 173) unten ein Rechteck von der Höhe $\frac{b}{2}$, oben ein flächengleiches oder nahezu flächengleiches Dreieck ab und zerlegt den übrig bleibenden Teil der Druckfigur in Rechtecke von der Höhe b, darüber in flächengleiche Trapeze, nötigenfalls unter Änderung jener Höhe. Aus der Anzahl der Rechtecke und Trapeze ergiebt sich die Zahl, aus der Lage ihrer Schwerpunkte eine vorläufige Lage der Riegel. Praktische Rücksichten bringen es jedoch mit sich, dafs diese Lage der Riegel bei der Ausführung namentlich bei Holzthoren wesentliche Änderungen erfährt, vergl. § 18.

Für Thore, deren an der Innenseite gerade Flügel nach Fig. 89 unter einem Winkel gleich $180—2\varphi$ zusammenschlagen und an der Aufsenseite gekrümmt sind, jedoch so, dafs beide Flügel nicht eine kontinuierliche Kurve bilden, bleibt im übrigen der Gang der Berechnung wie bei den Thoren mit geraden Flügeln, nur wird zunächst als wirksamer Querschnitt F gegen Stemmen der kleinste Wert der Querschnitte des ganzen Riegels einzusetzen und sodann das Angriffs- oder Kraftmoment unter Berücksichtigung der Krümmung zu berechnen sein. Dasselbe ist:

Fig. 89.



$$\frac{P_{,,}\,l_{,,}}{8} - Q\eta = \frac{l_{,,}\,P_{,,}}{8} - \frac{P_{,}\,\eta}{2\,tang\,\varphi}, \quad . \quad . \quad 14.$$

worin wieder $P_{,,}$ den Druck auf die freie Riegellänge $l_{,,}$, dagegen $P_{,}$ den Druck auf die ganze Riegellänge $l_{,}$ und η den Abstand der Angriffslinie des Druckes Q von der Schweraxe des Riegels in der Mitte bezeichnet.

Setzt man für $P_{,}$ den Wert $l_{,}\,b\,h\,\gamma$ und für $P_{,,}$ den Wert $l_{,,}\,b\,h\,\gamma$ ein und läfst die vorhin gebrauchten Bezeichnungen wieder gelten, so ist die gröfste vorhandene Beanspruchung, welche die zulässige des Materials nicht übersteigen darf, $K = K_{,} + K_{,,}$:

$$K = \frac{l_{,}\,b\,h\,\gamma}{2\,tang\,\varphi\,.\,F} + \frac{a\,.\,l_{,,}^{2}\,b\,h\,\gamma}{8\,.\,J} - \frac{a\,.\,l_{,}\,b\,h\,\gamma\,.\,\eta}{2\,tang\,\varphi\,.\,J} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 15.$$

Für $\eta = 0$ geht Gleichung 15 in Gl. 13 über.

Für eiserne Thore mit gekrümmter Oberwasserseite ist der Abstand η von besonderer Wichtigkeit, indem man denselben bei Eisenkonstruktionen in bedeutenden Grenzen vergröfsern kann. Setzt man in Formel 14 für eiserne Riegel $l_{,,} = l_{,} = l$,

indem unter l die Konstruktionslänge derselben verstanden wird, ferner als Folge hiervon $P_{'} = P_{''} = P$, so lautet das Moment in der Mitte:

$$M_m = \frac{P.l}{8} - \frac{P.\eta}{2\,tang\,\varphi} \quad \ldots \quad 16.$$

Die daraus sich ergebende Biegungsspannung im Riegel ist:

$$K_{''} = \pm \frac{a}{J}\left(\frac{P.l}{8} - \frac{P.\eta}{2\,tang\,\varphi}\right) \quad \ldots \quad 17.$$

und zwar wird die Zugspannung (+) an der Unterwasserseite, die Druckspannung (—) an der Oberwasserseite, also an der gekrümmten Seite des bisher nach Fig. 90 symmetrisch angenommenen $\left(a = \frac{t_1}{2}\right)$ Riegelquerschnittes vorhanden sein. Wenn man nun dem Riegel eine solche Form geben würde, dafs das Moment in der Mitte (Gl. 16) nicht nur, sondern an jeder Stelle $= 0$ wäre, sodafs der Riegel nur noch die einfache Druckbeanspruchung infolge des Stemmens, welche sich gleichmäfsig über den ganzen Querschnitt verteilt, auszuhalten hätte, so würde dies offenbar die günstigste Gestalt sein. Nach der oben angeführten Arbeit von Landsberg (S. 50) tritt dieser Fall ein, wenn man dem Riegel die sogenannte halbparabolische Gestalt und der Parabel die Pfeilhöhe $t_1 - t_0 = \frac{l.f}{w}$ giebt (Fig. 91), worin f der Pfeil des Drempels und w die theoretische Weite der Thore ist, also $\frac{2f}{w} = tang\,\varphi$.

Fig. 90.

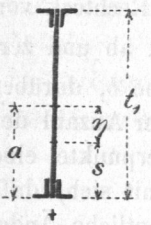
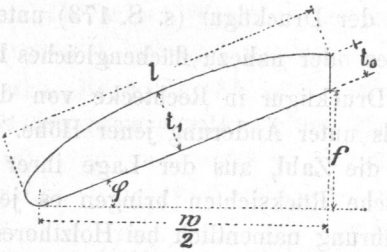


Fig. 91.



Da $\frac{f}{w} = \frac{1}{5}$ ein bei Stemmthoren häufig angewendetes Verhältnis ist, so würde man den Stich der Parabel $t_1 - t_0 = \frac{l}{5}$ nehmen müssen, wenn man einen symmetrischen Riegelquerschnitt erhalten wollte, in welchem die vom Biegungsmomente allein erzeugte Spannung überall $= 0$ wäre.

Eine so starke Krümmung ist aber aus mancherlei Gründen unbequem, vergl. § 17 und 19. Man wird daher bei grofsen Thoren meistens davon absehen, die Riegelquerschnitte symmetrisch herzustellen und es vorziehen, die Beanspruchung dadurch günstiger zu gestalten, dafs man den Abstand η (in Fig. 90) vergröfsert, indem man einen unsymmetrischen Riegelquerschnitt anwendet, s. Fig. 92*a*. Dieser Querschnitt zeigt auf der Oberwasserseite eine Anzahl starker Gurtplatten, welche den Schwerpunkt desselben nach dieser Seite hinüberrücken, sodafs η den gröfseren Wert η' annimmt. Die Abstände der am stärksten beanspruchten Fasern werden für die Druckspannung a'' und für die Zugspannung a' und zwar ist $a'' < a'$. Das Trägheitsmoment sei J'. Die gröfste Druckspannung aus dem Biegungsmomente allein wird nun:

Fig. 92*a*.

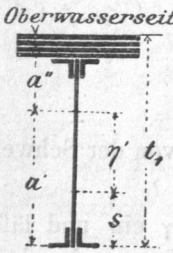
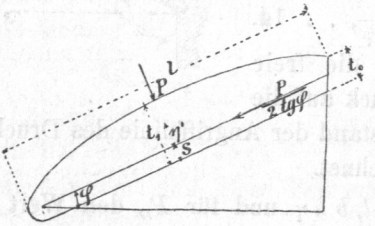


Fig. 92*b*.



$$K''_{''} = -\frac{a''}{J'}\left(\frac{P.l}{8} - \frac{P.\eta'}{2\,tang\,\varphi}\right) \quad \ldots \quad 18.$$

Diese ist wesentlich geringer, als im symmetrischen Querschnitte von gleichem Trägheitsmomente und gleicher Höhe, denn es ist sowohl $a'' <$ als das a in Gl. 17,

als auch $\eta' > \eta$. Die gröfste Zugspannung an der Unterwasserseite dagegen bewertet sich zu

$$K_{,,}^{z} = + \frac{a'}{J'} \left(\frac{P.l}{8} - \frac{P.\eta'}{2.tang\varphi} \right) \quad \ldots \ldots \ldots \quad 19.$$

Die Gesamtspannung in den äufsersten Fasern des Riegelquerschnittes ergiebt sich nun, wenn man zu den Werten von $K_{,,}^{d}$ und $K_{,,}^{z}$ nach Gleichung 13 noch den Wert $K_{,} = - \frac{Q}{F} = - \frac{P}{2.F.tang\varphi}$ hinzufügt, d. h. die über den ganzen Riegelquerschnitt F gleichmäfsig verteilte Druckspannung, welche der Stemmdruck Q aufser dem Momente erzeugt.

Für den Querschnitt Fig. 92 *a* würde also die gröfste Druckspannung an der Oberwasserseite im ganzen

$$K^{d} = - \frac{P}{2.F.tang\varphi} - \frac{a''}{J'} \left(\frac{P.l}{8} - \frac{P.\eta'}{2.tang\varphi} \right) \quad \ldots \ldots \quad 20.$$

werden und die gröfste Zugspannung an der Unterwasserseite:

$$K^{z} = - \frac{P}{2.F.tang\varphi} + \frac{a'}{J'} \left(\frac{P.l}{8} - \frac{P.\eta'}{2.tang\varphi} \right) \quad \ldots \ldots \quad 21.$$

Eine möglichst günstige Form des Querschnittes, welche auch ohne zu ungünstige Höhenverhältnisse zu erreichen ist, ergiebt sich, wenn man $K^{d} = K^{z}$ werden läfst. Aus den Gleichungen 20 und 21 erhält man für diese Form die Bedingung:

$$a'' \left(\frac{\eta'}{2.tang\varphi} - \frac{l}{8} \right) = a' \left(\frac{l}{8} - \frac{\eta'}{2.tang\varphi} \right), \quad \ldots \ldots \quad 22.$$

in welcher a'', a' und η' zwar veränderlich, aber voneinander abhängig sind. Es ist nämlich nach Fig. 92 *b* $a' + a'' = t$ und $\eta' = a' - s$. Den mittleren Riegelquerschnitt, welcher dieser Bedingung entspricht, mufs man durch Versuchsrechnungen zu finden suchen, oder auch, indem man verschiedene Querschnitte aus gleichmäfsig starkem Karton ausschneidet und die Schwerpunkte durch Balancieren auf einem Faden ermittelt.

Hat man so für die Mitte den günstigsten Querschnitt festgestellt, so mufs man in bekannter Weise die Abstände von den beiden Riegelenden ermitteln, in welchen die Gesamtbeanspruchung gestattet, die einzelnen Gurtplatten endigen zu lassen. Besonders nützlich erweist sich bei diesen Untersuchungen das zeichnerische Verfahren, indem man z. B. für Querschnitte mit gleichbleibender Anzahl der Gurtplatten, aber von der Mitte nach den Enden abnehmender Höhe die Trägheitsmomente J', die Werte a' und η' als Ordinaten und die zugehörigen Werte von t als Abscissen aufträgt und sich so nach einzelnen Berechnungen die Kurven der Trägheitsmomente u. s. w. bildet. In gleicher Weise kann man bei gleichbleibender Höhe t, aber abnehmender Plattenzahl verfahren.

Wenn in der Gleichung 16 das zweite Glied $\frac{P.\eta}{2.tang\varphi} > \frac{P.l}{8}$ wird, so erhält das Moment in der Mitte des Riegels einen negativen Wert, d. h. das Moment würde den Riegel gegen das drückende Oberwasser hin durchzubiegen suchen. Solche Durchbiegungen sind in der That bei eisernen Thoren in Frankreich beobachtet (vergl. § 17) und sie entstehen, wenn die Thore infolge einer Verkürzung durch Abnahme der Temperatur oder aus irgend einem anderen Grunde unten am Drempel anliegen, ohne zu stemmen. In solchem Falle fällt bei den unteren Riegeln der Stemmdruck ganz fort, sie werden also ein stärkeres positives Moment aufzunehmen haben, denn die Momentengleichung für die Mitte lautet für sie jetzt $M_{m} = \frac{P.l}{8} - 0$. In solchem Falle wird ferner die Schlagsäule in ihrem unteren Teile stark auf Biegung beansprucht, denn sie mufs den Auflagerdruck $\frac{P}{2}$ an jedem Endpunkte eines nicht stemmenden Riegels als Einzellast aufnehmen und wird durch diese Lasten nach dem Unterwasser zu verbogen. Die Schlagsäule selbst findet ihre Stütze einerseits unten am Drempel, gegen

den sie sich lehnt, andererseits oben an den Riegeln, welche infolge der Verdrehung des Thores noch zum Stemmen kommen, nun aber infolge der Belastung durch die Schlagsäule einen erheblich gröfseren Stemmdruck aufzunehmen haben, als dann, wenn das Thor auf seiner ganzen Höhe stemmt.

Die Verteilung des Stemmdruckes auf die oberen, stemmenden Riegel wird eine ungleichmäfsige, im allgemeinen nach oben hin zunehmende sein, sodafs, wie erwähnt, schliefslich die obersten Riegel soviel Stemmdruck erhalten können, dafs das ganze Biegungsmoment negativ wird und die Durchbiegung gegen das Oberwasser zu stande kommt.

Diese ungünstigen Beanspruchungen eiserner Riegelstemmthore hat man entweder dadurch zu vermeiden, dafs man die Riegel so lang macht, dafs sie unter allen Umständen (auch bei der niedrigsten vorkommenden Temperatur) stemmen, ohne sich am Drempel zu stützen. Die Dichtung am Drempel erreicht man in diesem Falle dadurch, dafs man die Dichtungsleiste ein wenig beweglich macht, sodafs sie durch den Wasserdruck oder durch besondere Vorrichtungen gegen den Drempel vorgeschoben wird. Derartige Dichtungen wurden, soviel bekannt, bisher noch nicht ausgeführt. Ein dahin gehender Vorschlag des Verfassers für die Thore der Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals, wo namentlich für die als Riegelstemmthore konstruierten Flutthore diese Einrichtung notwendig erschien, wurde an mafsgebender Stelle abgelehnt.

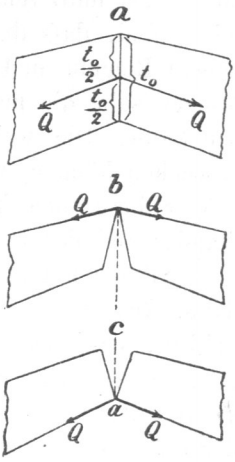
Will man die Dichtungsleiste fest machen, so mufs man entweder eine Undichtigkeit am Drempel während der Sommerzeit mit in den Kauf nehmen, wenn man richtig wirkende Stemmthore haben will oder man mufs die Riegel unten auf das Moment $M_m = \frac{P.l}{8}$ und oben auch auf ein so grofses negatives Moment, wie es nach den jedesmal vorliegenden Verhältnissen auftreten kann, berechnen. Ferner hat man dann auch die Schlagsäulen so stark zu machen, dafs sie die entstehende Biegungsspannung ohne Schaden aushalten können. Immer wird in diesem Falle die Berechnung eine sehr unsichere bleiben und ist es daher jedenfalls vorzuziehen, die Dichtung durch Anordnung beweglicher Vorrichtungen von der Kraftübertragung unabhängig zu machen.

Wenn bei Eisenkonstruktionen der aus praktischen Gründen erforderliche Querschnitt schon überhaupt dem theoretischen desto näher gebracht werden kann, je gröfser derselbe ist, so ist dies nach obigem für eiserne Riegel von Stemmthoren noch in erhöhtem Mafse der Fall. Man wird daher desto sparsamer konstruieren können, je gröfser die Thore an sich sind und je weniger Riegel man in denselben anordnet. Bei gewöhnlichen eisernen Riegelstemmthoren ist es also zweckmäfsig, grofse Riegelentfernungen zu wählen und zur Versteifung der Haut senkrechte und nötigenfalls zwischen diesen wieder horizontale Zwischenversteifungen anzuordnen. Dadurch erreicht man auch den Vorteil, dafs die einzelnen Abteilungen eines grofsen Thores zwischen je zwei benachbarten Riegeln bequem zu begehen und nachzusehen sind. Übrigens ist auch durch die im folgenden Paragraphen mitgeteilten Versuche von Guillemain nachgewiesen, dafs wenige, aber starke Riegel für ein Thor günstiger sind, als eine gröfsere Anzahl schwächerer. Theorie und Praxis stimmen also in diesem Falle sehr gut überein.

Die Gröfse des Biegungsmomentes in Gl. 14 hängt, wie schon früher hervorgehoben wurde, wesentlich von der Gröfse η, d. i. von dem Abstande der Richtung der Stemmkraft $Q = \frac{P}{2 \sin \varphi}$ von dem Schwerpunkt des Riegelquerschnittes ab, s. Fig. 89. Um diesen zu vergröfsern, war oben versucht, den Schwerpunkt des Querschnitts durch

einseitig aufgelegte Gurtplatten (Fig. 92 *a*) möglichst von der Richtung von Q zu entfernen. Dabei war angenommen, dafs Q durch die Mitte der Berührungsfläche der beiden geschlossenen Riegelköpfe ging, dafs also Q stets die in Fig. 93 *a* dargestellte Lage habe.

Fig. 93.

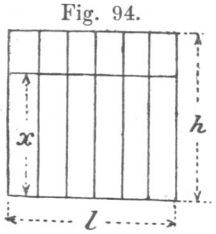


Da aber, wie oben bereits bemerkt, grofse eiserne Riegel einer merklichen Längenveränderung durch den Temperaturwechsel unterworfen sind, so ist die Lage von Q veränderlich und kann — je nachdem die Temperatur niedriger oder höher wird, als sie zur Zeit des Montierens der Thore war — zwischen den in Fig. 93 *b* und 93 *c* dargestellten Grenzfällen schwanken. Der Wert von η kann also zu verschiedenen Jahreszeiten für denselben Querschnitt in nächster Nähe der Schlagsäule um $t_0 \cdot cos\varphi$ in der Riegelmitte noch um etwa $\frac{t_0 \cdot cos\varphi}{2}$ voneinander abweichen. Um diese Unsicherheit in der Beanspruchung zu beseitigen, ist es zweckmäfsig, den Riegelköpfen in geringen Grenzen bewegliche Stemmlager zu geben, welche im stande sind, die Richtung von Q zu sichern, vergl. § 19. Es wird dies um so nötiger, je gröfser die Kräfte sind, mit denen man zu thun hat. Um η nicht nur konstant, sondern auch möglichst grofs zu erhalten, legt man das Stemmlager möglichst nahe zur Unterwasserseite (nach *a* hin, Fig. 93 *c*). Entsprechend den eisernen oder stählernen Stemmkörpern an den Köpfen der Riegel in der Schlagsäule ist es zweckmäfsig, denselben auch an der Wendesäule regelrecht ausgebildete Stemmlager zu geben, wie dies bereits bei dem Thore in Ablon (T. VIII, F. 13) und Charenton (Fig. 129 im Texte) geschehen ist. Man erhöht dadurch nicht nur die Klarheit der statischen Verhältnisse, sondern erleichtert auch wesentlich das Montieren.

Es ist schon erwähnt, dafs die ungleichmäfsigen Querschnitte (Fig. 92 *a*) desto wirksamer ausgebildet werden können, je gröfser dieselben sind, je gröfser also auch die durch einen Riegel zu übertragenden Kräfte sind. Man findet daher den unsymmetrischen Querschnitt, sowie eine ausgebildete Stemmlagerkonstruktion vorläufig nur an den Ständer- oder Pfostenstemmthoren, welche den ganzen Stemmdruck rechnungsmäfsig durch den oberen Riegel auf das Mauerwerk der Wendenische übertragen und über die im folgenden Paragraphen, sowie in § 19 Näheres gesagt werden wird.

Der Hauptvorzug der Ständerstemmthore vor den Riegelstemmthoren besteht in der viel gröfseren statischen Klarheit, welche eine weit sparsamere Materialverwendung möglich macht. Nach den Untersuchungen von Th. Landsberg in dem oben erwähnten 3. Hefte der „Fortschritte“ ist theoretisch die Ständerkonstruktion in Bezug auf Materialverbrauch günstiger als die Riegelkonstruktion, solange (Fig. 94) $l > 1{,}225\,h$ ist. Wegen der gröfseren statischen Klarheit und des gröfseren Riegelquerschnittes darf man aber annehmen, dafs Ständerthore in der Praxis bis zu $l = h$ vorteilhafter sind.

Fig. 94.



Ist die Höhe des Thores nur um weniges gröfser als die Länge, so dürfte es sich aus denselben Gründen auch noch empfehlen, einen einzigen Riegel beizubehalten, den man aber nicht ganz an der oberen Kante des Thores anordnet, sondern in einer Höhe über dem Drempel, welche gleich oder etwas kleiner als die Flügellänge ist (Fig. 94, $x \leqq l$). Der obere Teil des Thores würde dann durch konsolartige Verlänge-

rungen der Ständer zu versteifen sein. Ist die Thorhöhe h sehr viel gröfser als die Länge l, so würde den erwähnten Versuchen von Guillemain und den obigen theoretischen Betrachtungen am meisten die Anordnung von nur zwei starken, einem oberen und einem mittleren, Riegeln entsprechen, deren Köpfe an der Schlagsäule so ausgebildet sind, dafs durch sie allein der Stemmdruck übertragen wird. Zwischen diesen beiden Riegeln und dem Drempel würden als Aussteifungen der Haut Ständer anzubringen sein, die man der Vorsicht halber als an beiden Enden frei aufliegend berechnen kann. Die weitere Aussteifung würde wieder durch horizontale Konstruktionen geschehen können, welche sich auf die Ständer stützen und die man als kontinuierliche Träger berechnen kann, wenn man sie so legt, dafs sie zwischen den Gurtungen der Ständer und der Haut von der Schlag- zur Wendesäule durchlaufen.

Bei den gekrümmten Schleusenthoren der zweiten Unterabteilung der Stemmthore, deren beide Flügel in geschlossenem Zustande eine Cylinderfläche bilden, wird unter der Annahme, dafs das Thorgewicht und der Anschlag an dem Drempel vernachlässigt werde, der Druck des äufseren Wassers keine Biegung des Thorflügels, sondern nur einen Tangentialdruck in demselben bewirken, welcher von der Schlagsäule bis zur Wendesäule sich völlig gleich bleibt.

Wenn nun, wie im § 19 besprochen wird, für genügende Aussteifung der cylindrischen Fläche gesorgt ist, sodafs eine Verbiegung durch andere Angriffe als den Wasserdruck bei geschlossenem Thore nicht eintreten kann, so ist die nötige Stärke des Thores in Bezug auf den Wasserdruck an jeder Stelle, bei gleicher Höhe über dem Drempelanschlag, die gleiche und einfach durch die zulässige Beanspruchung des Materials

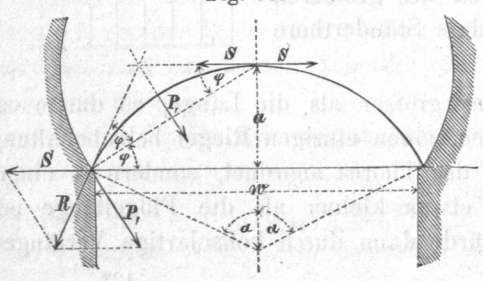
$$K = \frac{r \cdot p}{F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad 23.$$

zu finden, wo F die wirksame Querschnittsgröfse eines bestimmten horizontalen Streifens bedeutet.

Da die Gröfse des Tangentialdruckes, abgesehen von der gegebenen Gröfse p, nur vom Halbmesser r abhängt, so liefse sich bei diesen gekrümmten Thoren weit einfacher als bei geraden durch theoretische Betrachtung die zweckmäfsigste Form des Thores oder Drempels bestimmen, wenn nicht hier wieder die Rücksichten auf die praktische Durchführung vorzugsweise mafsgebend wären. Es wird offenbar der Druck im Thore bei einer Halbkreisform am kleinsten; doch würde bei einem Halbmesser gleich der halben Schleusenweite und der halben Thordicke die Länge jedes Flügels am gröfsten, die Herstellung am schwierigsten und die Form der Thornische und des Thorkammerbodens am ungünstigsten, sodafs dadurch der Gewinn an Querschnittsgröfse unbedingt bei weitem aufgewogen werden würde.

Wenn lediglich die Materialverwendung des Thores in Betracht gezogen und diese als eine Funktion des im Querschnitte wirkenden Druckes und der Flügellänge angesehen wird, so ergiebt sich durch Rechnung aus $f(r) = p \cdot r \cdot r\alpha$, wo α (Fig. 95) den halben Centriwinkel bedeutet, der Winkel $\alpha = 66° 47'$ und hiernach $r = 0{,}544 \cdot w$ als derjenige Wert von r, wobei die Materialverwendung im Thore zu einem Minimum wird. Es folgt hieraus weiter, dafs dann $a : w = 0{,}3296$ oder etwa wie $1 : 3$ sein müfste, wenn nicht mit Rücksicht auf die vorhin genannten Umstände diese Pfeilhöhe weit kleiner, etwa gleich $1 : 5$, zu nehmen wäre. Will man in einem bestimmten Falle das zweckmäfsigste Verhältnis ermitteln, so läfst sich für verschiedene Werte von r das Verhältnis der verschiedenen Tangentialdrücke, sowie der danach zu wählenden Querschnitte und die Materialverwendung in Zahlen

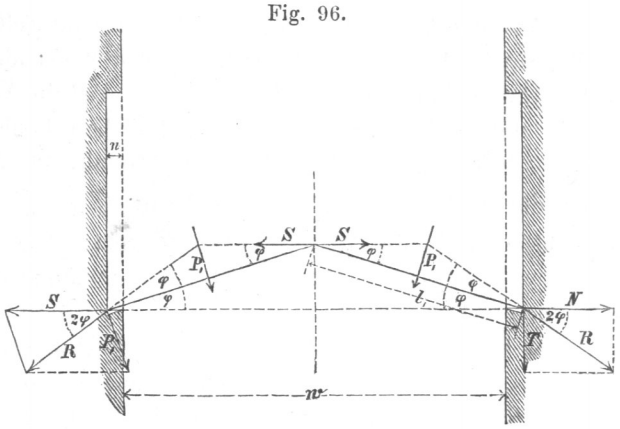
Fig. 95.



berechnen und mit den überschläglich ermittelten Kosten der verschiedenen Anordnungen der Seitenwände und des Thorkammerbodens vergleichen. Es giebt z. B. die Anwendung eines Drempelverhältnisses 1 : 5 gegen einen Drempel 1 : 4 einen Materialaufwand im Thore wie 408 : 345, wenn von der schwierigeren Aussteifung des stärker gekrümmten Thores abgesehen wird. Zur Vermeidung von Verbiegungen des geöffneten Thores pflegt die innere Fläche eines aus zwei Blechhäuten gebildeten Schwimmthores nicht parallel zur äufseren, sondern etwas weniger gekrümmt gemacht zu werden.

Wirkung eines geschlossenen Thores auf die Seitenwände. Die vorstehenden Betrachtungen über die in dem Schleusenthore wirkenden Kräfte genügen nicht, um die Wirkung eines geschlossenen geraden Thores auf die Seitenwände der Schleuse ohne weiteres zu bestimmen. Auch hier werde die Stützung der Thorflügel durch den Drempel vernachlässigt. Ferner werde abgesehen von der Verschiedenheit des Druckes in verschiedenen Höhen und es bezeichne mit Bezug auf Fig. 96 bei geraden Drempellinien

Fig. 96.



$$P_{,} = l_{,} p = \frac{\frac{w}{2} + n}{\cos\varphi} \cdot p$$

den auf den ganzen Thorflügel, p den auf die Längeneinheit kommenden Wasserdruck. Dieser Druck ist bei einem an der unteren Seite ganz wasserfreien Thore, z. B. bei dem um die Höhe h unter dem Oberwasser, aber trocken liegenden Drempel einer Kanalschleuse $= \frac{h^2}{2}\gamma$, dagegen bei einem mit einer Wasserdifferenz $h_{,}$ und einem Unterwasser von der Höhe $h_{,,}$ gedrückten Thore $= \frac{h^2_{,}}{2}\gamma + h_{,} h_{,,} \gamma$.

Auf jeden Thorflügel wirken dann nur die zwei äufseren Kräfte $P_{,}$ und $S = \frac{P_{,}}{2\sin\varphi}$. Beide Kräfte parallel zu sich selbst nach dem Stützpunkt der Wendenische versetzt (s. die linke Seite der Figur) bilden ein Parallelogramm mit der Resultante:

$$R = \sqrt{S^2 + P_1^2 + 2 S P_1 \cos(90 + \varphi)} = \sqrt{S^2 + P_1^2 - 2 S P_1 \sin\varphi} = S, \quad . \quad . \quad 24.$$

das heifst: die auf die Wendenische wirkende Resultante ist gleich dem rechtwinklig zur Schleusenaxe wirkenden Thorschub S. Es kommt also wegen der Mitwirkung der Kraft P nicht die ganze Kraft S als rechtwinklig zur Schleusenaxe gerichteter Druck auf die Seitenwand, sondern nur ein der Gröfse des Winkels φ entsprechender Teil. Denn (s. Fig. 96, links) die Kraft R mufs, wenn sie gleich S ist, mit der Richtung des Thorflügels ebenfalls wie die Kraft S den Winkel φ und mit der Drempelbasis den Winkel 2φ und endlich mit der Schleusenaxe den Winkel $90 - 2\varphi$ bilden. Wird dann R rechtwinklig und parallel zur Schleusenaxe zerlegt (s. die rechte Seite der Figur), so ist, weil $R = S = \frac{P_{,}}{2\sin\varphi}$ und weil $\frac{\left(\frac{w}{2} + n\right)}{\cos\varphi} \cdot \frac{P_{,}}{2\sin\varphi} = \frac{\left(\frac{w}{2} + n\right) P_{,}}{\sin 2\varphi}$,

$$N = R\cos 2\varphi = S\cos 2\varphi = \frac{\left(\frac{w}{2} + n\right) P_{,}}{\operatorname{tang} 2\varphi} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 25.$$

$$T = R\sin 2\varphi = S\sin 2\varphi = \left(\frac{w}{2} + n\right) . P_{,} = P_{,}\cos\varphi \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 26.$$

Wird der Winkel $\varphi = 45°$, so wird R und S ein Minimum und $N = 0$. Dagegen werden aber die auf den Thorflügel selbst wirkenden Kräfte mit der Vergröfserung

seiner Länge sehr groſs. Wird der Winkel $\varphi = 22{,}5°$ oder $2\varphi = 45°$, so wird $N = T$, oder so lange $\varphi < 22{,}5°$, ist auch $T < N$, wird $\varphi > 22{,}5°$, so wird auch $T > N$.

Wenn nun auch in den meisten Fällen, namentlich bei massiven Seitenwänden, N und T mit reichlicher Sicherheit aufgenommen werden, so ist bei einem groſsen Winkel φ die gegen den vortretenden Teil der Wendenische gerichtete Kraft P, noch besonders zu berücksichtigen. Offenbar wird diese für das Abspringen jenes Teiles der Wendenische, namentlich bei heftigem Zuschlagen der Thorflügel, um so gefährlicher, je gröſser φ ist.

Aus den Gesamtverhältnissen der auf die Seitenwände einschlieſslich der Wendenische, sowie der in dem Thorflügel selbst wirkenden Kräfte den günstigsten Winkel φ zu berechnen, hat praktisch keinen Wert, weil die Verschiedenheit der Materialien dabei zu sehr mitspricht. Um die Thorflügel nicht erheblich gröſser als die halbe Schleusenweite zu bekommen und die erwähnte Gefahr für die Wendenische zu vermeiden, dagegen die in dem Thore wirkende Kraft $Q = \frac{P,}{2\,tang\,\varphi}$ nicht zu groſs werden zu lassen, empfiehlt es sich, den Wert von $tang\,\varphi$ nicht gröſser als 0,4, nicht kleiner als 0,2, sondern etwa $= 0{,}33$ zu nehmen, d. h. die sogenannte Drempelhöhe gleich $^1/_6$ der Schleusenweite zu machen.

Ordnet man zur Übertragung des Stemmdruckes nur eine Leiste (Stemmleiste) an, während man die Dichtung durch eine besondere, aber bewegliche Dichtungsleiste bewirkt (vergl. § 19), so wird die letztere den geringsten Druck erhalten, also ein Absprengen des gefährdeten Thornischenteiles um so weniger bewirken können, wenn die Mittellinie der Stemmleiste in die Richtung der Resultante R gelegt wird.

Für gekrümmte Thore mit einheitlicher Cylinderfläche ergiebt sich nach Fig. 95, S. 180 und der obigen Betrachtung über die im Thore wirkenden Kräfte, für die Resultante R oder den Gesamtdruck auf die Wendenische dasselbe Verhältnis zu der Kraft S und den Druck auf einen Thorflügel $P,$, welcher hinsichtlich des Druckes in der Wendenische in Rechnung zu ziehen ist. Es ist dies offenbar nur der rechtwinklig zur Sehne des Bogens eines Thorflügels oder der auf die in dieser Richtung genommene Projektion kommende Druck, welcher völlig gleich ist dem Drucke auf einen geraden in der Richtung dieser Sehne liegenden Thorflügel. Es ist also der resultierende Druck R oder der Tangentialdruck S bei dem gekrümmten Thore völlig gleich den gleichnamigen Gröſsen bei einem geradlinigen Thore, dessen Flügel die Sehnen des gekrümmten Thores bilden. Der Tangentialdruck R an der Wendesäule bildet, da er gleich dem Tangentialdruck S an der Schlagsäule ist, mit der Sehne des Bogens eines Flügels denselben Winkel φ, welchen auch diese Sehne mit der Sehne des ganzen Thorbogens bildet oder welchen bei dem geradlinigen Thore die beiden Drempellinien mit der Drempelbasis bilden würden.

Verhalten des geöffneten Thores. Es ist nunmehr zu untersuchen, wie das Verhalten des geöffneten Thores die Konstruktion desselben und die Befestigung an den Wänden und dem Boden der Schleuse beeinfluſst.

Bezeichnet G das Thorgewicht, welches im Abstande b von der Drehaxe angreift, A den Auftrieb mit dem Abstande c, und h den Abstand zwischen Halslager und Zapfen, so ist (Fig. 97) bei geöffnetem Thore der senkrechte Zapfendruck:

$$V = G - \mathfrak{A}, \quad \ldots \quad 27.$$

der Zug, den das Halsband aufzunehmen hat, aber:

$$Z = \frac{G.b - \mathfrak{A}.c}{h} \quad \ldots \quad 28.$$

Ebenso groſs wie der Zug des Halsbandes ist der horizontale Druck, welchen der Zapfen aufzunehmen hat. V und Z erreichen ihren gröſsten Wert für $\mathfrak{A} = 0$, d. h. für den Fall, daſs das Thor in der trocken gelegten Schleuse aufgehängt ist. Bei hölzernen Thoren muſs die Strebe oder das Zugband das Gewicht G nach dem Zapfen oder Halsband übertragen und erhalten diese Teile infolge dessen die Beanspruchung

$$D = \frac{G}{\cos \alpha}, \quad . \quad . \quad 29.$$

wenn α der spitze Winkel ist, welchen die Richtungen der Strebe oder des Zugbandes mit der Senkrechten bilden.

Fig. 97.

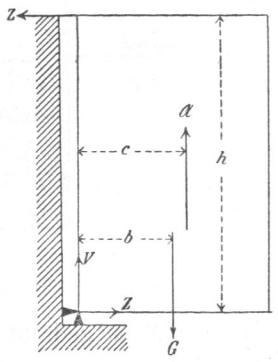
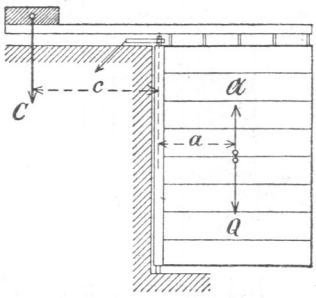


Fig. 98.



Man ist nun bestrebt gewesen, den Horizontalschub gegen den Zapfen und den Zug des Halsbandes möglichst zu verringern. Bei kleinen Thoren geschieht dies am einfachsten dadurch, daſs man einen Drehbaum anordnet und diesen an seinem Ende so stark belastet, daſs der Gesamtschwerpunkt von Thor und Gegengewicht in die Drehaxe fällt. Dann ist also Z und $Z_1 = 0$.

Damit dies der Fall sei, muſs also das Gegengewicht C (Fig. 98) den Wert

$$C = \frac{(G - \mathfrak{A}) \cdot a}{c} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 30.$$

haben, wenn G das Thorgewicht und $\mathfrak{A}$ der Auftrieb ist und angenommen wird, daſs beide am Hebelarm a angreifen.

Neuerdings sind derartige Gegengewichte bei den eisernen Thoren der Schleusen des Oder-Spree-Kanals angewendet, trotzdem die Bewegung der Thore ohne Benutzung des Drehbaumes mit Maschinenbetrieb erfolgt.

Eine andere Vorrichtung zur Aufhebung des Seitendrucks gegen den Zapfen und des Zuges im Halsband sind Rollen zum Tragen der Thore, die man namentlich bei groſsen Holzthoren häufig findet. Eine feste Säule mit Zugstangen hinter der Wendenische, wie bei den Thoren der Schleuse zu Koekuk (Fig. 221), entlastet den Zapfen vorzugsweise vom senkrechten Drucke, ist aber unbequem und bei Seeschleusen unstatthaft, wegen des behinderten Verkehrs längs der Mauern.

Bei Schwimmthoren in sehr stark veränderlichem Wasserstande kann unter Umständen der Auftrieb gröſser als das Gewicht werden, sodaſs sich dann die Richtungen der Kräfte Z umkehren. Im allgemeinen wird es aber vorzuziehen sein, das Thor stets mit einem möglichst gleichmäſsigen Gewichte auf den Zapfen drücken zu lassen. Um dies zu erreichen, müssen die Luftkasten so angeordnet werden, daſs sie, wenn das Thor gedreht wird, stets ganz im Wasser liegen.

Die Luftkasten müssen ferner so liegen, daſs der Zapfen möglichst wenig Seitendruck, bezw. das Halsband während der Drehung möglichst wenig Zug erhält, da dadurch die Reibungswiderstände vermindert, die Bewegung also erleichtert wird. Zu dem Ende wird man den Teil des Thorgewichtes, welcher nicht durch den Auftrieb des Luftkastens aufgehoben werden, sondern dauernd den Zapfen belasten soll, diesem möglichst nahe rücken müssen.

Fig. 99 *a*.

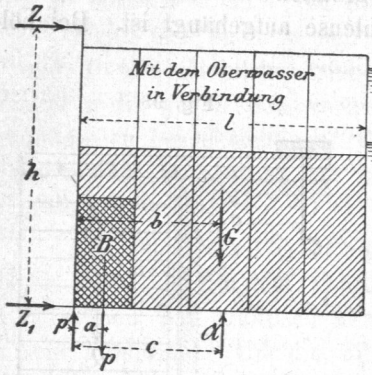
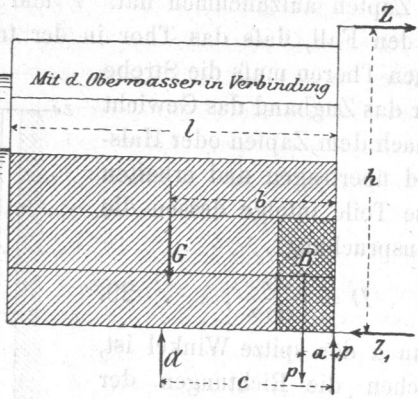


Fig. 99 *b*.



Bei den Thoren des Unterhauptes, welche gedreht werden, wenn sie den Auftrieb des niedrigen Unterwassers erfahren, wird man am einfachsten einen auf die ganze Länge l des Thores durchgehenden Luftkasten anordnen, wie Fig. 99 *a* für ein Ständerthor und Fig. 99 *b* für ein Riegelthor in der schraffierten Gesamtfläche zeigt. Der Auftrieb $\mathfrak{A}$ des ganzen Kastens ist gleich dem Gewichte G des Thores während der Eintauchung in das Unterwasser. Unmittelbar an der Wendesäule trennt man einen Teil B im Luftkasten wasserdicht ab, in welchen man soviel Wasserballast einläfst, als man zur dauernden Belastung des Zapfens für wünschenswert hält. Ist p das Gewicht dieses Wasserballastes, so wird der Zug, welchen das Halsband bei regelrechtem Betriebe erleidet:

$$Z = Z_1 = \frac{G \cdot b - \mathfrak{A} \cdot \varrho + p \cdot a}{h} \quad \ldots\ldots\ldots \quad 31.$$

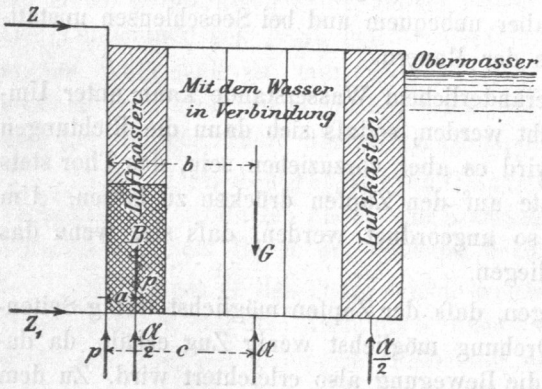
oder, wenn b und c als gleich angenommen werden, was meistens nahezu der Fall sein wird:

$$Z = Z_1 = \frac{p \cdot a}{h},$$

denn G war gleich $\mathfrak{A}$ angenommen. Die Beanspruchung des Halsbandes und der Seitendruck des Zapfens wird also desto kleiner, je kleiner a gewählt wird.

Bei Ständerthoren für das Oberhaupt, die also bei Eintauchung in das Oberwasser gedreht werden und bei denen daher die Luftkasten bis zum Oberwasserspiegel hinaufreichen können, wird es unter Umständen bequemer werden, zwei Luftkasten, den einen an der Schlagsäule, den anderen an der Wendesäule von je $\frac{\mathfrak{A}}{2}$ Auftrieb ($\mathfrak{A} = G$) anzuordnen, wiewohl nicht zu übersehen ist, dafs alsdann mehr Fugen dicht zu halten sind. Fig. 99 *c* zeigt diese Anordnung, bei welcher dann im Ständerfelde am Zapfen der Ballastraum B liegen mufs. Z und Z_1 behalten dann den in Gl. 31 angegebenen Wert bei.

Fig. 99 *c*.



Die mittleren Ständerfelder erhalten dann entweder nur einseitig eine Haut, auf der anderen Seite aber nur einen starken Diagonalverband, oder sie stehen wenigstens mit dem Wasser von der einen Seite in offener Verbindung, falls man, wie meist üblich, beide Seiten des Thores durchweg mit einer Haut versieht.

Wennschon in dieser Weise die Beanspruchungen des Halslagers und der Seitendruck gegen den Zapfen sehr herabgemindert werden, empfiehlt es sich dennoch, bei der Bemessung der Stärken dieser Teile auch darauf Rücksicht zu nehmen, dafs durch Zufälle die Entlastungen ganz oder teilweise fortfallen können. Bei der Berechnung für diesen Ausnahmefall können die Materialien aber stärker in Anspruch genommen werden, da es sich nur darum handelt, eine Zerstörung zu vermeiden. Näheres hierüber s. § 20.

Bei gekrümmten Thoren liegt der Schwerpunkt aufserhalb des Thorkörpers. Bei diesen Thoren ist deshalb darauf zu achten, dafs die Horizontalkraft Z, welche im Grundrisse des Thores durch die Projektion der Drehaxe und des Schwerpunktes geht, keine Verbiegung der krummen Thorfläche bewirkt. Es mufs also gegen die das Oberrahmstück streckende, das Unterrahmstück zusammenbiegende Kraft Z die nötige Steifigkeit gegeben werden. Endlich werden die Befestigungsteile des Thores in dem Falle, dafs der obere Zapfen nicht in der oberen Kante, sondern tiefer liegt, besonders vorsichtig zu berechnen sein, weil dabei h um so kleiner, Z um so gröfser wird.

In Betreff der Berechnung der Einzelheiten eiserner Drehthore wird auf die bereits angeführte Arbeit von Th. Landsberg verwiesen.

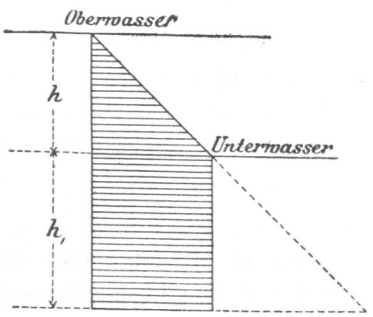
2. Einflügelige Drehthore. Klappthore. Schiebethore. Pontons.

Die zweite Hauptgruppe der Schleusenthore umfafst die Drehthore mit einem Flügel, die Klappthore, die Schiebethore und die Pontons. Alle diese Arten sind in gleicher Weise beansprucht und das Bild, welches sie bieten, ist ein viel klareres als dasjenige der Stemmthore.

Die Thore stellen Platten dar, welche mindestens an drei Seiten, nämlich unten am Drempel, sowie an beiden Seitenwänden, bisweilen aber auch noch oben gegen eine vorher geschlossene, bewegliche Brücke oder gegen Mauerwerk, z. B. bei den Schachtschleusen gegen das Gewölbe zwischen den Seitenwänden des Hauptes, gestützt sind. Wo diese obere Stütze fehlt, ist zunächst der obere Rand durch einen starken horizontalen Balken auszusteifen. Ob dann die weiteren Aussteifungen wagerecht oder senkrecht zu stellen sind, wird vom Verhältnis der Länge des Thores zur Höhe desselben abhängen. Ist die Länge des Thores gröfser als die Höhe, was wohl meistens der Fall sein wird, so sind senkrechte Aussteifungen, welche oben gegen den horizontalen Balken und unten gegen den Drempel liegen, am zweckmäfsigsten.

Da die zeichnerische Darstellung des Wasserdruckes gegen das Thor ein Trapez von nebenstehender Form (Fig. 100) ist, so ist es klar, dafs der horizontale Balken desto weniger Druck aufzunehmen hat, dafs er also auch desto leichter werden wird, je weiter nach oben er angeordnet ist. Allerdings wächst das Moment und damit Querschnitt und Gewicht der Ständer wieder mit zunehmender Höhenlage des wagerechten Balkens und es ist nicht ohne weiteres zu ersehen, welche Lage des letzteren für das Gesamtgewicht der Versteifungen die günstigste ist. Diese mufs vielmehr durch vergleichende Rechnungen ermittelt werden. Indessen sind, wie weiter unten nachgewiesen wird, häufig auch andere Umstände für eine bestimmte Höhenlage des oberen Balkens entscheidend.

Fig. 100.



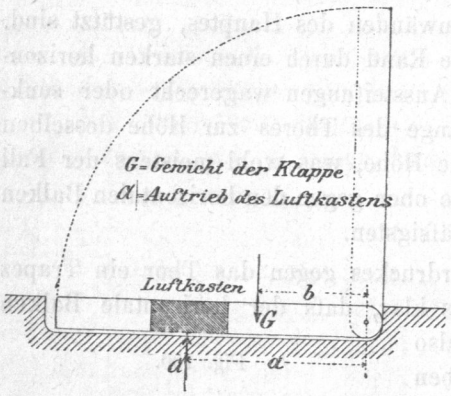
Die Drehthore mit nur einem Flügel bieten, wenn sie aus Holz hergestellt werden, wenig Bemerkenswertes. Sie verlangen dieselben Verstrebungen und Verankerungen, wie ein Flügel eines Stemmthores, jedoch werden diese, der gröfseren Länge des Thores wegen, entsprechend stärker ausfallen müssen, um Versackungen vorzubeugen. Aus demselben Grunde wird man grofse eiserne, einflügelige Drehthore nach den oben gegebenen Anweisungen durch zweckmäfsig angeordnete Luftkasten thunlichst zu entlasten haben.

Die Konstruktion hölzerner Klappthore, insbesondere die Gestaltung ihres Rahmwerks, ist ebenfalls nicht schwierig. Der horizontalen unteren Wendesäule, welche, wenn das Thor geschlossen ist, in ihrer ganzen Länge den Drempel berührt, also keine Biegungsspannung erhält, liegt ein oberer starker horizontaler Balken gegenüber. Beide sind an den Enden und je nach Bedarf noch mehrmals in der Mitte durch Ständer verbunden, welche den gegen die Bekleidungsbohlen wirkenden Wasserdruck auf den Drempel und das obere Rahmholz übertragen.

Eine Diagonalverstrebung ist theoretisch nicht erforderlich und wird in genügendem Mafse durch diagonale Lage der Bekleidung erzielt. Die Bewegung der hölzernen Klappthore läfst sich durch zwei Gegengewichte, welche an den Enden des oberen Rahmens angreifen, erleichtern.

Auch für eiserne Klappthore ist die eben beschriebene Anordnung die nächstliegende, nur wird es bei sehr grofsen Thoren meistens zweckmäfsiger sein, das Gewicht durch die Anbringung von Luftkasten auszugleichen; wenn diese Luftkasten auch dann, wenn das Thor aufgerichtet ist, richtig wirken sollen, müssen sie unterhalb des Wasserspiegels liegen, welcher während des Schliefsens vorhanden ist. In Bezug auf die Gröfse und Lage des Luftkastens ist folgendes hervorzuheben. Soll der Luftkasten so grofs sein, dafs von dem Bewegungsmechanismus nur die Reibung in den Lagern der Wendesäule zu überwinden ist, aber kein Teil des Thorgewichtes mehr gehoben werden mufs, so mufs nach Fig. 101 die Gleichung stattfinden:

Fig. 101.



$$\mathfrak{A} \cdot a = G \cdot b$$

oder der Auftrieb $\mathfrak{A}$ mufste gleich sein:

$$\mathfrak{A} = \frac{G \cdot b}{a} \quad \ldots \ldots \quad 32.$$

Dabei ist allerdings die Gewichtszunahme vernachlässigt, welche eintritt, wenn der obere Teil der Eisenkonstruktion aus dem Wasser auftaucht; diese ist gleich dem kubischen Inhalte des über Wasser liegenden Eisens mal dem Einheitsgewichte des Wassers und mufs aufser der Reibung durch die Hebevorrichtung bewältigt werden.

Wenn nun, so lange das ganze Thor unter Wasser ist, die Hebevorrichtungen nur die Reibung überwinden sollen, so hat man ferner:

$$\mathfrak{A} + R = G \quad \ldots \ldots \quad 33.$$

worin R den Druck in den Zapfenlagern bedeutet.

Aus Gl. 32 folgt, dafs der Auftrieb $\mathfrak{A}$ desto kleiner wird, je gröfser der Abstand a von der Drehaxe genommen ist. Das Anbringen des Luftkastens möglichst nahe dem oberen Ende der Klappe würde also gestatten, diesen kleiner zu machen und damit

Eisen zu sparen. Aus den Gleichungen 32 und 33 ergiebt sich aber für den Zapfendruck R der Wert:

$$R = G\left(1 - \frac{b}{a}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 34.$$

und daraus folgt, dafs R desto gröfser wird, je gröfser man a nimmt. Mit wachsendem Zapfendrucke nimmt aber auch die Zapfenreibung, d. i. der Widerstand zu, der von dem Bewegungsmechanismus überwunden werden mufs, selbst wenn das Thor ganz unter Wasser liegt. Da die leichte Beweglichkeit des Thores meistens wichtiger sein wird, als eine etwas gröfsere Gewichtsersparnis, so dürfte es sich im allgemeinen empfehlen, den Luftkasten so zu legen, dafs seine Mitte bei horizontaler Lage des Thores unter dem Schwerpunkte desselben liegt, dafs also $a = b$ ist.

Für diese Lage wird $R = 0$ und die Reibung in den Lagern am geringsten. Die Gröfse des Luftkastens ist dann so zu bemessen, dafs das Thor, wenn es ganz eingetaucht ist, noch von selbst zu Boden sinkt.

Ob bei der besprochenen Lage des Kastens dieser selbst zugleich als ein Träger auszubilden ist, welcher den Wasserdruck auf die Seitenwände des Hauptes überträgt und gegen welchen der oberhalb liegende Teil des Thores durch senkrechte Konsolen abgesteift ist, oder ob man den Luftkasten nur als solchen berechnet und den horizontalen Hauptträger der Klappe am oberen Rande derselben beläfst, läfst sich nicht allgemein entscheiden. Die letztere Konstruktion ist allerdings in mancher Beziehung unbequem, weil die Ständer den Luftkasten durchdringen müssen. Benutzt man aber den Luftkasten bei dieser tiefen Lage zugleich als Horizontalbalken, so mufs derselbe fast den ganzen Wasserdruck auf die Seitenwände übertragen, würde also sehr schwer werden.

Von den Schiebethoren weisen besonders diejenigen einige Konstruktionseigentümlichkeiten auf, welche grofs, in Eisen ausgeführt und seitlich offen sind, mögen sie nun unten einfach gleiten oder wie die von Kinipple auf Rollen laufen. Für solche Thore ist offenbar eine möglichst grofse Standsicherheit erforderlich, die man dadurch erreicht, dafs man ihnen einesteils eine bedeutende Breite giebt, sowie ferner dadurch, dafs man den Schwimmkasten möglichst hoch oben anordnet, damit der Schwerpunkt des Auftriebes über dem Schwerpunkte des Thorgewichtes liegt.

Die hohe Lage des Schwimmkastens bringt es mit sich, dafs dieser zweckmäfsig als grofser Kastenträger ausgebildet wird, der den weiteren senkrechten Aussteifungen der Haut als Stütze dient und den Wasserdruck auf die Seitenwände überträgt. Da es wünschenswert ist, dafs das Thor mit Hilfe des Schwimmkastens zum Aufschwimmen gebracht werden kann, um aus dem Schleusenhaupte herausgezogen und zur Reparatur in ein Dock gebracht zu werden, so bringt man an beiden Enden des Kastens besondere Abteilungen zur Aufnahme von Wasserballast an, welche grofs genug sind, um durch ihre Füllung den beabsichtigten Druck auf die unteren Gleitlager oder Rollen zu erzeugen und die leer gepumpt werden, wenn das Schiebethor aufschwimmen soll.

Die Höhe, um welche das Thor sich beim Aufschwimmen heben mufs, damit es aus dem Haupte herausgezogen werden kann, ist mafsgebend für die Höhenlage der Oberkante des Schwimmkastens unter dem Wasserspiegel. Je geringer dieselbe ist, desto leichter wird die Thorkonstruktion; daher ist durch die Formgebung des Mauerwerks auf möglichste Verminderung derselben hinzuarbeiten.

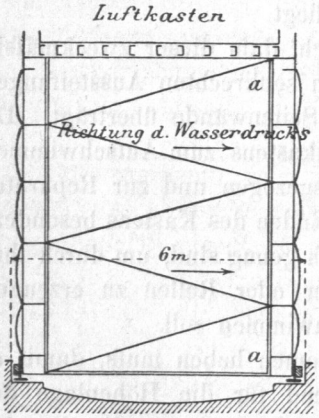
Soll das Thor nach beiden Seiten hin kehren, so erhält es auf beiden Seiten eine Haut und Anschlagsleisten, die am einfachsten aus Holz bestehen. Die ganzen Stirnwände des Thores dagegen sind mit Ausnahme des vom Schwimmkasten eingenom-

menen Teiles zweckmäfsigerweise offen, damit das in der Thorkammer befindliche Wasser durch das Thor selbst unter und über den Schwimmkasten hinweg abfliefsen kann, wenn das Thor in die Kammer gezogen wird. Um diesen Abfluſs, sowie das Zuströmen des Wassers in die Kammer beim Schliefsen des Thores thunlichst zu erleichtern und dadurch die Bewegungswiderstände zu vermindern, sind die Diagonalverbände der Ständer so einzurichten, dafs sie dem durchfliefsenden Wasser möglichst kleine Flächen darbieten. Da die senkrechten Ständer bei geschlossenem Thore sich unten gegen den Drempel legen, so ist hier nur ein leichter horizontaler Verband erforderlich. Wenn trotzdem statt desselben ein durchgehender, horizontaler Blechträger angeordnet wird, so geschieht dies, um durch die Blechwand ein bequemes Lager für etwaigen Ballast aus Beton oder Roheisen zu erhalten, den man anbringt, sei es, um die Stabilität zu vergröfsern, sei es, um das Gewicht, welches die Grundfläche während des gewöhnlichen Betriebes belasten soll, bequemer regeln zu können.

Die Schiebethore von Kinipple (vergl. § 21) weichen von obiger Anordnung insofern ab, als sie an allen Seiten (an den Stirnen und unten) geschlossene Blechwände haben, mithin volkommen den Schwimmpontons gleichen. Das aus der Pontonkammer zu verdrängende Wasser muſs bei denselben also unter dem Thore, sowie durch besondere Umläufe entweichen, die an die Pontonkammer anschliefsen. Es ist aber kein Grund zu finden, weshalb nicht auch für auf Rollen laufende Thore die Stirnwände gröfstenteils offen bleiben können, falls die starke Strömung unter dem Thore nicht zur Spülung der Sohle erforderlich ist. Die oben angegebenen Konstruktionsgrundsätze bleiben daher im allgemeinen auch für Thore auf Rollen bestehen.

Soll das Thor nur nach einer Seite hin kehren, so ist es nicht erforderlich, eine doppelte Haut durchweg anzubringen. Man findet aber auch für diesen Fall — soviel bekannt — bei allen bisher vorliegenden Ausführungen von Schiebethoren die Haut auf beiden Seiten voll durchgeführt. Als Material für die Haut hat man bisher aufser Holz für die zweiteiligen kleineren Schiebethore in Hamburg (s. § 21) nur ebene Bleche verwendet.

Fig. 102.



Für die Wände des Schwimmkastens, falls dieser zugleich als horizontaler Träger dient, ist es auch zweckmäfsig, solche beizubehalten, da die Bleche dann nicht nur von dem unmittelbar auf sie wirkenden Wasserdrucke, sondern auch als Teile des Trägers in einer Weise beansprucht werden, welche die ebene Gestalt als die geeignetste erscheinen läfst. Für den übrigen Teil der Haut trifft dies aber nicht zu. Man kann durch Verwendung von Wellblech oder Tonnen- und Buckelblechen ganz bedeutend an Material sparen, ohne der Sicherheit der Konstruktion Eintrag zu thun. Wendet man Tonnenbleche in der durch Fig. 102 angedeuteten Lage an, so ist die Beanspruchung der Gurtungsteile *a* der senkrechten Ständer, welche hier aus Gitterwerk gebildet sind und die ganze Pontonbreite als Konstruktionshöhe ausnutzen, besonders günstig. Bei der durch Pfeile angedeuteten Richtung des Wasserdrucks ist diese Gurtung nämlich die gezogene des Ständers. Die an derselben befestigten Tonnenbleche erzeugen aber Druckspannungen, welche einen Teil der Hauptspannung aufheben.

Dafs bei dieser Lage die cylindrische Form der Tonnenbleche oberhalb des Unterwasserspiegels nicht genau den statischen Forderungen entspricht, welche der nach

oben abnehmende Wasserdruck stellt, erscheint um so mehr unbedenklich, als man die Bleche aus praktischen Gründen nach oben ohnehin viel stärker macht, als die Rechnung verlangt; die geringste Stärke sollte 5 mm sein.

Die Berechnung der an den Querseiten geschlossenen Schiebethore und der freischwimmenden Pontons wird sich am einfachsten auch wieder auf die vorhandenen wasserdichten Decks, welche als horizontale Träger aufzufassen sind, stützen. Will man indessen das ganze Ponton als grofsen Träger auffassen, dessen beide Gurtungen durch die beiden Häute gebildet werden, so mufs die Spannung, welche die Bleche der Haut aus dem unmittelbar auf sie wirkenden Wasserdrucke erhalten, an den verschiedensten Stellen ermittelt werden; diese Spannungen müssen zu denen gleichen Vorzeichens, welche die Hautbleche als Gurtungen des grofsen Trägers erhalten, hinzugefügt werden, um die gröfste vorkommende Spannung zu ermitteln.

§ 17. Die Entwickelung der Schleusenthore. Nachdem in § 15 und 16 die Konstruktion der Schleusenthore im allgemeinen bezw. das Wichtigste aus der Theorie derselben besprochen ist, möge vor einer eingehenden Beschreibung einzelner Ausführungen einiges über die allmähliche Entwickelung der Schleusenthore gesagt werden.

Ebenso wie das Sprengwerk und der Bogen im Hochbau und im Brückenbau sich dem einfachen Balken gegenüber als Erfindungen späterer Zeit darstellen, die ein höheres technisches Verständnis voraussetzen, ist das Stemmthor mit zwei Flügeln gegenüber dem einflügeligen Verschlusse sicher die jüngere Form. Die ältesten Abschlüsse gegen einen höheren Wasserstand (vergl. die Besprechung der Flöfserei-Anlagen im IX. Kapitel) waren Schützen, im wesentlichen also Schiebethore, dann folgten wahrscheinlich, ebenfalls für Zwecke der Flöfserei, einflügelige Drehthore mit senkrechter Axe (sogenannte Schlagthore) und verwandte Anordnungen in mannigfaltiger Gestaltung. Stemmthore sind wohl zuerst bei den in Deichen angelegten Schutzschleusen zur Anwendung gekommen. Die Form des doppelflügeligen Stemmthores hat sich aber schnell eingebürgert und die einflügeligen Thore bei den Schiffahrtsschleusen fast vollkommen verdrängt; noch jetzt behauptet sie, wenn auch nicht überall mit vollem Rechte, das Feld.

So lange als Baustoff für die Thore ausschliefslich das Holz in Frage kommen konnte, waren die doppelflügeligen Stemmthore auch wohl meist die zweckmäfsigste Form, da sie die Länge der erforderlichen Hölzer gegenüber den einflügeligen Thoren fast auf die Hälfte einschränkten, da sie ferner das Holz sehr günstig beanspruchten und die erforderliche Dichtigkeit ohne Schwierigkeiten erreichen liefsen.

Je gröfser indessen die Schiffe wurden und je mehr sich die Holzbestände in der alten Kulturwelt lichteten, desto schwieriger und kostspieliger wurde es, genügend starke Hölzer zu beschaffen, und wenn man sich auch der bequemen Behandlung des Holzes wegen lange dagegen sträubte, schliefslich sah man sich dennoch genötigt, für die Thore grofser Schleusen das im Brücken- und Hochbau schon in weit gröfserem Umfange eingeführte Eisen anzuwenden. Wenn noch jetzt, wo selbst die grofsen Seeschiffe nur noch aus Eisen hergestellt werden, beim Manchester-Seekanale die Schleusenthore aus Holz gefertigt wurden, so mufs dies als verfehlt bezeichnet werden.

Wenn wir also gezwungen sind, für die Thore unserer grofsen Schiffahrts- und Dockschleusen das Eisen anzuwenden, so ist es auch erforderlich, den Eigenschaften dieses Baustoffes, welche von denen des Holzes wesentlich abweichen, voll Rechnung zu tragen, was bisher nicht immer in genügendem Mafse geschehen ist.

Die Hauptunterschiede der beiden Baustoffe Holz und Eisen, welche beim Übergange zu dem letztgenannten besonders berücksichtigt werden müssen, sind die folgenden:

1. Die Ausdehnung des Holzes bei einem Temperaturwechsel, wie er bei Schleusenthoren vorkommt, ist so unbedeutend, dafs er stets vernachlässigt werden kann. Ein grofser eiserner Thorflügel dagegen, der im Hochsommer montiert ist, wird im Winter eine Zusammenziehung erleiden, die bei Stemmthoren eine erhebliche Änderung der Beanspruchung herbeiführen mufs, wenn bei der Konstruktion nicht darauf Rücksicht genommen wurde.
2. Holz gestattet nur etwa den zehnten Teil der Beanspruchung des Eisens für die Flächeneinheit des Querschnittes und ist
3. infolge der gröfseren Weichheit weit leichter zu bearbeiten als das Eisen.
4. Bei Eisenkonstruktionen läfst sich der Querschnitt weit genauer den statischen Bedürfnissen anpassen, als bei Holzkonstruktionen und zwar um so genauer, je gröfser die erforderlichen Querschnitte sind.
5. Bei Holz ist aber ein sehr genaues Anpassen an die statischen Verhältnisse auch weniger notwendig, weil Holz billiger als Eisen ist.

Die Punkte 2 bis 5 deuten an, dafs es bei Holzthoren richtiger ist, ja bei grösseren notwendig werden kann, die Kraftübertragung möglichst auf das ganze Thor auszudehnen, bei eisernen dagegen — und zwar namentlich bei grofsen — ist es richtiger, die Kräfte durch möglichst wenige und dafür desto stärkere Teile aufzunehmen.

6. Eisenthore sind, wenn wir von den gufseisernen absehen, aus einzelnen Teilen zusammengenietet. Verbiegungen lockern die Niete und lassen das Wasser in die Nietlöcher eindringen, was Rostbildung herbeiführt; damit wird die Zerstörung des Thores angebahnt. Den Holzthoren dagegen schaden weder mäfsige Verbiegungen, noch bewirkt das Wasser, ausgenommen an den Stellen, an welchen Wasser und Luft wechseln, bei ihnen eine beschleunigte Zerstörung. Bei eisernen Thoren mufs man daher weit mehr als bei hölzernen darauf bedacht sein, dafs dieselben vor starken Verdrehungen und Verbiegungen bewahrt bleiben.

Wegen der in Punkt 1 und 6 aufgeführten Unterschiede ist das Eisen als Baustoff für Stemmthore und namentlich für Riegelstemmthore im allgemeinen weniger geeignet, als das Holz, namentlich für grofse eiserne Schleusenthore bietet die Form der Riegelstemmthore, wenn sie wissenschaftlich auf der Höhe der Zeit stehen soll, mehr Schwierigkeiten, als jede andere und namentlich als die einflügeligen Thore jeder Art.

Indem wegen der näheren Begründung des oben Gesagten auf den vorigen Paragraphen verwiesen wird, soll jetzt erörtert werden, wie sich ein klares Verständnis und wissenschaftliche Auffassung allmählich Bahn gebrochen hat und in den einzelnen Ausführungen zur Darstellung gebracht ist.

Thore aus Gufseisen. Die ersten eisernen Thore wurden, soviel bekannt, im Jahre 1793 von Telford für die kleinen, zum Teil nur 2,1 m weiten Schleusen des Ellesmere-Kanals angewandt. Sie sind aus Gufseisen, einflügelig und bestehen nur aus einer mit Verstärkungsrippen versehenen Platte.

Ähnlich sind die in Fig. 103 dargestellten, etwas später gebauten zweiflügeligen Thore des Montgomery-Kanals konstruiert. Auch hier ist die Schleusenweite nur 2,1 m und jeder Thorflügel besteht aus einem einzigen Gufsstück. Die geschlossenen Flügel bilden eine cylindrische Fläche von etwa 2,4 m Sehne und 0,4 m Pfeilhöhe. Aufser den an der oberen Seite liegenden Verstärkungsrippen besitzt das Thor noch eine besonders breite Rippe für den Thoranschlag und zur Aufnahme der Zapfenpfanne, während mit der obersten Rippe zugleich der Hals für die Verankerung verbunden ist, an welchen sich mittels Flantschen der konisch gestaltete Drehbaum zur Bewegung des Thores ansetzt. Dadurch, dafs die Hauptfläche des Thores nach unten liegt, werden die Wendesäule und Wendenische ebenfalls sehr vereinfacht.

Telford wandte später auch das Gufseisen zu gröfseren Schleusen, z. B. zuerst für den Kaledonischen Kanal (s. Kap. XV unter „Seekanäle") an, wobei die 12 m weiten Schleusen etwa 6,6 m breite Thorflügel mit nur 0,15 m Pfeilhöhe besitzen. In Fig. 104 ist der Horizontalschnitt eines solchen Thores und der in der Nähe der Schlagsäule genommene, aber die Wendesäule zeigende Vertikalschnitt skizziert. Es ist dabei das Prinzip eines selbständigen Gerippes mit einer besonderen Bekleidung aus Holzbohlen wieder aufgenommen. Wegen mangels jeder Art von Verstrebung ist an den Rippen in der Nähe der Schlagsäule eine Laufrolle angebracht. Die Wendesäule ist ein hohler Halbcylinder von 0,45 m Durchmesser mit oben und unten angegossenen cylindrischen Zapfen. Die gerade Querwand, an welche sich, wie bei der ebenfalls geraden Schlagsäule, die Riegel mit Lappen und vier Schrauben ansetzen, ist durchbrochen. Das Unterrahmstück und die Schlagsäule haben Holzleisten zum dichteren Anschlufs erhalten, die 7 cm starken eichenen Bekleidungsbohlen laufen vertikal und sind durch Schraubenbolzen mit den Vertikalrippen der Riegel verbunden. Trotzdem die alten Thore noch im Jahre 1874 keine Mängel erkennen liefsen, waren doch bei einigen Schleusen dieses Kanals neue Holzthore mit Riegeln von ähnlicher Krümmung wie die alten gufseisernen angebracht, angeblich, weil die letzteren durch anstofsende Schiffe zersprungen sein sollten.

Fig. 103.
Thorflügel aus Gufseisen.
Ansicht, Grundrifs und Schnitt *JK*.

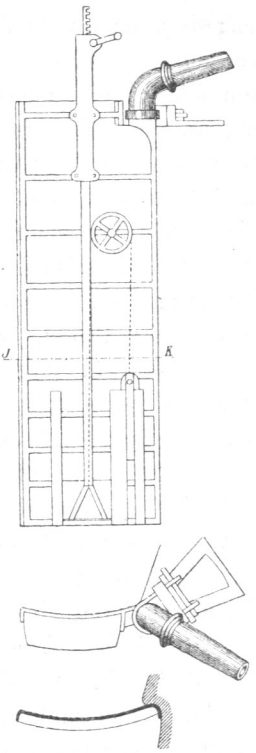
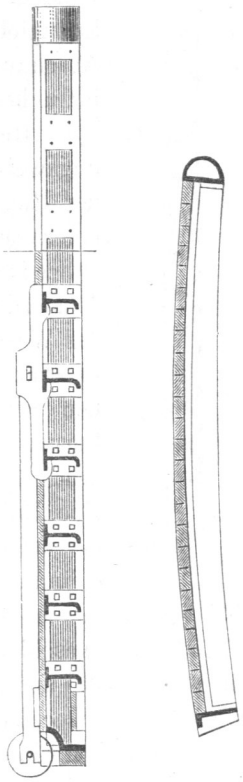


Fig. 104.



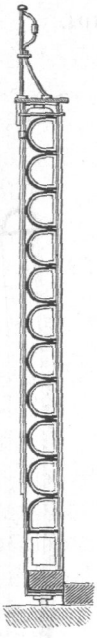
Obgleich nun in England selbst grofse Seeschleusen, z. B. in Woolwich von 24 m Weite, mit gufseisernen Thoren erbaut sind, so mufs doch heutzutage die Verwendung von Gufseisen zu allen Hauptteilen als veraltet erscheinen. Denn es bleibt aufser der zweifelhaften Haltbarkeit des Gufseisens im Seewasser für einzelne Fälle noch allgemein der Fehler des Gufseisens bestehen, dafs es zu spröde gegen Stöfse und namentlich in der Kälte sehr unzuverlässig ist. Es kann zu kleinen, eine geschlossene Form besitzenden Stücken mit Vorteil verwendet werden, wo durch die ganze Masse und deren Abmessungen jede Gefahr eines Zerspringens ausgeschlossen scheint (vergl. § 20), doch nie zu ausgedehnten Konstruktionsteilen, wie Riegeln, Wendesäulen u. s. w.

Entwickelung der geraden Stemmthore aus Walzeisen. Während man also wegen der Sprödigkeit des Gufseisens teilweise wieder zur alten Holzkonstruktion zurückgriff, versuchte man andererseits das Gufseisen durch Walzeisen zu ersetzen.

Zu den ersten derartigen Konstruktionen gehört die von Poirée schon im Jahre 1853 bei der Schleuse de la Monnaie in Paris ausgeführte und im Bd. XV der Zeitschr. f. Bauw. beschriebene.[52]) Es gehen dabei nach der Skizze des Vertikalschnittes (Fig. 105) die Rippen und die Bekleidungsbleche ineinander über, indem die horizontal liegenden Bleche so gebogen sind, dafs sie im Querschnitt überhöhte Halbkreise bilden, deren geradlinig verlängerte Schenkel mit denen der benachbarten Bleche unter Einschaltung

[52]) Über noch ältere Thore von Eisenblech für den Rhone-Rhein-Kanal vergl. Allg. Bauz. 1850, Bl. 343.

Fig. 105.



eines schmalen Zwischenbleches zusammengenietet sind. Durch ebenso gebogene Winkeleisen sind die Hauptbleche mit den vertikalen Säulen verbunden. Die Thore haben 340 M. f. d. qm gekostet, sind also ziemlich kostspielig gewesen. Die Konstruktion beruht aber auf theoretisch richtigen Anschauungen; sie kann als ein Vorläufer der neueren Wellblechkonstruktionen betrachtet werden.

Hiernach folgten Thore aus Walzeisen, welche sich in ihrer Ausführungsweise eng an die Holzthore anlehnen. Sie zeigen eine grofse Zahl eiserner Riegel, die entweder nur auf einer oder auch auf beiden Seiten mit einer Blechhaut überzogen sind. Die Entfernung der Riegel voneinander ist entweder gleich grofs angenommen, wie bei den Thoren der Schleuse des Amsterdamer Nordsee-Kanals (T. IX, F. 7—9), oder entsprechend der Zunahme des Wasserdrucks bis zum Unterwasserspiegel ungleich, wie bei den Schleusen zu Charenton (Textfig. 129 u. 130) und Geestemünde (T. IX, F. 10—18). Die Schlagsäulen sind in ihrer ganzen Höhe mit einer hölzernen, festen Leiste versehen, welche sowohl die Dichtung herstellen, als auch den Stemmdruck übertragen soll. Desgleichen wird die Dichtung am Drempel durch eine Holzleiste bewirkt. Bei älteren Thoren ist die Wendesäule aus Eisen hergestellt, hat eine cylindrische Form und wird in den steinernen Hohlcylinder der Wendenische mühsam eingepafst, bis sie von oben bis unten bei geschlossenem Thore möglichst zum Anliegen gebracht ist. Die Dichtung an der Wendesäule geschieht gleichfalls durch eine feste Holzleiste, die unten an die Drempeldichtungsleiste anschliefst. In dieser Weise sind u. a. die Thore der Schleusen zu Hameln und Geestemünde (T. IX, F. 1—6 bezw. F. 10—19) ausgeführt.

Da das Einpassen der Wendesäule in die Wendenische sehr zeitraubend und kostspielig war, suchte man diese Übelstände dadurch zu vermeiden, dafs man nicht Eisen direkt auf Stein stemmen liefs, sondern die Wendesäule in ihrer ganzen Höhe aufser mit der hölzernen Dichtungsleiste auch noch mit einer hölzernen Stemmleiste versah, welche sich den Ungleichheiten der steinernen Wendenische leichter anpassen liefs. In dieser Weise ist das Thor der Schleuse des Amsterdamer Nordsee-Kanals (T. IX, F. 7—9) ausgeführt, auch die Flutthore der Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals (T. XI, F. 14—17).

Bei Seeschleusen werden diese Holzleisten durch den Bohrwurm unter Umständen schnell zerstört, sodafs es wünschenswert ist, das ganze Thor samt Dichtungs- und Stemmleisten aus Eisen herzustellen. Eine derartige Ausführung wurde für die zweite Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven geplant[53]), aber in Bezug auf die eiserne Stemmleiste an der Wendesäule an der damals mafsgebenden Stelle der Kaiserlichen Marine nicht genehmigt, sodafs die ganze Wendesäule zum Stemmen gebracht werden mufste.

Noch einen Schritt weiter ging man bei den Thoren der Schleuse zu Charenton, indem man den ganzen Stemmdruck nur an vier Punkten der Wendesäule durch besondere Gufsstücke übertrug, die sich mit verhältnismäfsig kleinen Flächen gegen andere Gufskörper stemmen, welche in die nicht mehr cylindrische Wendenische eingelassen sind. Dadurch ist das Einpassen des Thores sehr erleichtert.

Sämtliche bisher angeführten Konstruktionen zeigen aber noch geringe Entfernungen der einzelnen Riegel voneinander namentlich unterhalb des Unterwasserspiegels,

[53]) Vergl. E. Rechtern und H. Arnold. Der Bau der zweiten Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, S. 352.

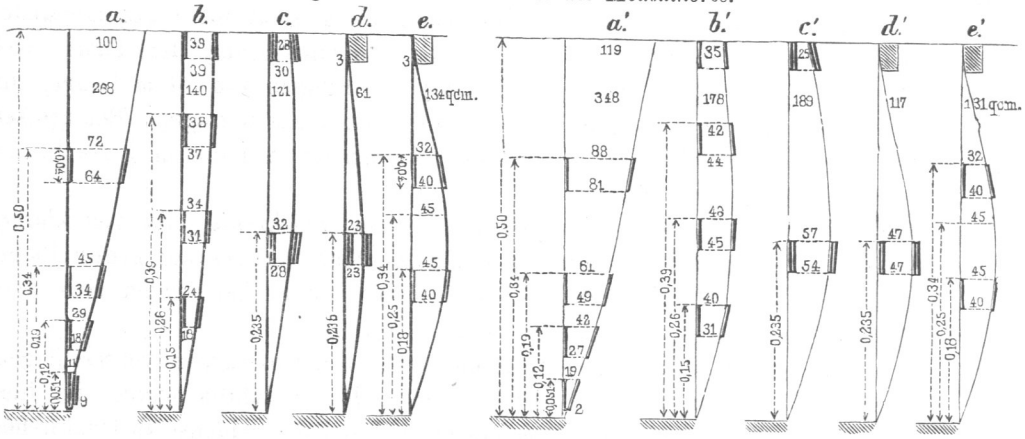
wodurch für die mit doppelter Haut versehenen Thore das Nachsehen der einzelnen Abteilungen sehr beschwerlich wird.

Die vier Stemmlager des Thores zu Charenton sind übrigens nicht an den Enden einzelner Riegel angebracht, sondern entsprechend der Verteilung des Gesamtwasserdruckes über das ganze Thor geordnet, sodafs also der Wendesäule die Aufgabe zufällt, den Druck einer Anzahl von Riegeln auf ein Stemmlager überzuführen.

Zu einer klareren Anordnung des Thorgerippes gelangte Guillemain durch Versuche, die er in folgender Weise anstellte.

Ein 0,5 m hoher und ebenso breiter, rechteckiger Holzrahmen, dessen obere Seite fehlte, überzogen mit einer doppelten dünnen Gummihaut, diente als senkrechter Verschlufs eines mit Wasser gefüllten Kastens. Zwischen beide Gummihäute waren dünne vertikale Brettchen dicht nebeneinander gestellt, welche die senkrechte Bekleidung des Thores vertraten, während aufserhalb des Wassers horizontale Stäbchen die Riegel bildeten. Die Durchbiegungen sämtlicher Teile des Modellthores wurden an genügenden Punkten durch verschiebbare Stäbe gemessen.

Fig. 106. *Vertikalschnitte des Modellthores.*



In der Fig. 106 sind die Lagen der lotrechten Brettchen, unbelastet und dem Wasserdruck ausgesetzt, enthalten. Aus dem Flächeninhalt der zwischen je zwei Linien (der senkrechten Geraden und der rechts davon befindlichen Kurve) und der oberen Horizontalen liegenden Figur war das Gesamtergebnis der Verbiegung bequem zu bestimmen. Dabei ist anzunehmen, dafs die Verbiegung des Thores und der von ihm zu leistende Widerstand in demselben Sinne sich verändern, ferner dafs das Thor dort am meisten Stärke bedarf, wo seine Durchbiegung am gröfsten ist.

Die Versuche wurden mit senkrechten Stäben von zwei verschiedenen Dicken (5 mm und 2,5 mm) gemacht und in beiden Fällen fünf verschiedene, mit a. b. c. d. e. bezw. a'. b'. u. s. w. bezeichnete Verteilungen der horizontalen Riegel vorgenommen. Dabei ergab sich zunächst für den ersten Fall:

a. Dafs die gröfste Verbiegung eintrat, wenn die Riegel im umgekehrten Verhältnis zum Wasserdruck verteilt wurden;

b. dafs die gleichmäfsige Verteilung der Riegel eine wesentlich kleinere Verbiegung bewirkte;

c. dafs bei Vereinigung je zweier Riegel in der Mitte und oben die Verbiegung noch abnahm;

d. dafs bei Anwendung eines unbiegsamen Riegels an der oberen Kante und sonst gleicher Anordnung wie bei c. die Verbiegung am kleinsten und viermal kleiner wurde als im Falle a.;

e. dafs bei Verteilung der beiden in der Mitte vereinigten Riegel auf ein und zwei Drittel der Höhe die Durchbiegung wieder zunahm,

und endlich, dafs die Ergebnisse nur wenig abgeschwächt werden, wenn die vertikalen Stäbe schwächer sind, wie aus der Fig. 106 a'.—e'. zu ersehen. Daraus folgt, dafs ein in vertikaler Richtung steifes Thor sich am wenigsten unter dem Wasserdrucke verbiegt, wenn der Widerstand in der oberen Kante und etwas unter der halben Höhe am gröfsten gemacht wird.

Auf Grund dieser Versuche sind die Thore der Schleuse zu Ablon[54]) (T. VIII, F. 13—15) konstruiert, worüber in § 19 das Nähere angeführt ist.

[54]) Les portes de l'écluse d'Ablon. Ann. des ponts et chaussées 1882.

Bei den Thoren der Schleuse zu Ablon findet man demnach nur noch drei Riegel und jeder Riegel endigt an der Wendesäule in einem gufseisernen Stemmlager, welches sich wie beim Thore zu Charenton gegen einen in die Wendenische eingelassenen gegossenen Stemmkörper stützt, wenn das Thor geschlossen ist.

Aufser dem Fortschritte, welchen die klarere Beanspruchung bedingt, zeigt dies Thor noch eine andere theoretisch richtige Anordnung, deren Notwendigkeit für grofse eiserne Thore nicht aus den obigen Versuchen, sondern aus den Beobachtungen von M. Galliot[55]) zu folgern ist. Diese Anordnung besteht darin, dafs das Thor unten nicht stemmt; sie ist in Ablon übrigens nur getroffen, um der Kette für die Schleppschiffahrt Platz zu machen, und nicht auf Grund theoretischer Erwägungen.

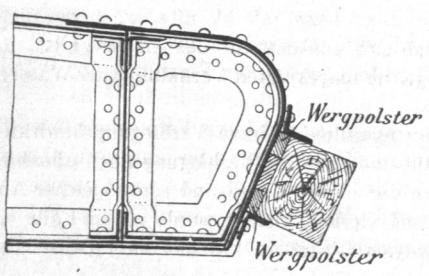
Die erwähnten Beobachtungen von Galliot an verschiedenen eisernen Thoren französischer Schleusen haben nun ergeben, dafs sich die obersten Riegel derselben teilweise nach dem Oberwasser zu durchbogen. Dies kommt, wie in § 16 nachgewiesen ist, daher, dafs die Thore infolge ihrer Verkürzung durch Abnahme der Temperatur oder aus einem anderen Grunde unten an den Schlagsäulen nicht mehr gegeneinander stemmten, sondern nur am Drempel anlagen. Diese Längenänderung der Thore wird desto merkbarer, je gröfser das Thor ist und kann bei Flügeln von 14 m Länge, die im Sommer montiert und zum Schlusse gebracht sind, bis 7 mm betragen. Bei grofsen eisernen Schleusenthoren hat man hierauf Rücksicht zu nehmen und die in § 16, S. 178 empfohlenen Anordnungen zu treffen.

Eine zweite Abhilfe gegen diesen Übelstand und gleichzeitig eine viel klarere Kraftübertragung bietet das Ständer- oder Pfosten-Stemmthor, welches nur einen Riegel zur Übertragung des ganzen Stemmdruckes am oberen Rande hat, unten sich aber gegen den Drempel legt, ohne zu stemmen, vergl. § 16.

Diese Anordnung ist, soviel bekannt, bereits 1863 von Collignon vorgeschlagen, damals aber höheren Ortes verworfen. Erst in den siebziger Jahren wurde die Idee von dem Ingenieur Guillain wieder aufgenommen und bei der Schleuse zu Dünkirchen mit Erfolg zur Ausführung gebracht.

Nach demselben Grundsatze sind dann die neuen eisernen Thore der Schleuse in Havre gebaut[56]), sowie die Sperrthore und die Ebbethore der Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals. Die Thore in Havre zeigen aber merkwürdigerweise auch unten einen sehr starken Riegel, trotzdem in der angeführten Quelle ausdrücklich gesagt ist, dafs dieser nur dazu dienen soll, die senkrechten Ständer kräftig miteinander zu verbinden, und trotzdem derselbe nicht, wie der obere an der Schlagsäule einen Stemmkörper von Gufsstahl hat; die hölzerne, an der Schlagsäule befindliche Dichtungsleiste läuft über ihn hinweg. Wegen der geringen Festigkeit des Holzes im Vergleich zu der des Gufsstahls wird der Druck, welcher auf den unteren Riegel kommen kann, nur gering werden. Will man denselben noch mehr vermindern, so mufs man zwischen die Dichtungsleiste und die Schlagsäule elastische Körper

Fig. 107.



[55]) Ann. des ponts et chaussées 1887, I, S. 724 und L. Brennecke. Die Entwickelung der Schleusenthore in der Neuzeit. Deutsche Bauz. 1891, S. 446.

[56]) Mémoire sur les nouvelles portes en tole de l'écluse des transatlantiques. Ann. des ponts et chaussées 1887, I, S. 411.

— am einfachsten ein Wergpolster (Fig. 107) — einlegen, welche noch weniger Druck zu übertragen vermögen als die Holzleiste. Eine solche Anordnung beabsichtigte Verfasser für die Sperr- und Ebbethore der Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals; dieselbe ist jedoch nicht ausgeführt worden.

Die vorhin erwähnten Stemmkörper von Gufsstahl für den oberen Riegel an der Schlagsäule sind in Havre an den Berührungsflächen eben bearbeitet. Da nun wegen der unter dem Einflusse der Temperatur wechselnden Länge der Riegel die Ebenen der beiden Stemmkörper nur ausnahmsweise, d. h. bei einer bestimmten Temperatur, sich gleichmäfsig in ganzer Ausdehnung berühren können (vergl. § 16, S. 179), so ist dadurch die Richtung des Stemmdruckes im Riegel eine wechselnde. Diesen Übelstand hat Verfasser bei den Sperrthoren der Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals durch einen universal-gelenkartigen Lagerkörper zu vermeiden gesucht, vergl. § 19. Die betreffenden Ebbethore sowohl, als auch die Sperrthore zeigen den Thoren von Havre gegenüber den Fortschritt, dafs der unnötig starke untere Riegel fehlt.

Da bei den Ständerthoren nur der obere Riegel Stemmdruck auf das Mauerwerk der Wendenische übertragen soll, so ist auch nur das Ende dieses Riegels an der Wendesäule bei geschlossenem Thore in gleichmäfsige Berührung mit dem Mauerwerk der Nische zu bringen. Höchstens wird man noch zur Sicherung des Zapfens gegen starken Seitendruck, welcher eintreten könnte, wenn sich beim Schliefsen ein fester Körper unten zwischen die Schlagsäulen klemmte, auch unten an der Wendesäule eine Stemmfläche anordnen. Immerhin hat man beim Montieren nur diese beiden Stellen einzupassen, wodurch dieses gegenüber demjenigen der Riegelthore erheblich erleichtert wird.

Noch bequemer kann man das Aufstellen der Thore dadurch gestalten, dafs man die ganze Wendesäule in der Werkstätte fertigstellt, die cylinderförmigen Stemmkörper an derselben befestigt, abdreht und ebenfalls durch Abdrehen nach gleichem Halbmesser genau passende cylinderförmige Hohlkörper aus Gufsstahl herstellt, welche mit angegossenen Rippen in die Stemmsteine der Wendenische eingelassen und mit Cement hintergossen werden, nachdem die Wendesäule genau senkrecht aufgestellt ist. Derartig hergestellte stählerne Lagerschalen braucht man dann nicht excentrisch zur Wendesäulenaxe in der Nische zu befestigen, sondern man kann sie wie die Lager einer stehenden Welle behandeln, sodafs sie auch beim Drehen des Thores stets mit den Lagerteilen am Thore in Berührung bleiben. Dadurch wird der Vorteil erreicht, dafs ein Einklemmen von Gegenständen zwischen die Lagerkörper ausgeschlossen ist.

Entwickelung der gekrümmten Stemmthore. Während die Stemmthore, deren Haut eine gerade oder nur wenig gekrümmte Fläche bildet, den Sprengwerken des Hochbaues und des Brückenbaues entsprechen, haben die Thore, bei welchen die Häute beider Flügel eine zusammenhängende Cylinderfläche bilden, Verwandtschaft mit einem Stichbogen.

Die Darstellungen auf T. V, F. 12; T. VII, F. 15 u. 19, sowie T. IX, F. 10 bis 19 zeigen, dafs, wie bereits in § 15 erwähnt wurde, derartige Thore namentlich aus Eisen angefertigt sind.

Dieselben Gründe, welche bei den geraden Stemmthoren den Übergang vom Holze zum Eisen veranlafsten, sind in noch höherem Mafse bei der Bogenform mafsgebend gewesen. Es ist aber die Bogenform bei den eisernen Thoren nicht viel in Gebrauch gekommen, trotz der theoretisch sehr bedeutenden und auch praktisch noch immer in beachtenswertem Mafse erreichbaren Materialersparnis gegenüber den geraden Thoren. Ein Hindernis bildete die unbequeme Gestaltung des Drempels, die grofse Tiefe der

Thornischen und die ungünstige Lage des Schwerpunktes des Thores aufserhalb des Thorkörpers selbst. Neuerdings sind aber beim Oder-Spree-Kanale Thore mit kontinuierlich gekrümmter Aufsenhaut zur Anwendung gekommen, welche einen beachtenswerten Fortschritt zeigen (T. X, F. 4—19). Bei denselben ist ein so grofser Krümmungshalbmesser angewendet, dafs die Begrenzung des unteren Rahmens am Drempel und damit dieser selbst gerade genommen werden konnte. Dazu ist die Haut dieses Thores aus gekrümmtem Wellblech hergestellt, sodafs sie an und für sich eine sehr grofse Steifigkeit erhält und keiner besonderen Aussteifungen bedarf. Dadurch wird trotz des grofsen Krümmungshalbmessers ein sehr geringes Gewicht des Thores erzielt. Die nähere Beschreibung dieser Thore folgt in § 19.

Auch bei den Thoren mit gleichmäfsig gekrümmter Aufsenhaut ist es für eine rechnungsmäfsige Beanspruchung notwendig, dafs die Schlagsäulen auf ihrer ganzen Höhe wirklich stemmen. Es empfiehlt sich also auch hier, auf das Stützen am Drempel zu verzichten und bewegliche Dichtungen anzuwenden. Es ist nun allerdings richtig, dafs bisher aus dem Anliegen von Bogen- und Riegelstemmthoren am Drempel und der dadurch erfolgten Behinderung des Stemmens der Schlagsäulen unmittelbare Zerstörungen von Thorflügeln noch nicht beobachtet sind und mögen infolge dessen auch die beweglichen Dichtungsleisten manchem Praktiker überflüssig erscheinen. Aber die oben mitgeteilten Beobachtungen von Galliot lassen keinen Zweifel darüber aufkommen, dafs das Anliegen am Drempel ohne ein Stemmen für die Thore nachteilig werden mufs und möglichst zu vermeiden ist.

Vergleich der einflügeligen Thore und verwandter Arten mit den Stemmthoren. Die beregten konstruktiven und theoretischen Unbequemlichkeiten haben es zuwege gebracht, dafs man in neuerer Zeit sich mehr von den Stemmthoren ab und wieder den einflügeligen Thoren zugewandt hat, sei es in der Gestalt von Drehthoren oder von Klappthoren, Schiebethoren und Schwimmpontons.

Namentlich Schiebethore sind für Seeschleusen neben Schwimmpontons vielfach ausgeführt und für die Schleusen grofser Schiffahrtskanäle, wie den Panama- und Nicaragua-Kanal, in Aussicht genommen worden.

Bei dem jetzigen Stande der Wissenschaft ist für Schleusenweiten, wie sie unsere gröfsten Schiffe zur Zeit verlangen, die Wahl von Konstruktionen, welche mit einem einzigen Körper die Öffnung überdecken, auch in sehr vielen Fällen berechtigt, wie in § 15 nachgewiesen. Ob dies indessen auch für alle Zukunft bei den gröfsten Schleusen der Fall bleiben wird, ist eine andere Frage. Sollten unsere Seeschiffe in denselben Verhältnissen weiter wachsen, wie in den letzten Jahrzehnten, so erscheint es nicht ausgeschlossen, dafs sie dereinst Schleusen von 50 m Weite und mehr erfordern. Dann aber würde voraussichtlich die Materialersparnis, welche die nur etwas über halb so langen beiden Stemmthore gegenüber einem einflügeligen Thorkörper ermöglichen, so sehr ins Gewicht fallen, dafs die letzteren sich wieder eine Einschränkung ihrer Verwendung gefallen lassen müfsten. Da bei so bedeutenden Weiten die Länge l eines Stemmthorflügels wohl noch häufiger als gegenwärtig gröfser als seine Höhe sein wird, so würde das Ständerstemmthor in weiterer Zukunft das Riegelstemmthor immer mehr verdrängen müssen, vergl. § 16.

Wir dürfen aber auch hoffen, dafs in weiterer Zukunft unsere theoretische Kenntnis weit genug entwickelt und das Verständnis für Eisenkonstruktionen so verallgemeinert werden wird, dafs es keinerlei Schwierigkeiten mehr bietet, auch Stemmthore auszuführen, welche theoretisch richtig beansprucht werden.

Einen Nachteil werden die doppelflügeligen Stemmthore den einflügeligen gegenüber allerdings immer dann besitzen, wenn ihre Bewegung durch Maschinenkraft erfolgen mufs, nämlich den, dafs sie eine gröfsere Anzahl Bewegungsvorrichtungen nötig machen und infolge dessen entsprechend leichter Betriebsstörungen erwarten lassen. Da indessen in nicht zu langer Zeit der elektrische Betrieb den hydraulischen bei den Schleusen verdrängt haben dürfte, so hat man dann wenigstens nicht mehr nötig, unbequeme und kostspielige Kanäle und Tunnels für die Kraftleitungen herzustellen.

Wenn somit für grofse Schleusenthore das Eisen das zweckmäfsigste Material ist und voraussichtlich auch wohl bleiben wird, so wird für kleine Schleusen das Holz nach wie vor der am meisten zu empfehlende Baustoff bleiben und wegen dieses Stoffes auch das Stemmthor mit Handbetrieb die bequemste Form.

§ 18. Konstruktion der hölzernen Stemmthore. Unter Bezugnahme auf die Paragraphen 15 bis 17 sind nunmehr die Konstruktionen der hölzernen Stemmthore zu beschreiben. Dabei müssen Anordnungen, welche entweder ganz allgemein oder wenigstens mit Rücksicht auf die vorteilhaftere Anwendung einer Eisenkonstruktion als unzweckmäfsig gelten können, nur kurz behandelt werden.

Fig. 108 bis 112. *Flügel des Flutthores der Schleuse bei Papenburg.* M. 0,01.

Fig. 108. Ansicht der Binnenseite.

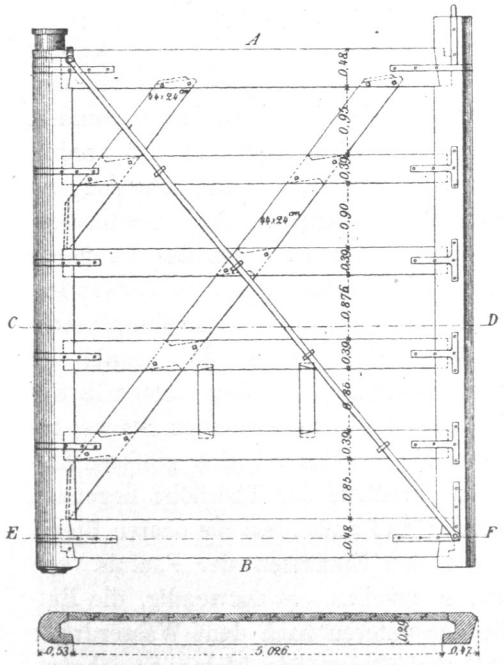


Fig. 111. Schnitt *C D*.

Fig. 109. Schnitt *A B*.

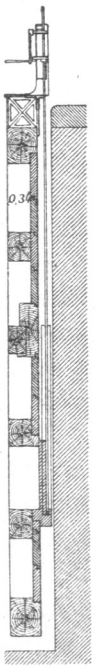
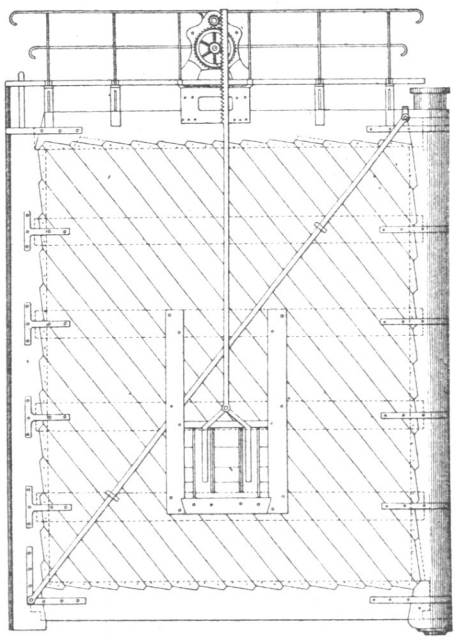


Fig. 110. Ansicht der Aufsenseite.



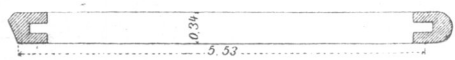


Fig. 112. Schnitt *E F*.

In den Figuren 108—112 und 120—124 sind verschiedene Beispiele einfacher und zweckmäfsiger Holzkonstruktionen gegeben. Es darf hier, wie bereits in § 15 ausgeführt ist, nochmals daran erinnert werden, dafs die Konstruktion eines Holzthores stets möglichst einfach in allen Verbindungsteilen gehalten werden mufs, wenn das Thor

eine recht lange Dauer haben soll. Je künstlicher die Verbindungen z. B. der Verzapfungen der Riegel u. s. w. sind, desto eher wird das einem Wechsel von Nässe und Trockenheit, von Anspannung und Ruhe und zufälligen anderen Angriffen ausgesetzte Thor eine Abnutzung durch Faulen und Zerreiben der Verbindungsteile erleiden. Dazu kommt, dafs man — in Deutschland wenigstens — gezwungen ist, fast ausschliefslich Eichenholz, als das in gröfseren Massen zu beschaffende härteste und dauerhafteste Holz, zu verwenden, dafs aber gerade das Eichenholz wenig geradfaserig gewachsen zu sein pflegt und daher im grofsen wie im kleinen leicht überspänig geschnitten wird. Also auch aus diesem Grunde ist unbedingt von allen dünnen und schwachen Zapfen, namentlich auch den früher sehr üblichen sogenannten Schlitzzapfen abzuraten. Die geschlitzten, aus zwei gleichen Blättern bestehenden Zapfen haben gegen den einfachen etwa doppelt so dicken Zapfen noch den grofsen Nachteil, dafs zwar der Zapfen selbst genau gearbeitet werden kann, dafs aber die schmalen und dabei etwa drei- bis viermal so tiefen Zapfenlöcher kaum mit Sicherheit genau der Dicke des Zapfens entsprechend ausgestemmt werden können. Sie werden fast stets nach dem Grunde des Loches hin etwas weiter und geben dadurch sowohl zur rascheren Fäulnis als zu baldigen Bewegungen Anlafs.

Man mache daher, wie es z. B. durchweg bei der Papenburger Schleuse geschehen ist, die Zapfenlöcher einfach, kräftig und kurz, allenfalls mit einem sogenannten Brustzapfen, und um ein Aufspalten der Hölzer, insbesondere der auf Biegung beanspruchten Riegel an der Basis des Zapfens zu vermeiden, etwas keilförmig, wenn man nicht gar, wie bei der Schleuse des Kanals von St. Quentin (Fig. 121) die Zapfen fast ganz vermeidet und dafür Verbindungen mit eisernen Knieen oder Knaggen vorzieht.

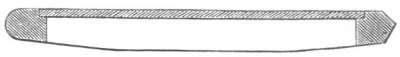
Aufser der Verwendung des besten Holzes ist auch tadellose Arbeit eine Grundbedingung für die Haltbarkeit des Thores. Um die Hölzer mit derselben Genauigkeit, wie sie z. B. bei Tischlerarbeiten gefordert wird, zu verbinden, müssen dieselben abweichend von sonstigen Zimmerarbeiten völlig glatt behobelt werden. Nur dadurch ist ein genaues Abmessen und Zusammenfügen grofser und schwerer, ein fast unbewegliches Ganzes bildender Hölzer möglich. Der Arbeitspreis für ein Schleusenthor pflegt daher in der Regel den sonstiger Zimmerarbeiten etwa um das Fünffache zu übertreffen. Um so notwendiger ist es daher, nur die besten Hölzer zu verwenden.

Riegel. Es möge nun die Beschreibung der gewöhnlichen Konstruktion eines Holzthores mit Bezug auf Fig. 108—112 u. a. folgen. Zunächst ist die Anzahl der Riegel gemäfs § 16 ermittelt. Dabei ist zwar die Entfernung derselben unterhalb des Binnenwassers als am kleinsten angenommen oder aus der angenommenen Stärke berechnet, und es würden die oberen Riegel nach oben hin zunehmend eine gröfsere Entfernung erhalten können. Indem jedoch die etwa in der Mitte der Thorhöhe liegenden Riegel gewöhnlich mit der Strebe überschnitten werden und aufserdem die oberen Riegel weit mehr als die stets unter Wasser liegenden von den Einflüssen der Fäulnis, von Stöfsen durch Schiffe, Eis u. s. w. zu leiden haben, so erscheint es notwendig, die Entfernung der oberen Riegel nicht lediglich wie die der unteren nach dem Wasserdruck zu bestimmen, sie also jenen Angriffen entsprechend verhältnismäfsig kleiner zu nehmen. Es ist aber auch zu beachten, dafs durch die Bohlen ein erheblicher Teil des Wasserdrucks auf den Untertramen (oder, falls gröfsere Schützöffnungen vorhanden sind, auf den untersten Riegel) übertragen wird. Hieraus ergiebt sich, dafs die berechnete Entfernung der unter dem Binnenwasser bezw. dem Unterwasser liegenden Riegel unbedenklich vergröfsert werden kann, und für alle Thore mit starker Bohlenbekleidung ist

das Gesamtergebnis eine von einer gleichmäfsigen nicht weit abweichende Verteilung der Riegel. Mitunter wird die Verteilung sogar ganz gleichmäfsig gemacht. Bei Thoren mit grofsen Schützöffnungen bedarf der unterste Riegel selbstverständlich einer durch Rechnung zu ermittelnden Verstärkung.

Mit Rücksicht auf die Biegung der Riegel durch den auf sie wirkenden Wasserdruck würde es jedenfalls für sie allein günstiger sein, wenn ihre Breite gröfser als ihre Höhe wäre. Da indessen bei geraden Thoren zur Riegelbreite noch die Bohlendicke hinzukommt, um die Dicke von Wendesäule, Schlagsäule und Rahmhölzern zu geben, und diese Hölzer durch übermäfsige Breite leicht sehr dick und teuer werden, so scheint es in vielen Fällen vorteilhafter, die Riegel quadratisch oder gar hochkantig zu nehmen. Denn jene Hölzer müssen schon wegen der Verzapfungen, der Beschläge, der Abrundung und Abschrägung an Wende- und Schlagsäule eine gröfsere Breite als Dicke erhalten. Man kann freilich eine übermäfsige Dicke dieser teueren Hölzer dadurch vermeiden, dafs man nach Fig. 113 die Riegel nach ihren Enden hin verjüngt. Dies läfst sich jedoch wegen der Anbringung der auf der oberen Seite liegenden Bekleidungsbohlen in der Regel nur auf der unteren Seite des Thores thun. Dafs übrigens diese Anordnung für die Anbringung eines Zugbandes, der Beschläge u. s. w. manche Nachteile hat, wird sich bei deren Beschreibung ergeben.

Fig. 113.



Streben und Bebohlung. Sind nun nach vorstehenden praktischen und den im § 16 gegebenen theoretischen Erwägungen die Abmessungen der Haupthölzer des Thorgerippes bestimmt, so erübrigt noch die Stärke und Lage der Streben und der Bohlen festzustellen. Die Strebe darf, um wirksam zu sein, nicht viel steiler als unter 30 Grad zu der Wendesäule stehen, zudem kann bei einem starken Oberrahmholz die freitragende Länge desselben bis zur Schlagsäule als hinreichend sicher gegen Verbiegung angesehen werden. Der Strebe eine grofse Dicke zu geben hat keinen Wert, weil sie um so stärker mit den Riegeln überschnitten werden müfste und dies für die Riegel sehr nachteilig sein würde. Man nimmt sie deshalb höchstens doppelt so dick als die Bohlen und schneidet aus Strebe und Riegel je gleichviel aus. Die Strebe erhält oben und unten einen Versatz und aufserdem kurze Zapfen. Die Versatze sind bei den Riegeln in geringem Mafse zu wiederholen. Die Breite der Strebe mufs recht grofs genommen werden, weil sie ohnehin nicht viel wirksamen Querschnitt behält. Bei breiten Thoren werden zur Vermehrung der Wirkung wohl zwei Streben nebeneinander angebracht (Fig. 108) oder man sucht durch zwischengesetzte Stücke die Dicke der Strebe zu vermehren, s. Fig. 114 u. 115. Es wird dabei den einzelnen Stücken aufser dem Versatz noch eine etwas schräge Stützfläche gegen die Riegel gegeben, um durch Anziehen der die beiden Strebenhälften verbindenden Schraubbolzen eine um so kräftigere Wirkung der einzelnen Stücke zu erzielen und dauernd erhalten zu können. Diese Anordnung kann jedoch schon wegen der vielen Bolzenlöcher und Verbindungen nicht empfohlen werden. Man darf auch den Bohlen namentlich, wenn sie wie üblich in gleicher Richtung mit der Strebe aufgebracht werden, und dem später zu erwähnenden Zugbande wohl zutrauen, dafs sie die Strebe genügend unterstützen, um eine Versackung des Thorflügels zu verhindern.

Fig. 114. Horizontalschnitt.

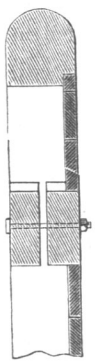
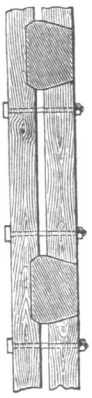
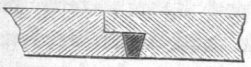


Fig. 115. Schnitt durch die Streben.



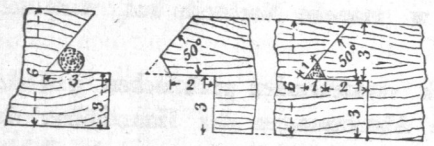
Die nebst der Strebe mit ihren Aufsenflächen bündig mit den Aufsenflächen der Umfangshölzer liegenden Bohlen erhalten an ihren Enden, wie die Strebe, einen Versatz in den Umfangshölzern und müssen thunlichst dichtschliefsend aufgebracht werden, um nicht allein dicht zu halten, sondern um auch an dem gegenseitigen Stemmen der beiden Thorflügel zur Entlastung der Riegel teilzunehmen. Sie müssen mindestens so dick sein, dafs sie bei ihrer schrägen Lage den gröfsten Wasserdruck ertragen können, wobei eine Mehrstärke die Durchbiegung der Riegel etwas vermindert. Die Bohlen müssen aber auch für die Dichtigkeit, sowie mit Rücksicht auf Faulen u. s. w. eine gewisse Dicke von mindestens 5 cm erhalten, während sie selbst bei dem stärksten Wasserdruck wohl nie mehr als etwa 7 bis 8 cm stark zu sein brauchen. Um die Dichtigkeit zu erhöhen und dauernd erhalten zu können, kann man sie mit halbem Falz spunden und, wie Fig. 116 zeigt, mit keilförmiger Fuge kalfatern.

Fig. 116.



Um zu verhindern, dafs der zum Kalfatern benutzte Werg bei starkem Zusammentrocknen der Bohlen herausfallen könne, hat Kromrey bei dem Neubau der Thore der Berliner Stadtschleuse die in Fig. 117 dargestellte, etwas abweichende Kalfaterung angewendet.[57]) Die 6 cm starken Bekleidungsbohlen wurden, wie die Figur zeigt, unter einem Winkel von etwa 50° bis zur halben Bohlenstärke mit Spund und Nut zugerichtet. In die Nut wurde ein etwa 2 cm starker Strang von Dichtungswerg, nachdem die Nut gehörig mit heifsem Teer gestrichen war, eingelegt. Der Spund der nächsten Bohle, genau in die Nut passend, wurde auf 1 cm abgefast, sodafs beim Zusammentreiben der Bohlen ein dreiseitig-prismatischer Zwischenraum blieb, der von dem zusammengepreften Strange Dichtungswerg ausgefüllt wurde. Der Vorteil der in beschriebener Weise ausgeführten Bekleidung soll darin bestehen, dafs dieselbe vollkommen wasserdicht ist und es auch bleibt, selbst wenn die einzelnen Bohlen zusammentrocknen. Der Dichtungswerg kann nämlich nicht herausquellen, und die Unreinlichkeiten, welche sich im Wasser vorfinden, setzen sich in demselben fest, wodurch die Dichthaltung der Bekleidung dauernd gefördert wird.

Fig. 117.



Die Bohlen werden sowohl an ihren Enden, als auch auf jedem von ihnen gekreuzten Riegel aufgenagelt, oder an den Enden mit Holzschrauben befestigt, um das Abspalten der Umfangshölzer zu vermeiden.

Umfangshölzer. Aus der notwendigen Dicke der Riegel an ihren Enden und der Dicke der Bohlen ergiebt sich, wie mehrfach erwähnt worden, die Dicke der Umfangshölzer, welche zweckmäfsigerweise für alle gleich genommen wird. Es kommt zwar vor, dafs die Schlagsäule dünner als die Wendesäule gemacht wird, doch hat dieses bei der gleichen Anstrengung der Riegel an beiden Enden wenig Sinn, weil alsdann auch diese Enden verschieden dick sein müfsten. Es ist ferner bereits erwähnt, dafs die Umfangshölzer wegen der verschiedenen Zapfen u. s. w. breiter als dick zu nehmen seien und mag dafür im allgemeinen ein Verhältnis wie 5:4, bei der Wendesäule besser wie $5\frac{1}{2}$ bis 6:4 gelten. Die Verbindung zwischen den Rahmhölzern mit der Wende- und Schlagsäule erfolgt mit Rücksicht auf die Wirkung der Strebe und des Zugbandes, sowie der sonstigen Eisenbeschläge am besten so, wie die Figuren 110 und 112 zeigen, also mit Versatz und geeckselten Zapfen, wobei aber die Versatze der Thorfläche zugekehrt sein müssen. Die Tiefe der Versatze beträgt etwa $\frac{1}{5}$ bis $\frac{1}{6}$ der Breite der Umfangshölzer.

Die Schlagsäulen müssen etwas länger sein als das Thor hoch ist. Auch bei der Wendesäule ist dies oben zur Sicherung der Verzapfung zu empfehlen, unter Umständen

[57]) Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 179.

des Halszapfens wegen sogar nötig (s. § 20), während unten keine Mehrlänge erforderlich ist, diese im Gegenteile nur die Konstruktion der Pfanne und des Schuhes erschweren würde. Die Schlagsäule wird dagegen an beiden Enden eine gewisse Verlängerung besitzen müssen, weil sonst die Verbindung mit den Rahmstücken mangelhaft ausfallen würde, wenn man nicht etwa auch hier einen eisernen Schuh anbrächte. Die Verlängerung am oberen Ende dient mitunter auch zur Befestigung der Bewegungsvorrichtung.

Endlich sind die Schlagsäulen noch, wie die verschiedenen Beispiele zeigen, nach der oberen oder Aufsenseite des Thores hin an den beiderseitigen Berührungsflächen auf etwa $^1/_4$ der ganzen Dicke abzuschrägen, damit nicht etwa bei heftigem Zusammenschlagen der beiden Flügel hier ein Abspringen der spitzwinkeligen Kante erfolge. Dafs dieses bei Fig. 122 unterlassen wurde, ist keineswegs zu billigen. Über die Anbringung von Thorschützen siehe § 23.

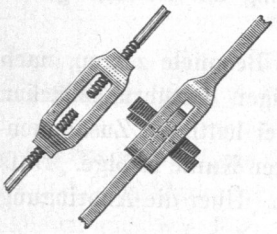
Beschläge und Zugstangen. Die Eisenbeschläge des Thores, als Bügel, Schienen u. s. w. dienen nebst den Zugstangen dazu, die nur einen geringen Zusammenhalt des ganzen Flügels gewährenden Holzverbindungen zu verstärken. Ohne sie würden die letzteren nicht im stande sein, das Versacken und Auseinanderfallen des Thores zu verhindern. Die Riegelzapfen z. B. dienen nur dazu, die Riegel bei ihrer Biegung an den Enden festzuhalten, im übrigen halten nur die Nägel in den Bekleidungsbohlen das Ganze, aber ungenügend, zusammen.

Gegen jene Versackung haben nun besonders die Zugstangen zu wirken. Ihre Berechnung erfolgt nach § 16 mit reichlicher Sicherheit, wenn man den ganzen Thorflügel sich denkt, als ob er von der Wendesäule absacken wollte. Die dabei berechnete Stärke wird selbst bei grofsen Thoren für die Stangen noch sehr mäfsige Abmessungen ergeben. Es würde nun theoretisch das Richtigste sein, die Zugstange in die Schwerebene des Thorflügels zu legen. Hierzu ist aber eine schräge Durchbohrung aller Riegel, aufserdem eine unbequeme Verbindung oben und unten erforderlich. Es ist daher diese zuweilen gebrauchte Anordnung nicht zu empfehlen, schon allein wegen der in den Bohrlöchern der Riegel sich einschleichenden Fäulnis. Die Zugstange nur auf eine Seite zu legen, ist unkonstruktiv, weil an den Befestigungsstellen die Zugkräfte mit etwa der halben Thordicke gleichen Hebelarmen auf Verbiegung der Bolzen wirken. Es bleibt daher die zweckmäfsigste Lösung, dafs die Zugstange doppelt und zu beiden Seiten des Thores angebracht wird, sodafs die Schwerebene des Thores zwischen beiden liegt. Die Verbindung an der Wendesäule mufs möglichst hoch liegen und ist nach Fig. 149, § 20 durch zwei sich rechtwinkelig kreuzende Bügel geschehen, die jede Bewegung des Aufhängepunktes ausschliefsen. Ist der obere Thorzapfen aus einer gufseisernen Haube gebildet, so kann die Aufhängung hieran geschehen. Der untere Punkt mufs an der Schlagsäule durch Vermittelung eines anderen Beschlagteils befestigt sein, damit ein Spalten der Schlagsäule vermieden wird. Verwerflich ist es, die Zugstange oben ohne weiteres nur mit der Wendesäule zu verbolzen, weil dadurch das Spalten der letzteren fast unvermeidlich wird. Obgleich eine runde Stange gegen Zug etwas haltbarer als eine platte sein dürfte, so ist es wegen des Vortretens vor den Thorflächen zweckmäfsiger, eine platte zu nehmen, deren Augen an den Enden unbedingt etwas stärker sein müssen als der unverarbeitete Querschnitt. Dafs die Bolzen diesem Querschnitt mindestens gleichkommen müssen, sofern sie nicht zweischnittig sind, ist selbstverständlich. Eine Befestigung der Zugstange durch Bolzen an den einzelnen Riegeln ist nicht zu empfehlen. Sie ist bei genügender Befestigung des oberen und unteren Punktes

mindestens unnütz. Dagegen ist es gut, ihre etwaige Durchbiegung durch Stöfse von Schiffen mittels kleiner Krampen zu verhindern, s. Fig. 108 u. 110, S. 197.

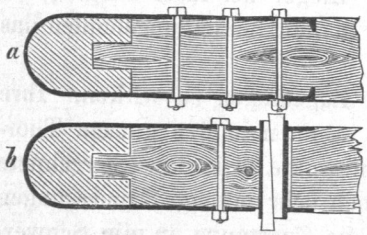
Um den Zugstangen eine angemessene Spannung zu geben, wendet man bei gröfseren und verhältnismäfsig niedrigen Thoren ein sogenanntes Schraubenschlofs oder eine Keilvorrichtung (Fig. 118) an, oder man versieht die oberen Enden der Zugstangen mit Gewinden und Muttern, wenn die Stangen durch an der oben erwähnten Haube angebrachte Büchsen hindurchtreten. Diese Vorrichtungen werden in der Regel nur beim Bau der Thore benutzt, rosten auch leicht so fest, dafs sie später schwer gebraucht werden können.

Fig. 118.



Sodann sind starke eiserne Bügel zunächst um den Rücken der Wendesäule bis soweit auf die Riegel und Rahmhölzer reichend notwendig, dafs mindestens zwei Bolzen durch die horizontalen Hölzer gezogen werden können. Diese zwei Bolzen müssen wieder dem Querschnitt der Bügel entsprechen. Aufserdem kann man, wie bei Fig. 108, S. 197 nach Fig. 119 *a* geschehen, den Bügeln vorn rechtwinkelig gebogene Nasen geben, die nach dem Einlassen und Auftreiben der Bügel zuerst eingeschlagen werden und durch geringe Schräge der Nasen den Bügel stark anziehen. Diese Anordnung ist einfacher als die Anbringung von Keilen durch den ganzen Riegel hindurch, Fig. 119 *b*. Die Bügel der Rahmhölzer sind stärker als die der Riegel. Um die Schlagsäule durchweg Bügel zu legen, würde zu unbequem sein. In Fig. 108 ist nur oben ein solcher angewandt, unten dagegen mit Rücksicht auf die Zugstange eine Winkelschiene; für die einzelnen Riegel aber sind sogenannte Krückeisen oder T-förmige Schienen angebracht und zwar ebenfalls mit Nasen. Diese Schienen haben nicht so viel zu halten wie die Bügel an den Wendesäulen, sind indessen bei gleicher Schwere auch nicht so wirksam wie jene. Es ist fehlerhaft, in dem Riegel nur einen Bolzen, in der Schlagsäule dagegen zwei oder drei anzubringen, während augenscheinlich auf beiden Seiten der Holzfuge gleicher Widerstand gegen Trennung sein mufs. Bei allen diesen Beschlagteilen ist endlich auf sparsame, aber gleichmäfsige Verwendung des Materials zu sehen, sodafs nicht irgendwo ein unnützes Übermafs, vorzüglich aber keine zu schwache Stelle vorkommt. An allen Schweifsstellen mufs eine gewisse Verstärkung wegen etwaiger nicht zu entdeckender Arbeitsfehler gegeben werden. Der Beschlag Fig. 125, S. 204 ist bei dichtliegenden Riegeln sehr zweckmäfsig, und bei guter Schmiedearbeit ist auch die in diesem Falle gewählte Form der Schienen an den Bolzenlöchern zu empfehlen, weil keine Schwächung der Schiene eintritt.

Fig. 119.



Die Beschläge werden fast stets so in das Holz eingelassen, dafs sie bündig mit dessen Oberfläche liegen. Zu ihrer Befestigung sind Schraubbolzen am geeignetsten, weil am festesten anzuziehen und am leichtesten zu lösen. Die Köpfe sowie die Muttern können viereckig sein, um sie gut halten und drehen zu können, die überstehenden Schraubenenden müssen genau abgearbeitet werden. Alles Eisen zu den Beschlägen mufs vor der Aufbringung sorgfältig von etwaigen Roststellen gereinigt und in mäfsig erwärmtem Zustande mit heifsem Steinkohlenteer angestrichen werden. Das fertige Thor dagegen wird an allen Holzteilen zweimal mit gutem Holzteer gestrichen.

Abweichende Konstruktionen. Einige von der gewöhnlichen Art der Holzthore abweichende Konstruktionen mögen noch kurz besprochen werden. Auf die Befestigung der Riegel nach Fig. 121 ist bereits aufmerksam gemacht; dieselbe sucht die unvermeidlichen Nachteile der Zapfen zu umgehen. Für breite Thore und starken Wasserdruck würde jedoch statt der Anbringung zweier Kniee ein Schuh für das Riegelende vorzuziehen sein, weil die Kniee eine geringe Bewegung des Riegels an seinen Enden nicht verhindern können. Die Überhöhung dieses Thores ist nur zur Anbringung eines Drehbaumes geschehen. Es kommt etwas ähnliches jedoch auch dann vor, wenn ein Thor wegen des zu haltenden Wassers eine geringere Höhe zu besitzen braucht, als die Seitenwände an der betreffenden Stelle haben. Alsdann giebt man dem Gerippe des Thores die dem Mauerwerk entsprechende Höhe, läfst die Bekleidung jedoch nur bis zur notwendigen Wasserhöhe reichen.

Das in Fig. 123 u. 124 dargestellte Thor eines Unterhauptes der Schleusen des Rhein-Marne-Kanals hat zur kräftigen Verbindung der Riegel mit den beiden Säulen aufser den nicht gerade zweckmäfsig geformten Krückeisen zwischen je zwei Riegeln einen durch die ganze Breite des Thorflügels reichenden Schraubenanker. Diese Anker liegen in der halben Dicke des Thorflügels und gehen zwischen den beiden Teilen der zweiteiligen Strebe hindurch. Bei der Schützöffnung ist die betreffende Ankerstange nicht einheitlich durchgeführt, sondern sie verbindet, aus zwei Stücken bestehend, nur die beiden Säulen mit den Schützständern. Die Zugstange ist doppelt und hat auf der Unterseite des Thores eine Unterlage von Holz, welche jedoch nur scheinbar die Riegel durchschneidet, vielmehr selbst gröfstenteils ausgeschnitten ist.

Für den Oder-Spree-Kanal sind Holzthore mit einer im Querschnitt rechteckigen und mit Stützwinkeln ausgestatteten Wendesäule ausgeführt. Bei dieser Anordnung umgeht man die Schwierigkeiten, welche die Beschaffung der Wendesäulen selbst für Thore von mittlerer Gröfse heutzutage hat.

Fig. 120 bis 122.

Schleusen des Kanals St. Quentin. M. 0,0125.

Fig. 120. Schnitt *G H.* Fig. 121. Ansicht der Unterwasserseite.

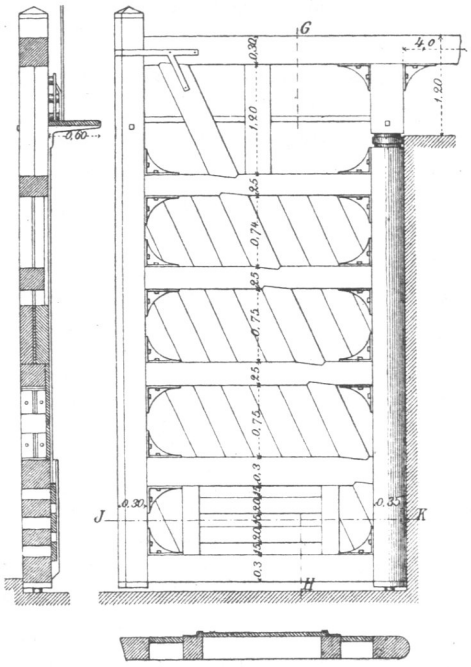
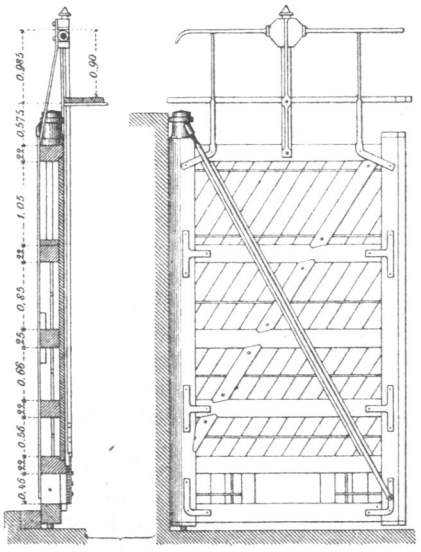


Fig 122. Schnitt *J K.*

Fig. 123 u. 124.

Schleusen des Rhein-Marne-Kanals. M. 0,01.

Fig. 123. Vertikalschnitt. Fig. 124. Ansicht der Unterwasserseite.



In England findet man nicht selten Thore mit vertikaler Bebohlung, somit ohne Streben. Es ist nicht zu verkennen, dafs diese Lage der Bohlen erhebliche Vorteile hat und dafs zwei starke und gut befestigte Zugbänder als ein genügender Ersatz für die Streben und für die schräge Lage der Bohlen gelten können.

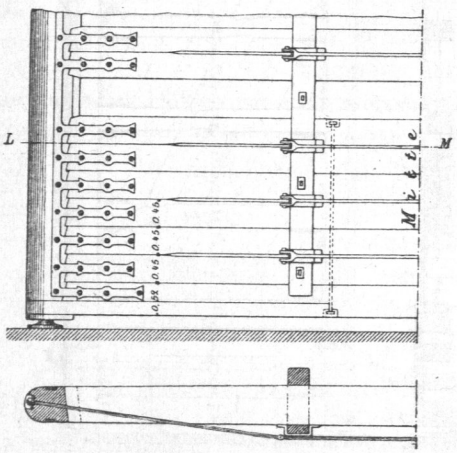
Das nur zum Teil dargestellte Thor der 21 m weiten, im Jahre 1853 erbauten Schleuse zu Great-Grimsby (Fig. 125 u. 126) ist auf einer ganz anderen Grundlage konstruiert, als die bisher betrachteten Holzthore. Man hat davon abgesehen, dafs sich das Thor selbst frei tragen solle, deshalb keine Verstrebung oder Zugband angewandt, sondern nur das Thor gegen den Wasserdruck sehr stark gemacht und die Gefahr des Versackens durch Anbringung von Laufrollen (s. § 20) in der Nähe der Schlagsäulen aufgehoben. Dabei ist der untere Teil etwa in $^1/_3$ der ganzen Höhe des Thores aus sieben durch vertikale Bolzen, sowie durch die äufseren Beschläge fest verbundenen, starken Hölzern ohne Bohlenbelag hergestellt, während nur in den nach oben hin wachsenden Zwischenräumen zwischen den oberen Riegeln kleine vertikale Bohlen mittels Falzen in den Riegeln angebracht sind. Zu beiden Seiten des Thores liegen zwei vertikale Hölzer, wovon die auf der unteren Seite des Thores liegenden aufserdem den Zweck haben, die Spannung in den zur Verstärkung der Riegel gegen Durchbiegung dienenden Zugstangen zu sichern. Näheres s. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover, Bd. I.

Fig. 125 u. 126.

Dockschleuse zu Great-Grimsby (20,5 m weit).

Unterer Teil. M. 0,008.

Ansicht der Unterwasserseite und Schnitt *L M* (halb).



Weniger einfach ist das in F. 10, T. VIII in einem Horizontalschnitt gezeichnete Thor einer Schleuse zu Antwerpen (s. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover, Bd. IX) konstruiert. Es sind hier wegen Mangels einer genügenden Steifigkeit gegen Versacken ebenfalls Laufrollen angebracht, aufserdem jedoch auch ein an der unteren Seite liegendes Zugband. Trotzdem die Drempel geradlinig, sind die Thorflügel nach oben hin gekrümmt, jedoch nur um die Riegeldicke in der Mitte zu verstärken. Diese Riegel bestehen aus zwei durch Schrauben verbundenen Hölzern von *yellow pine*, die aufser durch die Wende- und Schlagsäule durch vier Paar von vertikalen Stielen untereinander verbunden werden. An der oberen Seite liegen die vertikalen Bekleidungsbohlen, welche hier aus Kiefernholz genommen sind.[58])

Die in Fig. 221, § 22 dargestellten eichenen Thore der Schleuse im Kanal des Moines am Mississippi bei Koekuk[59]) sind im wesentlichen aus Riegeln konstruiert, welche die Form eines Laves'schen Balkens haben, indem drei senkrechte Zwischenständer die Riegelhälften auseinander halten und durch Schraubbolzen mit diesen verbunden sind. Aufserdem liegt zwischen je zwei Riegeln eine in der Ansicht nicht gezeichnete, geknickte horizontale Spannstange, wovon jede Hälfte ein Schlofs zum Nachziehen hat. Diese Stangen sind am einen Ende an der aus einem starken Holze hergestellten Schlagsäule, am anderen Ende aber an der gufseisernen Wendesäule befestigt, welche die Riegelenden in ihrer Höhlung umfafst. Gegen das Versacken ist jeder Thorflügel durch zwei in der Mittelebene des Flügels liegende Zugstangen geschützt, welche ihre obere Befestigung aber nicht an der Wendesäule, sondern an einer hinter der Wendenische stehenden gufseisernen Säule haben, die wieder durch vier nach verschiedenen Richtungen gehende und am Mauerwerk verankerte Zugstangen gesichert ist. Vermöge dieser Stangen wird das Halsband des oberen Thorzapfens, sowie auch der untere Thorzapfen wesentlich entlastet, vergl. § 20. Die im senkrechten Schnitt der Fig. 221 unten sichtbaren Rollen sind keine Laufrollen, sondern Leitrollen, welche zu der im § 22 beschriebenen hydraulischen Bewegungsvorrichtung gehören. Bedenklich erscheint die Verwendung einer annähernd halbcylindrischen gufseisernen Wendesäule, welche bei jedem Riegel zwar mit zwei Schraubbolzen an ihren Kanten zusammengehalten wird, aber bei zufälligen Erschütterungen des ganzen Flügels oder einer Verbiegung desselben schwerlich genügend widerstandsfähig sein dürfte.

---

[58]) Über grofse hölzerne Thore, sowie über hölzerne Thore mit Riegeln, die durch Eisen verstärkt sind, siehe ferner: Nouv. ann. de la constr. 1874, Bl. 23 u. 57; daselbst 1875, Bl. 45; Zeitschr. f. Bauw. 1877, Bl. 62; Ann. des ponts et chaussées 1878, Bl. 2 u. 4 und Engineer 1873, Febr. u. März.

[59]) Zeitschr. f. Bauw. 1877.

Wohl das gröfste Holzthor ist das im Grundrisse in F. 12, T. VIII dargestellte, etwa im Jahre 1866 erbaute Thor einer 30,5 m weiten Schleuse in Havre. Zur Ergänzung einer anderen Ansicht oder eines Vertikalschnitts mögen folgende Angaben dienen. Die Höhe von der Laufbrücke bis zur Unterkante ist 11,8 m, wobei jedoch die erstere 2 m hoch über dem festen, dichten Teile des Thores liegt. Dieser obere Zwischenraum kann bei höheren Fluten durch leichte Tafeln, die sich gegen eiserne Rahmen legen, abgedichtet werden, welche Anordnung der Gewichtsverhältnisse wegen getroffen wurde. Der unterste Teil des Thores in 5,4 m Höhe besteht ganz aus dicht aneinander schliefsenden Hölzern, deren Lage aus der genannten Figur erkennbar ist, wenn hinzugefügt wird, dafs die im Innern zwischen den riegelartigen Teilen angedeuteten Hölzer durch die ganze Höhe des Thores reichende, unmittelbar nebeneinander stehende Vertikalständer sind. Über jenem unteren Teile liegen die Thorschützen, worauf wieder ein 0,9 m hoher Teil mit drei riegelartigen Horizontalschichten folgt, während nach einem gröfseren Zwischenraum von 4,9 m in der obersten Höhe nur noch ein ähnlicher 0,6 m hoher Riegel liegt. Sämtliche durch die ganze Breite eines Flügels reichenden Horizontalhölzer haben eine Höhe von rund 0,3 m, sie bestehen aus ostseeischer Kiefer und sind an den Enden mit einfachen Verzahnungen zusammengefügt, sodafs infolge verschiedener Stärke der Vertikalhölzer bei geradliniger Innenseite eine Krümmung der äufsersten Hölzer entsteht, welche für das geschlossene Thor einen einheitlichen Kreisbogen von 32,6 m Radius ergiebt. Diese sämtlichen horizontalen und vertikalen Hölzer sind durch zahlreiche, durch die ganze Dicke und Höhe des Thores reichende Schraubbolzen zu einer einzigen Tafel zusammengeschraubt und an den beiden vertikalen Enden mit einer starken eichenen Wende- bezw. Schlagsäule verbunden. Das Gewicht jedes Thorflügels kann durch zwei breite und 0,45 m Durchmesser haltende Laufrollen aufgehoben werden, welche unmittelbar auf den Thorkammerboden laufen. Die eine derselben liegt auf der halben Länge des Flügels, die andere an der Schlagsäule. Die Rollen werden nach Belieben von der Laufbrücke durch Schrauben gehoben oder gesenkt. Endlich besitzen diese Thore noch die bei französischen Dockschleusen nicht selten angebrachten Gegenthore, welche bei stürmischem Wetter und annähernd gleichem Aufsen- und Innenwasserstande das Auf- und Zuschlagen der Hauptthore verhindern, s. § 15, S. 172. Ein einziger Flügel des beschriebenen Thores hat gekostet an Holz 51000 M., an Eisen, Bronze und sonstiger Metallarbeit der Hauptverbindungen 62000 M., an Maschinen zum Bewegen, Anstrich, Kalfatern und Benageln der Aufsenseite gegen Seewurm u. s. w. 24000 M., für Bearbeitung und Aufstellung jedes Flügels etwa 23000 M., zusammen rund 160000 M. Dazu kommt noch für jeden Flügel eines Gegenthores 12000 M. Bei der Vergänglichkeit des verwendeten Holzes und diesen bedeutenden Kosten mufs eine ähnliche Konstruktion, und zwar namentlich im Vergleich zu den weiter unten zu beschreibenden Eisenkonstruktionen, als unzweckmäfsig bezeichnet werden. Näheres siehe Engineer 1873, Febr.

Wesentlich besser, obwohl auch den neueren Eisenkonstruktionen nachstehend, ist endlich noch die in F. 7—9, T. VIII dargestellte Konstruktion der Thore an den im Jahre 1857 erbauten Kanada-Docks in Birkenhead bei Liverpool. Die Weite der Schleuse beträgt ebenfalls 30,5 m, zwischen zwei hintereinander liegenden Thoren befindet sich eine 150 m lange Kammer. Jedes Thor bildet eine cylindrische Aufsenfläche, wobei jedoch auch die Innenseite eine Krümmung erhalten hat, sodafs ein nahezu gleichmäfsiger Druck in den Riegeln bei geschlossenem Thore entsteht. Die Thore sind dabei von dem vorzüglich starken und dauerhaften Greenheart-Holze gezimmert, welches freilich die Verwendung von vorzugsweise kurzen Stücken bedingte. Demzufolge bestehen die einzelnen Riegel, welche nach unten an Höhe zunehmen, aus vier einzelnen Längen zweifach nebeneinander liegender, kürzerer Hölzer, die sich gegen die Wende- und Schlagsäule, sowie gegen drei vertikale Mittelständer stemmen. Diese letzteren sind wiederum aus vier einzelnen, miteinander verzahnten Hölzern zusammengesetzt und teilen gewissermafsen den ganzen Flügel in vier Teile. An der Innenseite werden diese einzelnen Teile an jedem Riegel durch ein einheitlich hindurchgehendes, an den Enden schlank auslaufendes Holz verbunden. Zahlreiche Schraubbolzen und Schienen sichern endlich den Zusammenhang aller Hölzer. An der Aufsenseite liegt zwischen den einzelnen Riegeln in Falzen eine nur 0,052 m dicke Bekleidung von vertikalen Bohlen. Gegen Versackung ist jeder Flügel durch zwei 0,3 m breite Laufrollen geschützt, welche jedoch einen verschiedenen Durchmesser von bezw. 0,97 und 0,63 m besitzen, je nachdem sie der Wendesäule entfernter oder näher liegen. Die 0,3 m breiten Laufschienen sind eigentümlich geformt, um die Ablagerung des Sandes auf ihnen unschädlich zu machen; sie enthalten eine Anzahl Öffnungen in ihrer Oberfläche, durch welche der Sand in den unteren Raum ausweichen kann. Das Geländer der Laufbrücke besteht aus schmiedeeisernen Pfosten, welche nach Belieben beseitigt werden können, und eingehängten Ketten. Man vergleiche Engineer 1873, März.

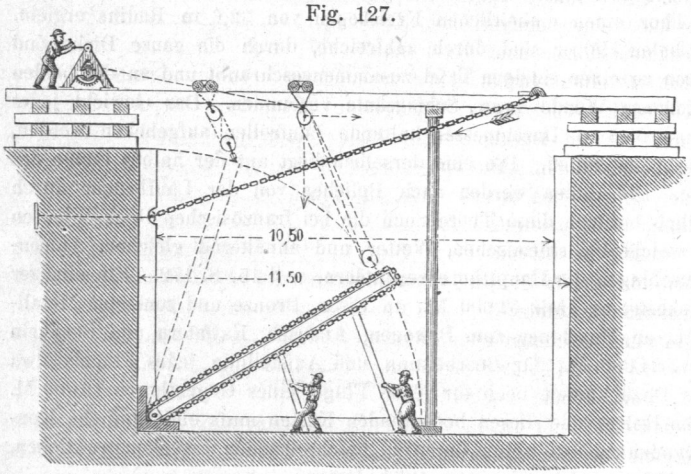
Eine abweichende, sehr einfache Bauweise zeigen vielfach die Schleusenthore der Binnenschiffahrts-Kanäle in Norwegen, die aber nur Anwendung finden kann, wo das Holz so wenig Wert wie dort hat.

Dort macht man dieselben häufig ohne Wende- und Schlagsäule aus wagerecht übereinander geschichteten Stämmen nur wenig bearbeiteter Rundhölzer, deren Stärke dem gröfseren Wasserdruck entsprechend nach unten zunimmt. Zusammengehalten werden dieselben durch darüber senkrecht verbolzte Halbhölzer und eiserne Zuganker, die von unten nach oben bezw. diagonal durchgehen. Die Wendenische dieser Thore besteht, auch wenn die Schleusen in Fels eingehauen sind, aus Holz und ist cylindrisch, ebenso der Drempel.[60])

Die neuesten grofsen Schleusenthore aus Holz sind diejenigen des Manchester-Seekanals, dieselben sind aber nicht mehr zeitgemäfs; auf die Einzelheiten soll deshalb nicht eingegangen werden.

Einhängen und Gangbarmachen der Holzthore. Schliefslich möge noch das Verfahren des Einhängens und Gangbarmachens der Holzthore kurz beschrieben werden. Die einzelnen Thorflügel müssen frühzeitig neben der Ausführung des eigentlichen Schleusenkörpers in Angriff genommen werden, damit sie mit aller Sorgfalt bearbeitet und sofort nach genügender Aufführung der Seitenwände eingehängt werden können. Es ist daher meistens notwendig, sie auf einem besonderen Platze neben der Baugrube zu bearbeiten und endlich auf einer geneigten Bahn mittels Walzen oder auf sonst geeignete, aber den Thoren unschädliche Weise auf den betreffenden Thorkammerboden zu bringen. Die weitere Aufstellung geschieht zweckmäfsig nach Fig. 127, welche die Einhängung der Papenburger Thore darstellt. Es ist dabei quer über der Thorkammer aus vier starken Bäumen eine Art Brücke gelegt, welche in genügender Höhe lag, dabei durch Ständer unterstützt, sowie durch zwei Ketten gegen den schrägen Zug der drei Flaschenzüge gesichert war. Die Flaschenzüge hingen an verschiebbaren Querhölzern und wurden mittels dreier Winden durch im ganzen sechs Arbeiter bedient. Für jeden Flaschenzug war zum unschädlichen Angriff eine Kette um den ganzen Thorflügel der Höhe nach geschlungen und festgespannt. Zu aller Sicherheit wurden von einigen Zimmerarbeitern fortwährend Steifhölzer nachgeschoben. Durch Futterhölzer wurden die Enden der Wende- und Schlagsäule von der Mauer entfernt gehalten und jede Beschädigung daselbst vermieden. In einem Tage konnte je ein Thorflügel aufgestellt und eingehängt werden.

Fig. 127.



Sobald die zusammengehörenden Flügel eingehängt und die Halseisen durch geeignete Vorrichtungen (vergl. § 20) und nach mehrfachem Hin- und Herbewegen der Flügel um den ganzen Drehwinkel genau eingestellt sind, wird das Thor geschlossen. Die Breite der Schlagsäulen ist absichtlich etwas zu grofs gelassen, um jedenfalls einen sicheren Schlufs zu erreichen. Es werden nun mit Vorsicht die Berührungsflächen derselben nachgearbeitet und zwar endlich meistens mit Hilfe eines feinen von oben nach unten geführten Sägenschnittes zwischen den beiden fest zusammengehaltenen Flügeln. Man darf erwarten, dafs ein so zusammengedichtetes Thor vollständig dicht schliefst.

[60]) Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 276.

§ 19. Konstruktion der eisernen Stemmthore. Nachdem in § 16 das Wichtigste aus der Theorie der Stemmthore mitgeteilt und in § 17 gezeigt wurde, wie die allgemeine Gestaltung der Thore in allmählicher Entwickelung den theoretischen Anforderungen gerecht zu werden sucht, erübrigt es noch, einige Ausführungen, jedoch unter Beschränkung auf die aus Walzeisen zusammengesetzten neueren Thore, in Bezug auf Einzelheiten näher zu besprechen. Zuvor mögen aber einige allgemeine Konstruktionsgrundsätze erörtert werden.

Kleinere Eisenthore findet man fast ausnahmslos nur auf einer Seite mit einer dichten Haut (Eisen oder Holz) bekleidet. Die ganze Last des Thores wirkt dabei auf Zapfen und Halsband. Bei zunehmender Schleusenweite ist es aber zweckmäfsiger, sogenannte Schwimmthore anzuwenden, d. h. die Thore beiderseits mit einer Haut auszurüsten und den so als Hohlkörper gebildeten Thorflügel teilweise wasserfrei zu halten, sodafs er ganz oder teilweise schwimmt. Für Schleusen von mehr als 14 m Weite ist diese Anordnung, die den Thoren auch eine grofse Steifigkeit verleiht, jedenfalls vorzuziehen.

Um bei hohen Wasserständen den Auftrieb der Schwimmthore nicht zu grofs werden zu lassen, kann man entweder die Anordnung treffen, dafs man zwar die Thore durchweg mit doppelter Haut versieht, aber nur einen unter dem niedrigsten Wasserstande liegenden Teil dauernd vom Wasser abschliefst und als Schwimmkasten benutzt, während in den übrigen Teil des Thores das Wasser durch Öffnungen in der Haut der einen Seite frei ein- und austreten kann, oder dafs man nur dem Schwimmkasten doppelte, dem übrigen Thorkörper nur einfache Haut giebt. Erstere Anordnung hat den Vorteil, dafs das Wasser, wenn die Öffnungen in der Haut geschlossen sind, aus dem ganzen Thor entfernt und dieses bei höheren Wasserständen selbständig schwimmend bequem fortbewegt werden kann. Die Anordnung nur einer Haut für den oberen Teil dagegen erleichtert die Zugänglichkeit für denselben und ist auch billiger.

Der schlimmste Feind der Eisenthore ist das Rosten. Dasselbe kann zwar, soweit die Thore über dem Wasser liegen oder etwa von innen zugänglich sind, durch Erneuerung des Anstrichs verhindert werden; für die wegen des Wassers nicht zugänglichen Teile müssen entweder die Thore zeitweilig trockengelegt oder aus dem Wasser gehoben werden, oder man ist auf die Dauerhaftigkeit des ursprünglichen Anstrichs allein angewiesen. Wenn auch im allgemeinen die bekannten Eisenanstriche, insbesondere Eisenmennige, als erster Überzug des Eisens zu empfehlen sind, namentlich dann, wenn das Eisen in einzelnen Teilen von der Fabrik zum Bauplatze geliefert wird, so empfiehlt sich als späterer Überzug im ganzen vorzugsweise Steinkohlenteer und zwar mehr als Ölfarbe, weil diese nicht so fest haftet und leichter durch Feuchtigkeit während des Anstrichs beschädigt wird. Bleimennige kann über Wasser gebraucht werden, im Innern von Schwimmthoren würde dagegen die Ausdünstung des Bleioxyds dem Eisen schaden, s. auch § 27. Man kann jedoch noch durch Anbringung von Zinkstreifen, welche bei ihrer Berührung mit Eisen und Wasser stets zuerst und sehr rasch oxydieren, das Eisen in hohem Grade vor Rosten schützen. Eichenholz soll durch seine Gerbsäure das Eisen angreifen, während Teak- und Greenheart-Holz wegen ihres öligen Saftes dies nicht thun.

Nach Mitteilungen von Rudloff hat man in Bremerhaven beobachtet, dafs alle vorstehenden Eisenkanten, auf denen sich Schlick ablagern kann, somit namentlich die oberen Teile der Nietköpfe, besonders vom Roste zu leiden haben. Es ist daher bei Thoren in schlickreichem Wasser zweckmäfsig, die horizontalen Blechnähte möglichst so anzuordnen, dafs das obere Blech das darunter liegende überdeckt, wie Fig. 128 zeigt. Um jene Beschädigung der Nietköpfe zu vermeiden, kann man dieselben versenken,

Fig. 128.



sodafs die Aufsenfläche der Thore wie bei den Schiffen eine ganz glatte wird.

In Frankreich hat man in neuerer Zeit vielfach die Eisenteile der Thore zum Schutze gegen Rost galvanisch mit Zink überzogen. Beim Bau der Thore für die Schleuse der transatlantischen Schiffahrt zu Havre wurde hierfür an Ort und Stelle eine besondere Anstalt eingerichtet, welche im stande war, Stücke bis zu 11 m Länge zu verzinken.[61]) Die Niete, welche die einzelnen Teile miteinander verbinden, können nun zwar nicht verzinkt werden, man hat aber in Havre die Beobachtung gemacht, dafs sich ihre Köpfe in kurzer Zeit infolge galvanischer Einflüsse auf Kosten der benachbarten verzinkten Teile mit einer Zinkhaut überziehen, sodafs die Verzinkung eine vollständige wird. Der Vorsicht halber hat man dort die Haut des Thores über der Verzinkung noch mit einem zweimaligen Anstrich von Zinkfarbe versehen.

Es mögen nun die einzelnen Konstruktionsarten an geeigneten Beispielen näher betrachtet werden.

Fig. 129 bis 133. *Schleuse bei Charenton (7,80 m weit).* M. 0,011.

Fig. 131. Schnitt *A B.* Fig. 129. Ansicht der Oberwasserseite. Fig. 130. Ansicht der Unterwasserseite.

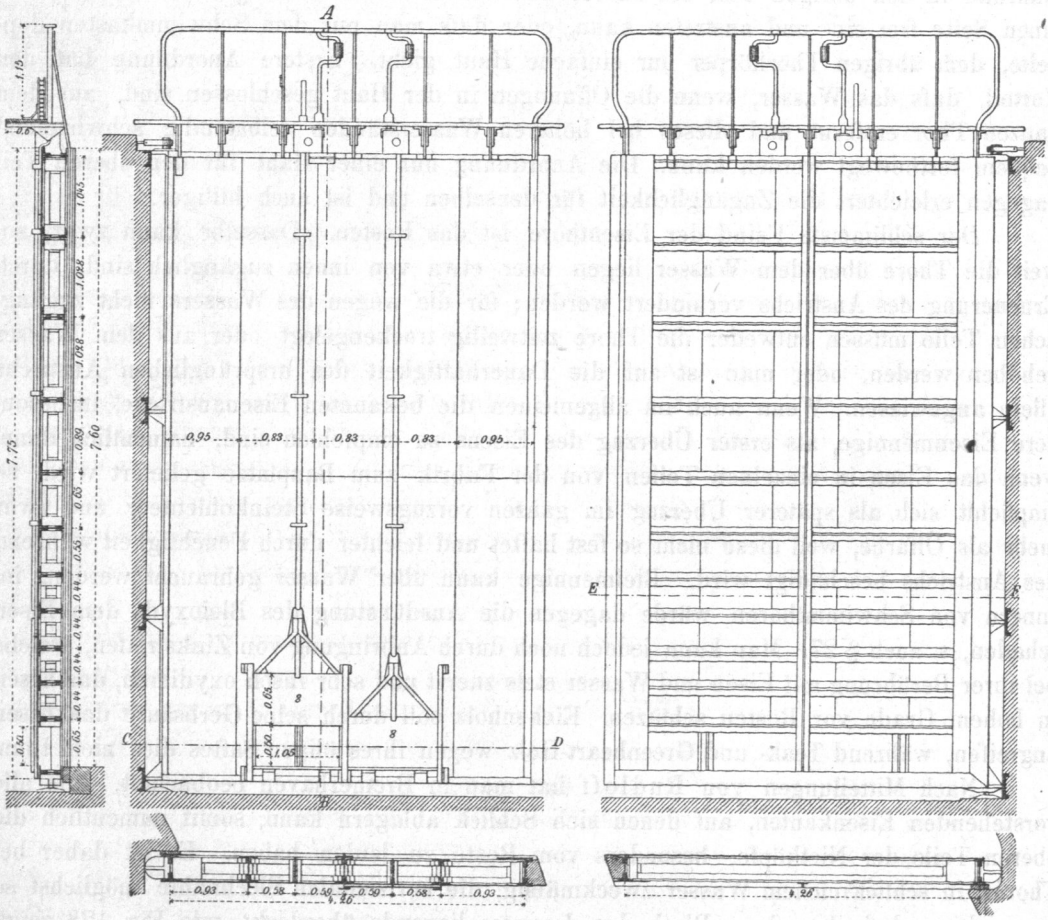


Fig. 132. Schnitt *C D.* Fig. 133. Schnitt *E F.*

[61]) Ann. des ponts et chaussées 1887, II, S. 411 u. f.

Gerade Thore mit einfacher Haut. In den Figuren 129 bis 133 (S. 208) ist ein Thorflügel der Schleuse zu Charenton im Kanal St. Maurice dargestellt, welche im Jahre 1863/64 gebaut ist.[62]) Nach diesem Vorbilde sind in Frankreich, Belgien und Deutschland eiserne Thore konstruiert, die nur wenig von den hier dargestellten abweichen. Der Thorflügel ist in ähnlicher Weise wie der eines Holzthores aus dem Umfangsrahmen und Zwischenriegeln zusammengesetzt und mit vertikalen Blechen nur an der oberen Seite bekleidet. Die vertikalen und horizontalen Rahmenstücke, sowie die Riegel besitzen sämtlich die I-Form.

Es war hierfür im Projekte gewalztes Eisen von dieser Form vorgesehen. Wegen verzögerter Lieferung ist statt dessen ein Profil aus einem Mittelblech und vier Winkeleisen hergestellt, wodurch nicht allein die Materialkosten höher wurden, sondern auch die Einfachheit der Konstruktion beeinträchtigt worden ist. Dagegen hat man allerdings leichter eine verschiedene Stärke der Riegel unter Beibehaltung derselben horizontalen Höhe anordnen können, als dies bei gewalzten Profilen möglich ist.

Die Vorzüge jener Eisenform bestehen sowohl in der grofsen Widerstandsfähigkeit gegen Biegung, als auch in dem günstigen Querschnitt bei Zug und Druck in der Längenrichtung des Balkens, sowie nicht minder in der Bequemlichkeit für jede Art von Verbindung untereinander und mit anderen Eisenteilen. Indem sich bei den mäfsigen, für Kanalschleusen überhaupt nur in Frage kommenden Abmessungen das Eisen in dieser Form sehr gut walzen läfst, verdienen die gewalzten Riegel sicher den Vorzug.

Wie die Einzelheiten Fig. 134 bis 137 zeigen, wurden die horizontalen Rahmstücke mit der Wende- und Schlagsäule „auf Gehrung“ zusammengeschnitten und mit inneren und äufseren Winkelstücken untereinander verbunden. Diese äufseren Winkelstücke bilden an der Wendesäule zugleich den oberen Zapfen und die untere Pfanne und sind ihrer verschiedenartigen Beanspruchung auf Zug und Druck entsprechend bezw. aus Schmiedeeisen und Gufseisen hergestellt. Demgemäfs ist bei dem Winkel für die Pfanne oder die unteren Zapfen die Verbindung auch mit Schrauben, statt wie am oberen mit Nieten geschehen.

Fig. 134 bis 137. *Schleuse bei Charenton. Einzelheiten.* M. 0,04.

Fig. 134. Halszapfen.

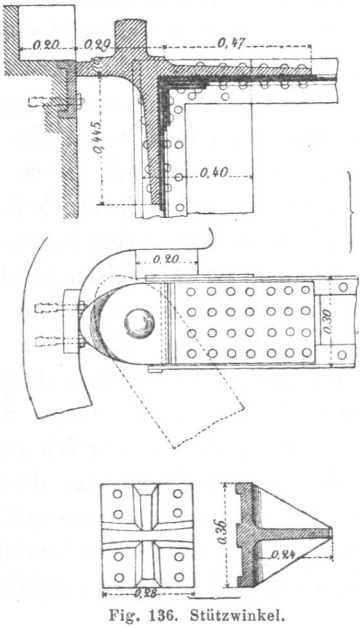


Fig. 135. Spurzapfen und Pfanne.

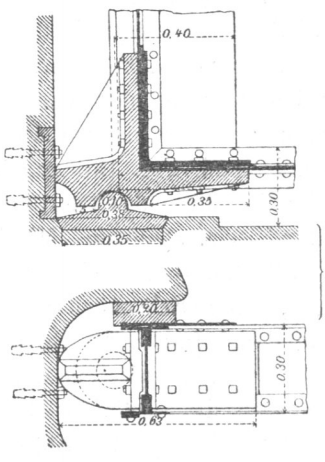


Fig. 136. Stützwinkel.

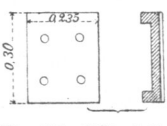


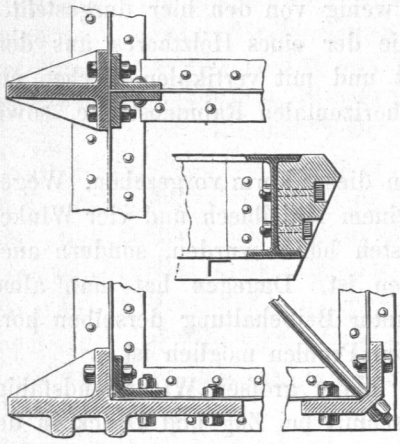
Fig. 137. Stützplatte.

Die Riegel sind an ihren Enden so abgeschnitten, dafs der Steg als Blatt bis an den Steg der Wende- und Schlagsäule reicht, während die Winkeleisen dieser letzteren

[62]) Siehe hierüber Ann. des ponts et chaussées 1865 und 1866, sowie dieselben Mitteilungen auszüglich in der Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1867, S. 404.

ungeschwächt hinabgehen. Nach Fig. 134 und 135 mufsten zwischen den Schenkeln der Winkeleisen sowohl der Riegel als auch der Umfangsstücke Blechplatten eingelegt werden, um eine gute Befestigung zu erreichen. Bei gewalzten I-Eisen würden diese Platten fortfallen, wie die Fig. 138 (Riegelverbindung an den Ihle-Kanal-Schleusen) zeigt. Bei den letzteren Thoren ist aufserdem jeder Riegel mit seinen aufrechtstehenden Schenkeln etwas in die abwärtsgehenden Schenkel der Wende- und Schlagsäule eingelassen, wodurch eine gröfsere Sicherheit gegen Versackung entsteht. Trotzdem ist diesen Thoren noch eine Zugstange zugefügt, welche die Mittelstege der Riegel durchdringt und oben und unten befestigt ist. Es erscheint jedoch bei Kanal-Schleusenthoren von grofser Höhe und geringer Breite und bei der grofsen Steifigkeit, welche die Blechbekleidung ihnen verleiht, diese Zugstange entbehrlich.

Fig. 138.



Bei der Schleuse zu Charenton, wie nicht minder auch bei den nach ihrem Muster später erbauten Schleusen, u. a. auch am Ihle-Kanal, ist zur Verstärkung der Steifigkeit des ganzen Flügels und namentlich der Wendesäule und der Schlagsäule neben den letzteren und an der unteren Seite je eine 0,4 m breite Blechplatte von der doppelten Stärke der 4 mm starken Blechbekleidung angebracht, s. Fig. 134 u. 135. Endlich dient ein in der Mitte der Riegel an derselben Seite des Thores befestigtes Winkeleisen noch zur Verbindung der Riegel untereinander.

Während die Entfernung der Riegel voneinander der Zunahme des Wasserdrucks ziemlich genau entspricht und nur der unterste wegen der Schützenöffnungen eine gröfsere Entfernung von dem Unterrahmstück zeigt, auch demgemäfs stärker konstruiert ist, sind zur Übertragung des Thordrucks auf die Wendenische aufser den mit dem oberen Zapfen und der unteren Pfanne verbundenen Stützwinkeln nur noch zwei zwischenliegende nach Fig. 136 angebracht, welche sich mit ihrem abgerundeten Teile genau in die Mittellinie des Thorflügels gegen eine etwas hohl gekrümmte Stützplatte (Fig. 137) in der Nische stemmen. Mit Ausnahme des am oberen Zapfen befindlichen Stützwinkels sind alle übrigen, sowie die Stützplatten, aus Gufseisen gebildet und, wie die Figuren zeigen, durch Schrauben mit der Wendesäule bezw. der sehr vereinfachten Wendenische verbunden. Indem die Schleusenthore zu Zeiten etwa 4 m Wasserdruck zu ertragen haben, erscheint diese sparsame Anbringung von Stützpunkten etwas dürftig, sowohl in Bezug auf die Festigkeit der Eisenteile als auf die gegen das Mauerwerk hinter den Stützplatten gerichteten Stöfse bei dem Schliefsen der Thore, wodurch ein Losrütteln der Platten nicht unmöglich sein dürfte. Im Gegensatze dazu sind bei den Schleusen des Ihle-Kanals hinter jedem der zum grofsen Teile nur 0,63 m voneinander entfernten Riegel solche Stützwinkel und Platten angebracht, was hinsichtlich der Sicherheit wohl etwas übertrieben scheint und die Kosten dieser sehr sorgfältig anzubringenden Stücke unnötig vergröfsert.

Der grofse Zwischenraum zwischen der eigentlichen Wendesäule und der Wendenische (Fig. 134), welcher mit Rücksicht auf die Konstruktion wohl hätte kleiner sein können, dient unter anderem dazu, dafs das Wasser beim Eindrehen der Thorflügel in die Thornische aus dieser leichter entweichen kann, als dies bei allen Thorflügeln mit

voller Wendesäule der Fall ist. Derselbe entspringt aber hauptsächlich aus der Lage, welche für die Drehaxe gewählt ist, vergl. § 20. Der weiche Anschlag, sowie der wasserdichte Anschluſs der Thorflügel an Wendenischen, Drempel und zwischen den beiden Schlagsäulen ist durch angeschraubte Hölzer erreicht. Die Köpfe der Schraubenbolzen sind nach Fig. 138 in das Holz versenkt, die Muttern sind an der Innenseite der betreffenden Eisenteile angebracht. Zwischen Holz und Eisen sind auſserdem zur gröſseren Dichtigkeit noch geteerte Filzstreifen gelegt. Die Thore haben rund 144 M. f. d. qm gekostet.

Das auf T. VIII, F. 13—15 dargestellte Thor der Schleuse zu Ablon, dessen theoretische Grundlage im § 16 und 17 besprochen worden ist, bietet eine eigentümliche Konstruktion. Jeder Flügel besitzt 6,83 m Länge und 5,05 m Höhe. Das Gerippe besteht im wesentlichen aus den vier Hauptrahmenstücken von I-förmigem Querschnitt, einem Mittelständer und einem einzigen Mittelriegel. Das obere Rahmstück ist zunächst berechnet wie der Schluſsbaum eines Nadelwehres, gegen welches sich die einzelnen Nadeln stützen. Die Berechnung für den mittleren Zwischenständer ergiebt, daſs dieser im ungünstigsten Falle einen Angriff von derselben Gröſse wie das obere Rahmstück zu tragen hat. Es kann nämlich die Mitte dieses Ständers als der Stützpunkt von vier Dreiecken angesehen werden, welche je ihre Basis an den vier Hauptrahmstücken haben. Der Zwischenriegel legt sich demgemäſs in zwei Teilen je an den Zwischenständer und an die Hauptständer. Die Strebe und das doppelte Zugband sollen nur den Rahmen in seiner Form erhalten, namentlich während seines Freihängens. Die sämtlichen Ecken sind durch starke Bleche verbunden, ferner sind (in der Figur nicht sichtbare) Winkellaschen an dem mittleren Knotenpunkt zwischen dem Zwischenständer, dem Mittelriegel und der Strebe angebracht. Für die Schützenöffnungen sind ferner leichte Zwischenständer eingeschaltet. Die Bekleidung besteht aus 0,1 m starken eichenen Bohlen, die mit Schrauben befestigt sind und leicht nach Bedürfnis erneuert werden können. Die Schlagsäule, Wendesäule und das untere Rahmstück, sowie die inneren Seiten der Schützenöffnungen haben hölzerne Futter erhalten, welche jedoch an den unteren Enden der beiden Schlagsäulen wegfallen, sodaſs im geschlossenen Zustande des Thores für die hindurchgehende Kette ein schmaler Schlitz verbleibt. Die Kosten eines ganzen Thores haben 5600 M. betragen oder rund 160 M. für 1 qm. Die an dem Verbindungskanal zwischen der Aisne und Marne nach demselben Prinzip, aber in kleineren Abmessungen von 3,04 m Länge und 5,04 m Höhe konstruierten Thore haben nur 107,2 M. für 1 qm gekostet. Siehe Ann. des ponts et chaussées 1882. Les portes de l'écluse d'Ablon.

Um die Bleche der Haut schwächer machen zu können, hat man in Frankreich bei den Thoren des Unterhauptes einer Schleuse im Canal du centre, welche ein Gefälle von rund 5 m aufweist, Buckelbleche verwendet. Die Thore von 8,018 m Höhe und rund 3 m Länge bestehen aus einem starken eisernen Rahmen mit einem starken Ständer in der Mitte zwischen Schlag- und Wendesäule. Auſserdem sind acht kräftige horizontale Riegel zwischen Wende- und Schlagsäule vorhanden, und zwar in Abständen, die oberhalb des Unterwasserspiegels weiter werden. Die rechteckigen Öffnungen, welche senkrecht durch Wendesäule, Schlagsäule und den Ständer, horizontal durch die Riegel begrenzt werden, sind dann durch Buckelbleche geschlossen. Die Buckelbleche haben danach sämtlich gleiche Länge, aber nach oben wachsende Höhe. Die Wölbung der Bleche beträgt durchweg 70 mm und zwar richtet sich dieselbe gegen das Oberwasser, sodaſs die Bleche auf Druck beansprucht werden. Jedes Thor hat ein Zugschütz von 1,434 m Länge und 0,60 m Höhe. Die Dichtungsleisten sind von Holz. An der Wende-

säule sind sieben dem Drucke entsprechend verteilte gegossene Stemmkörper (Stützwinkel), welche sich gegen ebenfalls gegossene, in die Wendenische eingelassene Platten legen, ähnlich denjenigen der Thore von Ablon (T. VIII, F. 13) und Charenton (Fig. 129, S. 208).[63]) Wellbleche, Buckelbleche oder Tonnenbleche (vergl. S. 188) sind übrigens mit Vorteil nur an solchen Thorteilen anzuwenden, welche nicht zu einem Luftkasten gehören. Für letzteren wendet man der zusammengesetzten Beanspruchung wegen besser gerade Bleche an.

Gekrümmte Thore mit einfacher Haut. Die in F. 1—6, T. IX dargestellte Konstruktion der Thore der Weserschleuse zu Hameln (vergl. Tafel VI) stand eine Zeitlang vereinzelt da. Sie zeichnet sich jedoch durch Einfachheit und Billigkeit aus und erscheint als eine geeignete Zwischenstufe zwischen der Konstruktion mit Riegeln und Bekleidungsblechen und derjenigen gröfserer Schleusen mit doppelten Blechwänden. Es ist nämlich der Hamelner Schleuse mit Rücksicht auf die die Weser befahrenden Raddampfer die sonst bei Flufs- und Kanalschleusen nicht übliche Weite von 11,1 m in der Höhe des gewöhnlichen Sommerwassers gegeben, wobei gerade Riegel schon sehr bedeutende Abmessungen bekommen hätten. Bei dem von Beckering aufgestellten Entwurfe lag die Absicht zu Grunde, die mit einem Radius von 12,92 m gekrümmte einfache Blechwand nicht nur als Bekleidung, sondern auch vorzugsweise zur Aufnahme aller aus dem Wasserdruck von rund 3 m hervorgehenden Horizontalkräfte zu benutzen. Wenn hierzu nach den angestellten und in § 16 angedeuteten Berechnungen eines gekrümmten Thores schon die Blechstärke von 5 mm ausreichend schien und nur eine Beanspruchung von 400 kg auf 1 qcm ergab, so mufste zur Vermeidung jeder Formveränderung die Blechwand dennoch ausgesteift werden. Hierzu wurden in der Höhe jedes horizontalen Blechstreifens zu beiden Seiten des Thorflügels T-Eisen angenietet, die zugleich als Laschen der Bleche dienen. Durch diese riegelartigen Rippen wurde die Sicherheit der Blechwand gegen den tangentialen Horizontaldruck noch reichlich verdoppelt. F. 6 zeigt die Verbindung dieser Rippen mit der Schlagsäule.

Es würde hiermit das Thor gegen den gröfsten Wasserdruck und selbst gegen etwaige Stöfse u. s. w. gesichert erscheinen; nur erforderte die Sicherheit gegen die aus dem Eigengewicht und der Form des Thores hervorgehenden Angriffe noch eine weitere Verstärkung. Wie in § 16 auf S. 185 erwähnt ist, liegt der Schwerpunkt S jedes Flügels aufserhalb der Blechwand; es liegen folglich auch die auf den oberen und unteren Zapfen wirkenden Kräfte $Z = \frac{G\,b - \mathfrak{A}\,c}{h}$ (§ 16, Formel 28) in der durch den Schwerpunkt und die Zapfenmittelpunkte bestimmten Ebene, sodafs der durch die Blechwand gebildete Bogen oben auseinander gezogen, unten aber zusammengedrückt wird. Hiergegen ist er durch segmentförmige Horizontalbleche (s. F. 2—5) oben und unten, sowie aufserdem nochmals in der halben Höhe versteift. Die oberen Bleche dienen aber auch zur Laufbrücke und die unteren zur Anbringung eines Holzfutters für den auf diese Weise geradlinig gewordenen Drempel. Das mittlere Segment gewinnt hauptsächlich seine Bedeutung durch die Verbindung mit zwei vertikalen Blechständern, welche zur Steifigkeit gegen Verbiegung in vertikalem Sinne hinzugefügt wurden. Ein starkes Zugband ist endlich erst nach der Aufstellung der Thore angebracht worden, nachdem sich herausgestellt hatte, dafs die Konstruktion gegen das Versacken doch nicht steif genug war, und dafs eine merkliche Formveränderung stattfand. Diese Zugbänder haben ihren Zweck vollständig erfüllt. Die gröfseren Unter-

[63]) Ann. des ponts et chaussées 1892, II.

thorflügel wiegen etwa je 6000 kg. Nur in diesen sind, wie aus F. 3 und 5 ersichtlich, je zwei Schützenöffnungen zum Entleeren der Schleusenkammer angebracht, während das Füllen derselben durch entsprechende Umläufe geschieht. Mit allen Nebenkosten hat 1 qm der Thorflügel durchschnittlich nur 132 M. gekostet, also 12 M. weniger als bei den sehr viel kleineren Thoren der Schleuse zu Charenton, welche ihrerseits die bis dahin konstruierten eisernen Schleusenthore an Billigkeit weit übertrafen.

Bei dem von Mohr geleiteten Bau des Oder-Spree-Kanals sind die Unterthore der Schleusen im Anschlusse an ein Patent von Offermann teilweise aus schmiedeeisernen Rahmen mit Wellblechüberkleidung hergestellt. Die gekrümmten Wellblechtafeln sind in den schmiedeeisernen Rahmen eingeschoben. Gegen Verbiegungen des Rahmens durch die im Wellblech bei Wasserdruck eintretende Spannung sind Stahlanker (Spannstangen) zwischen den die Wende- und Schlagsäule bildenden Eisenkonstruktionen eingezogen. Zur Herstellung eines wasserdichten Schlusses sind die an Werkstein anschlagenden Thorflächen mit Holz bekleidet. Die auf diese Weise konstruierten Thorflügel der Schleuse zu Wernsdorf sind in den Zeichnungen T. X, F. 4—14 dargestellt. Die in F. 4 abgebrochen gezeichneten ⊏-Eisen tragen Gegengewichte, vergl. § 16. Die Wendesäulen sind Kastenträger, welche sich mit aufgeschraubten stählernen Stützwinkeln bei geschlossenem Thore gegen die Nische stemmen, ähnlich wie bei den Thoren der Charlottenburger Schleuse[64]) und anderen.

Die Anordnung des Rahmens ist die folgende. Zwischen den beiden als Blechträger in I-Form konstruierten Ober- und Untertramen, die als äufsere Begrenzung einen Kreisbogen haben, während die innere geradlinig ist, sind die Wendesäule und die Schlagsäule eingesetzt und bilden mit diesen einen Rahmen, dessen Aussteifung durch drei wagerechte, 1,95 m voneinander entfernte Gurtungen aus je zwei Winkeleisen und durch zwei zwischengelegte Kreuze aus Flacheisen geschieht. Aufserdem sind Wende- und Schlagsäulen durch 15 Spannstangen von 30 bis 45 mm Durchmesser, die im unteren Teile des Thores in 380 mm Entfernung, im oberen dagegen 570 mm von Mitte zu Mitte liegen, verbunden. In senkrechter Richtung sind aufser der Wende- und Schlagsäule noch zwei I-Eisen zur Aussteifung des Thores zwischen Ober- und Untertramen eingezogen, gegen welche die gekrümmten Wellblechtafeln sich legen.

Indem in Betreff auf die weitere Anordnung des Thores auf die bildliche Darstellung verwiesen werden kann, erübrigt noch, die Befestigung bezw. das Einbringen des die Deckung des Thores bildenden Wellbleches näher zu erläutern. Die einzelnen Wellblechtafeln, die nur in einer Höhe von 0,58 m hergestellt werden konnten, sind durch über die Stöfse gelegte und wasserdicht genietete Deckplatten in Form des unteren Teils der Welle zu einem Ganzen verbunden und mit den unteren und oberen Enden der dadurch hergestellten Gesamtplatte an den Unter- und Obertramen angenietet, wie dies F. 14, T. X für den Untertramen zeigt. Die Dichtung und die gleichmäfsige Druckübertragung der Wellenenden auf die Schlag- und Wendesäule ist in folgender Weise bewirkt. Es wurden zunächst nach der Form des Wellblechs in wagerechter Richtung ausgeschnittene Stahlgufsstücke in ungleichschenkliger Winkeleisenform gegossen, die Bleche hierauf eingepafst und zwischen sie und diese Gufsstücke Dichtungsmaterial, bestehend aus in Mennige getränkter Hanfeinlage, eingeschoben. Um die erforderliche Anpressung des Wellblechs in den einzelnen Wellen an diese Gufsstücke und dadurch die erforderliche Dichtigkeit herzustellen, sind passende Gufsstahlstücke von oben auf

[64]) Vergl. Zeitschr. f. Bauw. 1886, Charlottenburger Stauanlage.

die Wellen aufgepafst und mit dem unteren Hauptgufsstück durch eingezogene Schraubenbolzen mit versenkten Köpfen fest verbunden. Hierdurch war also ein in seinem senkrechten Teile vollständig glatter Rahmen, der mit dem Wellblech wasserdicht verbunden ist (vergl. u. a. F. 8 und 14), geschaffen, der seinerseits nur noch wasserdicht in den eigentlichen Thorrahmen eingesetzt zu werden brauchte. Dies geschah dadurch, dafs man in die Flacheisen bezw. U-Eisen an der Wende- und Schlagsäule, in welche obige Begrenzungsrahmen eingreifen, vor Einbringung derselben eine in Mennige getränkte, über die ganze innere Weite dieser Eisen reichende Hanfflechte einlegte, vergl. F. 9 u. 11, T. X. In dieser Weise ist ein vollkommen dichter Anschlufs erzielt. Die Befestigung der Spannstangen an der Wendesäule und der Schlagsäule zeigen die Figuren 8, 10 und 13. Bei der Kanalisierung der oberen Oder ist diese Konstruktion der Schleusenthore in gröfserer Ausdehnung angewendet und durch Vereinfachung mancher Einzelheiten vervollkommnet.

Einer Bemerkung im Centralblatt vom 6. Okt. 1894 zufolge sollen für die Mühlendamm-Schleuse in Berlin Bogenthore mit gedrückten Kreuz-Schrägstäben ausgeführt und sehr beachtenswert sein. Näheres ist bislang nicht bekannt geworden.

Schwimmthore. Zunächst sollen einige Konstruktionen besprochen werden, welche zwar nicht in jeder Beziehung auf der Höhe der Jetztzeit stehen, aber doch beachtenswert sind, und zwar sowohl solche mit ebener, wie solche mit gekrümmter Unterwasserseite. Die erstgenannte Anordnung findet man u. a. bei den Schleusen zu Willemsoord und den Schleusen des Amsterdamer Nordsee-Kanals, die letztgenannte bei den Schleusen zu Geestemünde und Harburg.

Bei einer Dockschleuse zu Willemsoord[65]) am Helder (F. 16—19, T. VIII) zeigen die Thore im Horizontalschnitt die Form eines sogenannten Halbparabelträgers; sie sind namentlich hinsichtlich der Lage der Blechtafeln auf den beiden Seiten beachtenswert. Während nämlich die nach ihrer Lage verschieden starken Bleche auf der Innenseite in ihrer Längsrichtung horizontal liegen, sodafs sie mit ihren Breiten von 0,96 m bei jeder 0,75 m voneinander entfernten Horizontalrippe abwechselnd um etwa 0,2 m sich überdecken, gehen auf der Aufsenseite die Bleche in ihrer Längsrichtung aufwärts und zwar über 4 bis 5 Horizontalrippen hinüber. An der Wendesäule und Schlagsäule liegen die Bleche stumpf gegeneinander und sind nur mit den Schenkeln der innen liegenden Winkeleisen vernietet. Die bei anderen Thoren üblichen äufseren Laschen fallen also hier überall fort. Über dem unteren Thorzapfen befindet sich eine bis an den oberen Zapfen reichende vertikale Querwand, welche in der Drehaxe noch durch zwei Winkeleisen verstärkt ist. Der obere Zapfen liegt mit seinem Halse unter der obersten Fläche des Thores und reicht unterhalb seines Bundes noch durch vier Horizontalwände, welche übrigens nur durch Mannlöcher und durch die Pumpen u. s. w. durchbrochen sind. Der unterste, vier Abteilungen umfassende Raum ist nicht mit Luft, sondern zum Teil mit Wasser gefüllt, während der ganze darüber befindliche Raum in der Regel Luft enthält. Für beide Räume dienen zur etwa nötigen Entleerung von Wasser zwei verschiedene Pumpen, wogegen ebenfalls beide Räume zum Füllen Ventile besitzen, die wie auch die Pumpen von der Laufbrücke aus bedient werden können. An der Schlagsäule befindet sich eine Feststellvorrichtung. Der Anschlag ist an den Kanten der Innenseite von Holz hergestellt. An einer anderen Schleuse zu Willemsoord ist dieser Anschlag noch mit Leder bedeckt. —

Der in F. 7—9, T. IX dargestellte Flutthorflügel der grofsen Schleusen des Amsterdamer Nordsee-Kanals ist der Mitteilung von Wiebe. Zeitschr. f. Bauw. 1872 entnommen, die Zeichnung macht hinsichtlich einiger Einzelheiten, z. B. der Zapfen oben und unten, keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Auch hier ist die äufsere Krümmung nach einem flachen Kreisbogen gebildet, welcher aber nicht für beide Thorflügel kontinuierlich ist. Wie die zum Teil als Vertikalschnitt, zum Teil als äufsere Ansicht dienende F. 7, sowie der Schnitt in F. 9 zeigt, wird jeder Flügel durch eine in der Höhe des normalen Kanalwassers liegende Horizontalwand in zwei Teile getrennt, wovon nur der untere als Schwimmthor gebildet ist, während der obere Teil keinen abgeschlossenen Luftraum besitzt, sondern an seiner Innenseite anstatt einer vollen Blechwand nur das aus F. 7 ersichtliche Gitterwerk hat. Statt der bei den vorher beschriebe-

[65]) Dokwerken te Willemsoord, in Verhandelingen van het kon. Inst. van Ingenieurs 1866—67.

nen Schwimmthoren vorkommenden vollen Horizontalbleche sind hier nur an den Stöfsen der Aufsenbleche schmale Blechstreifen und an den inneren sechs Vertikalversteifungen einzelne kurze horizontale Blechstücke eingelegt, welche letztere nur an den Enden des Flügels oder in der Wende- und Schlagsäule voll durchgehen. Die Vertikalversteifungen, mit Ausnahme an den Enden, wo ebenfalls volle Bleche sich befinden, bestehen nur aus senkrechten Winkeleisen und Eckstücken. Aufserdem liegt noch an den Enden des Flügels in der Mittellinie desselben je eine starke Vertikalrippe. Die Aufsenbleche sind an den Stöfsen innen durch Winkeleisen, aufsen durch breite Laschen zusammengehalten. Der Rücken der Wendesäule wird in ähnlicher Weise wie die Schlagsäule durch ein Holzstück gebildet. Aufserdem liegt zum wasserdichten und weicheren Anschlage der Wendesäule und des Unterrahmstückes noch eine vertikale bezw. horizontale Holzleiste an der inneren Seite des Thores. Die Wendenische ist nur in der Höhe der riegelartigen Horizontalrippen des Thores durch vorspringende Quader gebildet. Zur Unterstützung des geöffneten Thores dienen an den freien Enden senkrechte, durch die ganze Thorhöhe hindurchgehende Schraubenspindeln, welche von oben mit einem Vorgelege gedreht werden können. Jeder Flügel besitzt zur Füllung und Leerung der Kammer zwei Schützen, während Umläufe in den Mauern nicht vorhanden sind. —

Von der 23,35 **m** weiten Hafenschleuse zu Geestemünde, welche in den Jahren 1859 bis 1861 erbaut wurde, ist der Flügel eines Ebbethores in F. 10 bis 19, T. IX dargestellt.[66]) Die mafsgebenden Wasserverhältnisse gehen aus F. 10 bis 15, T. VII und aus dem im § 5 über diese Schleuse Gesagten hervor. Jeder Thorflügel ist innen und aufsen mit seinen beiden cylindrischen Flächen nach gleichen Radien von 17,4 **m** gebildet, wobei die Aufsenfläche beider Flügel eine einheitliche wird, während die innere Fläche jedes Flügels auf je 2,4 **m** von den Enden gerade gelassen ist. Die Mittellinie des horizontal durchschnittenen Thores, welche durch die Mitte der Wende- und Schlagsäule geht, ist mit einem etwas kleineren Radius beschrieben. Die Thore sind dabei im Innern in der Mitte 0,802 **m**, an den Enden 0,634 **m** weit.

Die Blechstärken sind zunächst nach der Höhe, dem Wasserdruck entsprechend, sodann ferner mit Rücksicht auf das Eigengewicht der Thorflügel auch nach der Länge verschieden, wie dies zum Teil aus den in F. 10 in Millimetern eingetragenen Mafsen hervorgeht. Die unteren Bodenplatten, sowie die obersten Deckplatten und ebenso die Vertikalwände an den beiden Enden sind aus den stärksten, nämlich aus 12,5 **mm** starken Blechen gebildet. Der Höhe nach sind ferner die Thore durch Horizontalwände abgeteilt, welche unten 0,87 **m**, oben 1 **m** Abstand haben und aus 11,1 **mm**, 9,5 **mm** und 8 **mm** starken Blechen gebildet sind. Der Länge nach befinden sich drei Vertikalwände aus 9,5 **mm** Blechen zwischen den beiden Hauptflächen.

Es besteht sonach jeder Thorflügel aus einem völlig geschlossenen Hauptkörper, welcher durch horizontale Bleche in einzelne Kasten zerlegt wird, die wieder durch die vertikalen Bleche in einzelne Abteilungen zerfallen. Die halbcylindrischen Wendesäulen bilden aufserdem kleine Abteilungen für sich, die jedoch durch Aussparungen in der Vertikalwand, welche sich auch in den beiden rechts und links von der Mitte liegenden Vertikalwänden wiederholen, mit den horizontalen benachbarten Abteilungen in Verbindung stehen. Im übrigen sind sämtliche Abteilungen mit Winkeleisen und Laschen wasserdicht in sich und fest mit den benachbarten Abteilungen durch Nietung zusammengefügt. Zu beiden Seiten der mittleren Vertikalwand sind Mannlöcher angebracht, durch welche jede Abteilung zugänglich gemacht wird. Durch Einbringung von je zwei gufseisernen Mannlochdeckeln mit gewöhnlichen Schraubenbügeln kann jede einzelne Abteilung gegen die darunter liegenden abgesperrt werden, wenn solches bei vorkommenden Reparaturen notwendig werden sollte.

Die Wendesäule ist ganz aus 19 **mm** starkem Walzblech mit entsprechenden Winkeleisen und aufsen mit versenkten Nieten konstruiert, was zwar wegen jener Blechstärke grofse Schwierigkeiten geboten hat, indessen wegen der Gleichmäfsigkeit des Materials für das ganze Thor auch Vorzüge vor gemischten Konstruktionen gewährt. Es ist dabei die Excentricität der Zapfen oder der senkrechten Drehaxe nur zu 12,5 **mm** genommen, damit beim Offenstehen der Thore schwimmende Körper nicht hinter das Thor in die Wendenische dringen und sich dort festsetzen. Wenn auch in dieser Hinsicht die Anordnung einer so geringen Excentricität bei so grofsen Thoren mit voller Wendesäule zweckentsprechend scheint, so hat sie sich doch bei starkem Frost nicht völlig bewährt. Alsdann bildet sich während des Offenstehens feines Eis, welches bei dem Zudrehen eingeklemmt wird. Wiederholtes Öffnen und Schliefsen vermehrt das Übel, bis die Beseitigung des Eises notwendig wird, um einen Bruch des oberen Zapfens oder Halsbandes zu verhüten. Thatsächlich ist bei der Geestemünder Schleuse in einem Winter wenige Jahre nach der Erbauung durch das Einklemmen des Eises ein Bruch des ursprünglich gufseisernen

[66]) Näheres s. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1865.

Zapfenträgers eingetreten. Es dürfte daher zweckmäfsig sein, auch bei grofsen Seeschleusen eine ähnliche Anordnung der Wendesäule anzuwenden, wie bei der Schleuse Fig. 129, S. 208. Wie oben erwähnt, wird dabei auch eine leichtere Bewegung in der Nähe der Thornische gewonnen.

Wie die Wendesäule oben und unten die Zapfen- und Pfannenplatte trägt, ferner wie zum elastischen Anschlagen und dichten Anschlufs der Wendesäule, des Unterrahmens oder der Bodenplatte und endlich der Schlagsäule hölzerne Schlagleisten angebracht sind, zeigen die Figuren 15 bis 19, T. IX. Aus diesen geht jedoch nicht deutlich hervor, dafs unter allen diesen Holzflächen die Hauptbleche noch mit schwächeren, 6 mm starken Blechen belegt sind. Dieses ist geschehen, um jene Hauptbleche mehr vor dem Rosten zu schützen, welches unter den Holzflächen besonders zu befürchten ist, und um an diesen wichtigen Stellen die Steifigkeit noch etwas zu erhöhen.

Das Gewicht eines Flutthorflügels ist 80655 kg und mit Einschlufs der festen Nebenteile 85000 kg, das eines Ebbethorflügels bezw. 60445 und 65000 kg. Bei gewöhnlicher Flut findet dagegen ein Auftrieb von 91105 kg statt, dessen vertikale Mittellinie 6,5 m von der Drehaxe liegt, während der Schwerpunkt des Thorgewichts nur 5,8 m davon entfernt ist, sodafs also die Thore stets einen Seitendruck auf den Unterzapfen ausüben. Um die Thore gerade schwimmen zu lassen, müfsten bei gewöhnlicher Fluthöhe die Flutthore 0,44 m und die Ebbethore 2,17 m hoch mit Wasser gefüllt sein. Es ist jedoch vorgezogen, erstere leer zu lassen und letztere nur 1,74 m hoch zu füllen, sodafs schon vor Eintritt der Fluthöhe ein Schwimmen der Thore beginnt. Die geeigneten Wasserstände in denselben werden durch kleine Pumpen erhalten, selbst dann, wenn die Thore etwas leck sein sollten. Eine dieser Pumpen ist in F. 10 links angedeutet.

An jedem Ebbethorflügel sind zwei Schützöffnungen von 0,8 m Breite und 0,47 m Höhe angebracht, welche nur zur Spülung der Oberfläche des Drempels und des Schleusenbodens dienen. Dieselben sitzen in verschiedener Höhe, wie F. 10 zeigt. Eine kleine dritte Öffnung in der Nähe der Wendesäule soll den zwischen der Anschlagfläche und der Oberkante des Drempels sich etwa ansetzenden Schlick entfernen. Im übrigen geschieht das Füllen und Leeren der Kammer durch grofse Umläufe im Mauerwerk, vergl. § 7.

Wie im § 20 eingehender besprochen wird, müssen die oberen Zapfen zu Zeiten einen starken Auftrieb ertragen. Zu ihrer Unterstützung sind bei den Flutthoren Feststellvorrichtungen angebracht und zwar sowohl gegen Druck nach unten als nach oben. Die Ebbethore besitzen nur Feststellvorrichtungen gegen abwärts gerichteten Druck. Diese Vorrichtungen bestehen alle aus einem schmiedeeisernen Schraubenapparate, der auf entsprechend starke schmiedeeiserne Hebel wirkt. Die Schraubenapparate sind auf $^3/_4$ der Thorlänge in dem seitlichen Mauerwerk angebracht und fest verankert. Dafs Rollen zur Unterstützung nicht notwendig, ist nach dem obigen klar. Über die Bewegung der Thore s. § 22.

Zu allen sechs Thorflügeln waren rund 403000 kg fertige Schmiedearbeit erforderlich, wozu 407500 kg Material verbraucht sind. Die sämtlichen Nebenteile, Zapfen, Schützen, Pumpen, Winden, Rollenkasten, Feststellvorrichtungen und Geländer wiegen 116250 kg. Da die ganzen Thore mit allen Nebenteilen 243000 M. gekostet haben und eine Fläche von 827 qm ausmachen, so kommt auf 1 qm Thorfläche einschliefslich der Nebenteile rund 300 M. —

Auch die aus F. 12, T. V im Horizontalschnitt erkennbaren eisernen Schwimmthore der neuen Schleuse zu Harburg haben konzentrische Wände. Die äufseren Flutthore sind mit 15 m mittlerem Radius und 0,8 m Abstand, die inneren, sowie sämtliche Ebbethore dagegen mit nur 0,65 m Abstand der Wände gebildet. Erstere haben $10^1/_2$ m, letztere 8,5 m Gesamthöhe bei nur 6 m Höhe sämtlicher Schwimmkörper, während die übrige Höhe über der inneren 10 mm starken Wand nur aus Gitterwerk, aufsen dagegen aus einer einfachen Blechwand gebildet ist, wobei jedoch die Horizontalrippen aus 10 mm starken vollen Blechen mit vier Saumwinkeln ebenso wie im unteren Schwimmkörper vorhanden sind. Die Rippen liegen unten in 1,25, oben in 1,5 m Abstand und werden in jedem Thorflügel durch 9 durchbrochene Vertikalwände ausgesteift. Die Aufsenwand ist unten 13 mm, oben nur wie die Innenwand 10 mm stark. Die Mannlöcher in den Horizontalrippen sind nicht senkrecht untereinander, sondern versetzt angeordnet. Sämtliche Stöfse der Blechhäute sind mit 0,16 m breiten Laschen verdeckt, die Horizontalstöfse der Bleche liegen auf den Horizontalrippen, die Vertikalstöfse dagegen immer zwischen den Vertikalrippen. Alle Winkeleisen sind 72/72 mm, die Niete 20 mm stark und letztere da, wo es nur auf Festigkeit der Konstruktionsteile ankam, wie bei den Vertikalrippen, in 0,1 m, wo es aber, wie bei allen Verbindungen der Aufsenhaut, auch auf Wasserdichtigkeit ankommt, in 0,06 m Abstand angebracht. Jeder Thorflügel enthält zwei Schütze von je 0,5 qm Querschnitt, welche jedoch nur als Reserve für die 1,5 m hohen und 1 m weiten Umläufe dienen. An den beiden Enden sind alle Thorflügel mit sanfter Krümmung der Ecken übrigens geradlinig abgeschlossen und im Innern in der Mittellinie mit je einem in ganzer Höhe

durchlaufenden, 0,3 m breiten und 13 mm dicken Vertikalblech abgesteift, welche an dem Ende der Wendesäule die beiden mit einer besonderen dicken schmiedeeisernen Platte an der obersten und untersten Horizontalrippe befestigten gufseisernen Spurpfanne unterstützen. An den beiden vertikalen Enden jedes Flügels sind zunächst in der Mitte, sodann an der einen Seite der Wendesäule und endlich zum Anschlufs an den Drempel 30/15 cm starke Holzleisten angebracht und zwar unter Wasser von Greenheart-Holz, über gew. Wasser aus Teak-Holz. Die Bolzen, welche durch die Hölzer, ihre untergelegten Futterbleche und die betreffenden Thorbleche gehen, verursachten Leckstellen in den Thoren, die nachträglich dadurch gedichtet sind, dafs sämtliche Bolzenlöcher in den Blechen mit Gewinden und mit hineingeschraubten Futterröhren versehen wurden, welche das zwischen Holz und Eisen trotz vorhergegangener Kalfaterung eingedrungene Wasser von dem Bolzenloch abhielten. Ein äufserer Flutthorflügel wiegt 45000 kg, ein innerer bezw. Ebbethorflügel 40000 kg. Eine Feststellvorrichtung sichert die Thorflügel bei längerer Ruhe gegen Wellenschlag und unterstützt sie gegen eigenes Übergewicht. Die Kosten der 8 Thorflügel haben 148000 M. betragen, die der hydraulischen Bewegung aufserdem 45000 M.

Die auf T. XI, F. 14—17 und T. XII, F. 8—16 dargestellten Thore der Elbschleusen des Nord-Ostsee-Kanals bieten neuere Beispiele für Thore der beiden Hauptsysteme der Stemmthore ohne durchgehende Krümmung der Aufsenfläche, indem die Flutthore Riegelstemmthore, die Ebbe- und Sperrthore dagegen Ständer-Stemmthore sind.

Die Flutthore (T. XI, F. 14—17) haben 10 Riegel, deren Abstand von Mitte zu Mitte je 1,520 m beträgt, sodafs der Raum zwischen je zwei Riegeln bequem begangen werden kann. Zur weiteren Verstärkung der Haut sind in je 560 mm Entfernung voneinander senkrechte Aussteifungen angebracht, die gröfstenteils aus ⌐-Eisen und nur an der Wende- und Schlagsäule, sowie auf etwa ein Drittel der Länge von der Schlagsäule aus gerechnet aus Winkeleisen mit grofsen Eckblechen bestehen. Auf dem anderen Drittel der Länge von der Wendesäule aus gerechnet bilden die beiden Blechwände des 1,12 auf 1,28 im Horizontalschnitt grofsen Einsteigeschachtes die entsprechende senkrechte Hauptaussteifung. Vom Einsteigeschachte gelangt man durch wasserdicht abzuschliefsende Mannlöcher in die einzelnen Abteilungen zwischen den Riegeln. Jede dieser neun gröfseren und neun kleineren Abteilungen kann unabhängig von den übrigen leer gepumpt werden, jede ist zu dem Zwecke durch ein verschliefsbares Rohr mit der für alle Abteilungen gemeinsamen, im Einsteigeschachte aufgestellten Wasserdruck-Strahlpumpe in Verbindung gebracht. Durch dasselbe Rohr kann andererseits bei einer anderen Stellung des den Verschlufs bildenden Dreiwegehahns jede Abteilung mit dem Unterwasser in Verbindung gesetzt und gefüllt werden. Zur Ab- und Zuleitung der Luft sind besondere Rohre angeordnet, welche bis über den obersten Riegel hinaufreichen und nach dem Binnenwasser zu geöffnet sind. Der oberste Riegel liegt auf der Ordinate + 23,45 (= + 3,45 N. N.), während das höchste bekannte Hochwasser den Stand + 25,01 erreichte. Zur Abwehr höherer Wasserstände ist daher die Aufsenhaut der Thore über den obersten Riegel hinweg bis zur Ordinate + 25,5 fortgeführt, während die binnenseitige Haut nur bis zum obersten Riegel reicht. Die Aussteifung der Aufsenhaut oberhalb des obersten Riegels erfolgt durch eiserne Konsolen, die in Abständen von 1,12 m voneinander angeordnet sind und den auf + 25,5 liegenden Steg tragen.

Der Riegelquerschnitt setzt sich zusammen aus einem von oben nach unten an Stärke zunehmenden Stehblech, vier Gurtungswinkeln und drei Gurtungsblechen auf jeder Seite, von denen das untere, breitere (350/12) gleichzeitig zum Anschlusse der Blechhaut dient. Die Stärken der Winkel und der Hautbleche sind aus der Zeichnung ersichtlich.

Der Stemmdruck wird an den Schlagsäulen durch feste Holzleisten, welche gleichzeitig als Dichtungsleisten dienen, übertragen. Am Drempel erfolgt die Dichtung ebenfalls durch feste Holzleisten. An der Wendesäule waren ursprünglich zwei Holzleisten

angeordnet, eine in Richtung der Längenaxe des Thores zur Übertragung der in dieser Richtung fallenden Seitenkraft und eine andere senkrecht zu dieser Richtung, welche, als Dichtungsleiste dienend, von der in diese Richtung fallenden Seitenkraft des Stemmdruckes gegen die Nische gepreſst werden sollte. Höheren Ortes ist indessen die erstere Leiste in die Richtung der Mittelkraft des Stemmdruckes verlegt, wie F. 16 u. 17, T. XI zeigt, sodaſs die feste Dichtungsleiste theoretisch keinen Druck zu übertragen hat und nun zweckmäſsiger beweglich einzurichten wäre, um wenigstens durch den unmittelbaren Wasserdruck zum Anliegen gebracht zu werden.

Die Zahnstange, welche das Thor bewegt, greift in der halben Länge des Thores zwischen Riegel VII und VIII (von unten zählend) an. Auſserdem hat das Thor noch eine Sicherheits- oder Rückhaltskette erhalten, die an der Schlagsäule auf Ordinate + 21,85 befestigt ist.

An der Rückseite des Thores sind längs der Gurtungen der sechs oberen Riegel Holzleisten angebracht, mit denen sich das Thor in geöffnetem Zustande gegen das Mauerwerk stützt. Welche Teile des Thores bei gewöhnlichem Betriebe mit Luft und welche mit Wasser gefüllt sind, ergiebt sich aus der Zeichnung.

An Material haben die Flügel der vier Flutthore und eines Reserve-Flutthores der beiden Schleusen zu Brunsbüttel erfordert: 1120 Tonnen Fluſseisen, 6,9 Tonnen Fluſsstahl für die Zapfen, Naben, Halsbänder, Bolzen, Keile, 25,0 Tonnen Guſseisen für die eingemauerten Guſskörper, Ankerplatten, Spurlager, 108 Meter Schutzketten von 26 mm Eisenstärke und 38 cbm Eichenholz für Stemmdichtungsleisten, Belag und Treppen. Ein einzelner Flügel enthält also den zehnten Teil dieser Massen.

Die Ebbethore T. XII, F. 13—16 sind Ständer-Stemmthore mit nur einem Riegel zur Übertragung des Stemmdruckes. Die Mittellinie dieses Riegels liegt auf Ordinate + 20,39. Sein Querschnitt wird gebildet: erstens aus der Blechwand, die im mittleren Teile 12 mm dick nach den Enden zu bis auf 64 mm verstärkt ist, zweitens aus den beiden Gurtwinkeln von 100 × 100 × 14 für jede Gurtung und drittens aus den Gurtplatten, welche ausschlieſslich auf der Oberwasserseite liegen. In der Riegelmitte sind deren eine von 500 × 12 mm und von 360 × 12 mm vorhanden. Der Riegel dient als obere Stütze der senkrechten Ständer, deren zwischen Wende- und Schlagsäule acht Stück vorhanden sind. Durch diese aus Stehblech mit Gurtwinkeln gebildeten Ständer wird der ganze Hohlraum des Thores — abgesehen von der Wendesäule — in neun Abteilungen von 1,45 m Breite, der Höhe des ganzen Thores, und der wechselnden Tiefe desselben zerlegt. Die vierte dieser Abteilungen, von der Wendesäule aus gerechnet, dient wieder als Einsteigeschacht, ist oben über den Riegel noch bis Ordinate + 21,22 verlängert und durch Mannlochdeckel wasserdicht abgeschlossen. In dem Schachte befindet sich wieder ein Wasserstrahl-Elevator, mit dem man nach Bedarf die einzelnen Thorteile trocken legen kann. Die Trennung der einzelnen Abteilungen des Thores erstreckt sich aber nicht bis auf die einzelnen Räume zwischen den Ständern, sondern ist wie folgt durchgeführt. In Höhe von + 14,487 ist eine horizontale Scheidewand durch das ganze Thor mit Ausnahme des Schachtes durchgeführt, welche zu beiden Seiten des Schachtes eine obere von einer unteren Abteilung trennt. Diese vier Abteilungen sind durch die Stehbleche der Ständer in kleinere Zellen geteilt, die jedoch durch stets offene Mannlöcher in den Ständern miteinander in dauernder Verbindung sind und auſserdem gemeinsam in der Sohle nach einem Punkte zu entwässern, sodaſs für die beiden übereinanderliegenden Abteilungen zwischen Schacht und Schlagsäule nur je ein Saugrohr, für die beiden nach der Wendesäule zu liegenden

nur ein gemeinsames Saugrohr vorhanden ist. Der Zutritt zu den vier Abteilungen vom Schacht aus erfolgt durch je ein dicht zu schliefsendes Mannloch. Als Luftkammer während des Betriebes dient ausschliefslich die unter + 14,487 zwischen dem Schacht und der Schlagsäule liegende Abteilung. Die übrigen Abteilungen können durch Rohre mit Schieberverschluſs mit dem Unterwasser in Verbindung gesetzt werden. Die Anordnung der Luftzuleitungsrohre ist ähnlich wie bei den Flutthoren.

Als Dichtungsleisten sind wie bei den Flutthoren feste Holzleisten längs der Schlagsäule, der Wendesäule und dem Drempel angeordnet, sodafs also eine vollkommene Dichtigkeit bei der bedeutenden Länge der Thore zu jeder Jahreszeit nicht zu erwarten ist. Da von Wassermangel beim Nord-Ostsee-Kanal keine Rede sein kann, haben diese Undichtigkeiten keine Bedeutung. Die Anordnung der Stemmlager wird im nächsten Paragraph besprochen.

Beide Gurtungen des Riegels sind mit starken Holzleisten versehen. Die eine derselben dient zur Stütze des Riegels gegen das Mauerwerk der Thornische, die andere als Streich- oder Scheuerleiste, wenn das Thor geöffnet ist. Auch an der Unterkante des Thores, gegenüber der Dichtungsleiste, ist eine Stützleiste oder Polster für das geöffnete Thor angebracht. Die Bewegungsvorrichtung durch Zahnstange und Rückhaltkette entspricht der Anordnung bei den Flutthoren.

Die vier Ebbethore und die Flügel eines Reservethores für die beiden Schleusen zu Brunsbüttel enthalten 852,7 t Flufseisen in den Thoren selbst, 36 t desgl. in den Nischenabdeckungen und Geländern, 14,4 t Flufsstahl in Zapfen u. s. w., 22,7 t Gufseisen in Lagern, Ankerplatten u. dergl., 108 m Schutzketten von 26 mm Stärke und 34,3 cbm Eichenholz in Leisten und Belag, ein Flügel also den zehnten Teil.

Die in F. 8—12, T. XII dargestellten Sperrthore der Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals endlich sollen bekanntlich den Zweck erfüllen, vor dem Schluſs der Ebbe- oder Flutthore die durch die Schleuse nach innen oder aufsen stattfindende Strömung abzuschneiden, um den Schluſs der eigentlichen Thore alsdann in ruhigem Wasser vornehmen zu können. Um das Schliefsen dieser Thore bei der bis 1,5 m Geschwindigkeit annehmenden Strömung ohne zu grofsen Kraftaufwand ausführen zu können, sind dieselben mit sehr grofsen Schützenöffnungen versehen, die erst geschlossen werden, wenn das Sperrthor selbst zuvor zum Schluſs gebracht wurde. Die Schützenöffnungen liegen im oberen Teile des Thores, sodafs die Schützen, wenn sie geschlossen werden sollen, von unten nach oben gezogen werden. So lange die Schützen offen sind, bildet das geschlossene Thor also gleichsam ein Grundwehr, welches eine grofse Wassermenge abführt. Die Sperrthore beider Schleusen müssen stets gleichzeitig geschlossen werden, weil der vorherige Schluſs der Thore in der einen Schleuse die Geschwindigkeit des Wassers in der anderen und damit die Schwierigkeit des Thorschlusses steigern würde. Für die Lage der Schützenöffnungen oben und möglichst nach der Schleusenmitte zu war die Erwägung maſsgebend, daſs in diesem Teile des Querschnittes des fliefsenden Wassers die gröfste Geschwindigkeit herrscht, sodafs also, wenn man diesen Teil im Thore während des Schliefsens derselben offen hält, das Thor selbst den geringsten Wasserstofs bekommt. Die Bewegung der Schützen von unten nach oben für das Schliefsen derselben wurde deswegen für die zweckmäfsigere gehalten, weil dabei das etwa durch die Öffnungen fliefsende Treibeis nicht festgeklemmt werden kann. Es wird vielmehr von den Schützen aus dem Wasser gehoben und kann leicht beseitigt werden.

Was nun die Thorkonstruktion in statischer Beziehung betrifft, so ist das Thor wie das Ebbethor ein Ständer-Stemmthor mit nur einem auf Ordinate + 19,99 liegen-

den Riegel. Das Stehblech des Riegels — in der Mitte 12 mm stark — nimmt nach den Enden an Stärke bis 58 mm zu und hat für jede Gurtung je zwei Winkel $90 \times 90 \times 11$. Die vier Gurtplatten, eine von 400 mm und drei von 250 mm Breite bei je 12 mm Dicke, sind nur auf der Oberwasserseite vorhanden, um einen möglichst unsymmetrischen Querschnitt zu erhalten, vergl. § 16, Fig. 92 *a*. An den Riegel schliefsen sich nach unten an die Wendesäule, die Schlagsäule und drei Mittelständer. Unten sind diese fünf Teile durch den Schwimmkasten verbunden, in welchen man sowohl von der Schlag- als auch von der Wendesäule aus durch Mannlöcher gelangen kann. Diese beiden besteigbaren Säulen sind oben durch Mannlochverschlüsse gegen das Eindringen von Wasser gesichert. Die Verbindung zwischen den vier Abteilungen des Schwimmkastens, welche durch die drei Mittelständer gebildet werden, ist ebenfalls durch Mannlöcher hergestellt. Die Lenzpumpe für das Thor ist in der Wendesäule untergebracht, wohin der ganze Hohlraum entwässert.

Aufser dem unteren Schwimmkasten, der, im Betriebe stets wasserfrei, zur Entlastung von Zapfen und Halsband dient, ist über dem Riegel noch ein zweiter Schwimmkasten angebracht, welcher nur den Zweck hat, das Thor schwimmfähig zu machen, wenn es, vom Zapfen gehoben, behufs Ausführung von Ausbesserungen fortgeflöfst werden soll. Während des Betriebes hat das Wasser in diesen Kasten Zutritt.

Neben dem unteren Schwimmkasten und zwar auf der Unterwasserseite desselben finden die Schützen, wenn das Wasser durch das Thor fliefst, ihren Platz. Da die zu verschliefsende Schützenöffnung höher ist, als der Schwimmkasten unten, so sind die Schützen aus zwei Teilen hergestellt, die bei geöffnetem Schütz hintereinander liegen. Beim Schliefsen sowohl als beim Öffnen wird nur der eine dieser beiden Schützteile, der mit der zur Bewegung dienenden Kette ohne Ende (Galle'sche Kette) verbunden ist, von dieser unmittelbar bewegt, während der andere, dem Schwimmkasten zunächst liegende Schützteil durch passend an beiden angebrachte Knaggen mitgenommen wird. Die Schützen sind ganz ähnlich denjenigen für die Umläufe (vergl. § 23) als Rollenschützen konstruiert, nur sind hier die Dichtungsleisten mit Ledergelenk fortgelassen, weil es auf einen vollkommen dichten Abschlufs nicht ankommt. Die Ketten ohne Ende, welche die Schützen ziehen, laufen über eine oben über dem Riegel gelagerte Antriebswelle, die mit den hydraulischen Motoren am Lande durch Universalgelenke verbunden sind. Die hölzernen Dichtungsleisten sind fest mit der Schlagsäule, der Wendesäule und dem unteren Thorrande verbunden. Über die Kraftübertragung vergl. § 22.

Öffnen und Schliefsen des Thores erfolgt wie bei den anderen Thoren durch Zahnstange, die oben am mittleren Zwischenständer angreift. Für das Schliefsen des Thores wird die Zahnstange durch eine in der Mitte mit einem Gewicht belastete Rückhaltkette unterstützt, welche an dem der Schlagsäule zunächst gelegenen Mittelständer angreift. Infolge dieser Lage nimmt die Kette einen grofsen Teil des gegen das zu schliefsende Thor wirkenden Wasserdruckes auf und zwar um so mehr, je näher das Thor dem Schlusse kommt. Wie die anderen Thore hat auch dieses Thor unten und oben am Schwimmkasten, sowie oben am Riegel Polster oder Stützleisten, mit denen es sich in geöffnetem Zustande gegen das Mauerwerk der Thornische lehnt.

An Material enthalten die Flügel der vier Sperrthore und eines Reservethores für die beiden Elbschleusen: 586 t Flufseisen in den Thoren selbst, 36 t in den Nischenabdeckungen und Geländern, 14,4 t Flufsstahl in Zapfen u. s. w., 25,6 t Gufseisen in Lagern, Ankerplatten u. s. w., 29,6 t Gufseisen für die Gegengewichte der Rückhaltketten, 95 m Rückhaltketten von 33 mm Eisenstärke, 75 cbm Eichenholz für Bohlenbelag,

Treppen, Dichtungs- und Scheuerleisten. Die Schützen- und Bewegungsketten sind in dem Material nicht mit enthalten.

Die Thore für die Holtenauer Schleusen weichen nur in den Höhen von den Brunsbütteler Thoren ab, sind im übrigen aber diesen möglichst gleich gehalten. —

Ständerthore ähnlich den oben beschriebenen Ebbethoren hat auch die neue Schleuse zu Havre als Ersatz der alten, auf S. 205 geschilderten und auf T. VIII, F. 12 dargestellten Holzthore erhalten.[67]) Als Vorläufer der Sperrthore können, beiläufig bemerkt, die Thore für das Barry-Dock bei Cardiff gelten, welche bei einer Ausströmungsgeschwindigkeit des Wassers von 0,73 m geschlossen werden sollen und zur Verminderung des Wasserdrucks mit je sechs ziemlich grofsen Schützen aber im unteren Teile des Thores versehen sind.[68])

Eine in statischer Beziehung nicht ganz klare Konstruktion zeigen die in den Ann. des ponts et chaussées 1892, I, S. 658 beschriebenen Thore der Schleusen des Kanals von Havre nach Tancarville zu Havre. Nach genannter Quelle soll für diese Thore dasselbe System gewählt sein, wie für die eben erwähnten Thore der Schleuse für die transatlantischen Dampfer in derselben Stadt, vergl. S. 194. In der That besitzen jene Thore auch oben einen einzigen durchgehenden Riegel, aber ohne stählernen Stemmkopf an der Schlagsäule. Von dem Riegel gehen zwischen Schlag- und Wendesäule drei Ständer nach unten, aber zwischen diesen Ständern sind noch drei horizontale Verbände in einzelnen Teilen eingebaut, die von der Schlagsäule bis zur Wendesäule reichen und an letzterer je mit einem stählernen Stemmstück versehen sind, wie die Thore zu Ablon und Charenton. Die Thore haben also die Ständerkonstruktion, wirken aber als Riegelthore, und es wäre wohl richtiger gewesen, durchgehende Riegel anzuwenden.

Ausführung und Aufstellung. Zum Schlufs möge einiges über die Ausführung und namentlich die Aufstellung der eisernen Thore gesagt werden. Kleinere Thore wird man am zweckmäfsigsten in der Fabrik fertigstellen und zur Baustelle geliefert in derselben Weise aufstellen, wie die hölzernen. Bei grofsen Thoren ist diese Ausführungsweise nicht mehr durchführbar. Man wird sie in einzelnen Teilen zur Baustelle liefern und dort zusammenbauen müssen. Ohne Zweifel ist nun die in der Fabrik fertiggestellte Arbeit nicht nur billiger, sondern auch besser, als die auf der Baustelle auszuführende. Man wird also bei dem Entwurfe grofser eiserner Thore die Stofsverteilung so einzurichten haben, dafs es möglich ist, grofse Teile in der Fabrik fertig zu stellen und die Arbeit auf der Baustelle thunlichst zu beschränken. Namentlich die Wendesäule, sowie die Hauptteile des tragenden Gerippes (die Riegel oder Ständer), sollte man stets fertig zur Baustelle liefern lassen, sodafs die Arbeit an Ort und Stelle sich auf die Zusammensetzung des Gerippes und die Bekleidung desselben mit der Blechhaut beschränkt. Unsere grofsen Fabriken sind im stande, Stücke von den Abmessungen der gröfsten Wendesäulen abzudrehen, sie können also das obere und untere Lager derselben in der Fabrik genau centrisch herstellen, sodafs eine derartig angefertigte Wendesäule auf der Baustelle ebenso genau montiert werden kann, wie eine grofse stehende Maschinenwelle. Beim Montieren wird selbstverständlich zunächst der Zapfen an seiner genauen Stelle in der Wendenische aufgestellt und vergossen, darauf die Wendesäule senkrecht auf denselben gestellt und erst dann das Halslager nach der senkrechten Wendesäule angebracht und vergossen. Letzteres mufs mit guten Einstellungsvorrichtungen versehen sein, die geringe Verschiebungen der Lageraxe gegen den bereits vergossenen Lagerkörper nach allen Richtungen hin ermöglichen, um auf diese Weise eine recht grofse Genauigkeit erzielen zu können.

---

[67]) Ann. des ponts et chaussées 1887, II, S. 411 u. f., auch Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1889, S. 743.

[68]) Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver zu Hannover 1888, S. 419.

Wenn die Dichtung zwischen dem Thor und dem Mauerwerk, wie in den meisten Fällen, mittels fester oder beweglicher Holzleisten bewirkt wird, so geschieht das Anpassen derselben an das Mauerwerk in derselben Weise, wie bei hölzernen Thoren und bietet keine Schwierigkeiten. Wo dagegen Eisen auf Stein liegen soll, ist die Dichtung um so schwieriger, je gröfser die Berührungsflächen sind. In der Arbeit von Rechtern und Arnold über den Bau der zweiten Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven (Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891) wird daher mit Recht davor gewarnt, die ganze eiserne Wendesäule zum dichten Schlufs in der steinernen Nische bringen zu wollen und statt dessen vorgeschlagen, nur eine eiserne, nach dem Stemmdruck zu bemessende Stemmleiste und eine getrennte Dichtungsleiste zu genauerem Schlusse zu bringen. Man vergleiche auch das früher in § 17 hierüber Gesagte.

Meistenteils ist der weitere Verlauf des Montierens der, dafs an die fertiggestellte und zum Schlusse gebrachte Wendesäule zunächst der untere Thorteil angebaut und zum dichten Schlufs am Drempel gebracht und darauf die Schlagsäule und die übrigen Teile angefügt und die Dichtung zwischen den beiden Schlagsäulen des Thorpaares hergestellt wird.

Eine ausführliche Beschreibung des in dieser Weise vorgenommenen Montierens der Thore für die zweite Hafeneinfahrt in Wilhelmshaven findet man in der oben angeführten Arbeit.

In etwas anderer Weise verfährt die Firma Harkort beim Montieren der Thore für die Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals. Dieselbe wendet fahrbare Gerüste an, welche auf Schienen bewegt werden können, die im Thorkammerboden verlegt sind. In diesen Gerüsten werden die Thorflügel im Gerippe zusammengesetzt und vernietet, sodafs ihnen nur noch die Hauptteile der Haut fehlen. Darauf werden die Gerüste mit den Thorgerippen über den Zapfen gefahren und mit Hilfe von Winden u. s. w. eingehängt. Nach Entfernung der Gerüste wird dann zunächst der dichte Schlufs durch Einpassen der Dichtungsleisten bewirkt und schliefslich die Haut eingebaut und vernietet. Bei dieser Anordnung sind die Thore während des ersten Teiles des Montierens bequemer zugänglich, als wenn der ganze Aufbau unmittelbar über dem Zapfen erfolgt.

Ungünstiger stellen sich die Verhältnisse, wenn die Thore ohne Trockenlegung der Schleuse montiert werden müssen. Dies war der Fall bei den neuen eisernen Ständerthoren der Schleuse für die transatlantischen Dampfer zu Havre, welche, wie oben erwähnt, als Ersatz alter Holzthore gebaut in die alten Lagerpfannen derselben eingehängt wurden und nur oben neue Halslager bekamen.

Dort wurden die vorher in der Fabrik zusammengepafsten Thore nahe der Verwendungsstelle liegend zusammengenietet und in dieser Lage durch inneren Wasserdruck auf ihre Dichtigkeit untersucht. Nach vollständiger Abdichtung wurden sie auf hölzernen Gleitbahnen von 0,14 zu 1 Neigung zu Wasser gelassen. Das Gewicht eines Thorflügels von 17,5 m Länge und 9,8 m Höhe betrug 160 t, sein Inhalt 248 cbm. Der Flügel wurde nun in das Schleusenhaupt geflöfst, mit dem oberen Rahmen gegen die Schleusenwand gekehrt und hier mittels des in Fig. 139 und 140 dargestellten Gerüstes durch sechs Differentialflaschenzüge angehoben. Diese Arbeit wurde bei Hochwasser vorgenommen, indem in den unteren Teil des Thores Wasserballast eingelassen wurde. In dem Mafse, wie mit der Ebbe der Wasserstand sich senkte, liefs man auch den Flügel sinken, wobei ein Taucher von Zeit zu Zeit die Stellung des Zapfens zum Zapfenlager anzeigte. Der erste Thorflügel erforderte zum Einhängen vier Stunden, bei den anderen geschah dies in $2^1/_4$ Stunden und zwar von dem Zeitpunkte an, wo der Flügel

in das Schleusenhaupt gebracht war, bis zu dem, wo er eingehängt und das Halsband geschlossen war.

Die Quelle[69]) giebt nicht an, wie es bei dieser Art der Aufstellung möglich war, die hölzernen Dichtungsleisten zum wasserdichten Schlufs zu bringen. Waren dieselben fest, so wäre ein dichter Schlufs nur durch einen besonders glücklichen Zufall denkbar. Waren dieselben aber — was nach der Zeichnung nicht ausgeschlossen erscheint — an der Wendesäule und am Drempel beweglich, so machte die Dichtung keine Schwierigkeiten. Die richtige Einstellung der Thore für die Kraftübertragung kann keine Schwierigkeiten bereitet haben, da das Thor als Ständer-Stemmthor nur oben sich gegen das Mauerwerk stützte.

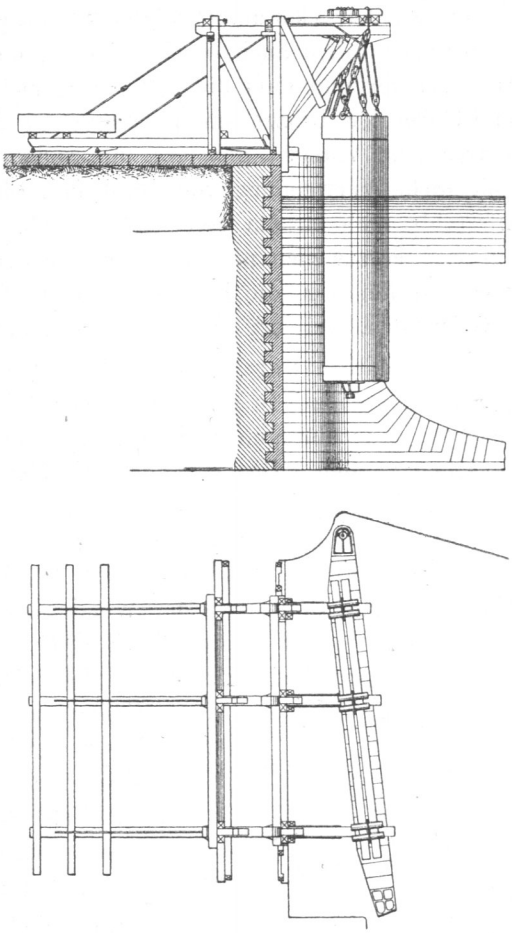
Die Probe des Thores auf Dichtigkeit durch inneren Wasserdruck, welche in Havre bereits auf dem Lande vorgenommen wurde, kann bei Thoren, welche in der trockenen Schleuse montiert werden, sehr unbequeme Stemmarbeiten verursachen, wenn sich Undichtigkeiten an der bereits in der Wendenische stehenden Wendesäule zeigen. Es ist daher wünschenswert, die Wendesäule bereits vorher in der Fabrik auf ihre Dichtigkeit zu prüfen. — Wegen etwaiger Stemmarbeiten an der Unterfläche des Thores vergleiche man § 8, S. 115.

Fig. 139 u. 140.

Schleuse der transatlantischen Dampfer zu Havre.

Gerüst zum Einhängen der Thore. Aufrifs und Grundrifs.

M. 0,03.



Die Laufbrücken werden nachträglich angebracht; verschiedene Anordnungen derselben hat Landsberg in dem mehrfach erwähnten Heft S. 55 u. 56 zusammengestellt.

§ 20. Zapfen, Pfannen und Verankerungen. Stemmlager. Rollen. Vorrichtungen zum Stützen der offenen Thore.

Material. Bekanntlich bilden sich galvanische Ströme, wenn verschiedenartige Metalle miteinander in Berührung treten, während sie vom Seewasser benetzt werden, und die Folge davon ist, dafs das eine der Metalle zerstört wird. Aus diesem Grunde wird man bei eisernen Thoren von Seeschleusen die Verwendung von Bronze oder Kupfer oder irgend welcher Legierungen für Teile, welche zeitweilig unter Wasser liegen, vermeiden müssen und nur Gufseisen, Schmiedeeisen oder Stahl anwenden, trotzdem das Eisen und namentlich das Gufseisen an sich vom Seewasser mehr angegriffen wird als Bronze und Kupfer allein. Bei den grofsen neueren Thoren aus Eisen findet man daher keine Zapfen und Pfannen aus Bronze mehr; für die Holzthore

[69]) Ann. des ponts et chaussées 1887, II, S. 411 und Zeitschr. d. Ver. zu Hannover 1888, S. 743.

— vorausgesetzt, dafs sie mit den Eisenbeschlägen nicht in Berührung kamen — waren dieselben nicht unzweckmäfsig. Bei dem Ersatze der alten Holzthore in der Schleuse der transatlantischen Dampfer zu Havre durch eiserne hat man sich allerdings genötigt gesehen, die alten Bronzepfannen, welche im Thorkammerboden festsafsen, beizubehalten und die an den Thoren befestigten Stahlzapfen in denselben laufen zu lassen; neuere Erfahrungen sollen auch ergeben haben, dafs Bronze viel weniger auf Eisen einwirke, als Rotkupfer und dafs diese Wirkung nicht wahrnehmbar sei, sobald die Masse oder die Fläche der Bronze im Verhältnis zu der des Eisens oder Stahls nur klein sei. Immerhin ist Vorsicht geboten; für Neuausführungen unter Wasser ist also die ausschliefsliche Verwendung von Stahl und Eisen vorzuziehen, und zwar namentlich des Gufsstahls auch für die Teile (Lagerstühle u. s. w.), die man früher ausschliefslich aus Gufseisen herzustellen pflegte. Für Halslager dagegen, die nie unter Wasser kommen, ist es zweckmäfsig, die im Maschinenbau üblichen Kompositionen für die Lagerfutter zu verwenden, weil bei denselben die Reibung geringer wird.

Form und Berechnung. Anordnung im allgemeinen. Was die allgemeine Anordnung anlangt, so darf das früher übliche Verfahren, den unteren Zapfen an der Wendesäule anzubringen und in eine festliegende Pfanne zu stellen, als ganz beseitigt angesehen werden. Der wichtigste Nachteil dieser Anordnung besteht darin, dafs die Pfanne unfehlbar feine Sandkörner aufnimmt, welche bei jeder Drehung des Thores ein Ausschleifen bewirken, sodafs nach einiger Zeit ein unsicherer Gang erfolgen mufs. Es wird deshalb jetzt stets der untere Zapfen in dem Boden der Thorkammer aufrecht stehend und die Pfanne an der Wendesäule angebracht.

Die Form des unteren Zapfens wurde früher vorwiegend nach den beiden durch Fig. 141 dargestellten Skizzen gebildet. Theoretisch würde die Berührung in beiden Fällen nur in einem Punkte geschehen, aber infolge der Zusammendrückung und Abnutzung des Materials bildet sich eine gröfsere Berührungsfläche heraus. Das Bedenkliche dieser Anordnung liegt darin, dafs bei grösseren Thorgewichten die Berührungsflächen zu klein, die Reibung also zu stark werden kann, sodafs sich Zapfen und Pfannen bei der Bewegung einfressen, und dann mehr Widerstand verursachen, als wenn sie sich von Anfang an in gröfseren Flächen berührt hätten. Man hat daher in neuerer Zeit die beiden Radien R und r der Konstruktion nach Fig. 141 *a* sehr wenig voneinander verschieden gemacht oder auch wohl dieselben gleich grofs angeordnet, wie bei den Thoren der Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals (Fig. 157, S. 231). Die Ausführung nach Fig. 141 *b* eignet sich, wie die weiter unten mitgeteilte Formel ergiebt, nur für geringe Zapfendrücke. Bei derselben ist eine seitliche Führung des Zapfens in der Pfanne unerläfslich zur Aufnahme des Horizontalschubes, der unter Umständen eintreten kann. Es empfiehlt sich daher, bei dieser Anordnung die Pfanne oben dicht schliefsend anzuordnen, dieselbe aber zur Erleichterung des Einsetzens nach unten zu erweitern. Wird der Zapfen nach Fig. 141 *a* gebildet, so ist eine seitliche Führung entbehrlich.

Fig. 141.

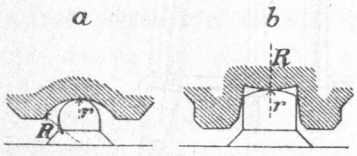
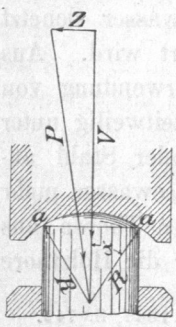


Fig. 142.



Bildet man den Zapfenkopf nur als flache Kugelkalotte aus (Fig. 142), so kann die seitliche Führung in den meisten Fällen auch entbehrt werden. Man hat aber darauf zu achten, dafs bei ordnungsmäfsigem Betriebe die aus dem senkrechten Zapfendrucke V und dem

Horizontalschube Z entspringende Mittelkraft P, durch den Mittelpunkt der Kugel gezogen, die Kalotte nicht zu nahe der Kante a schneide. Es empfiehlt sich, den Halbmesser der Kugel so zu wählen, dafs P die Kalotte womöglich im mittleren Drittel schneidet.

Dies trifft ein, wenn der Winkel α so bestimmt wird, dafs

$$tang \frac{\alpha}{3} \geqq \frac{Z}{V} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 35.$$

ist, worin Z und V die in den Gleichungen 27 u. f. in § 16 angegebenen Werte haben.

Für Zapfen nach der Form der Fig. 141 a, bei denen aber $R = r$ gemacht und die Gleitflächen eine volle Halbkugel umfassen, ist nach Landsberg zu nehmen:

$$R \geqq 0{,}691 \sqrt{\frac{P}{K}} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 36.$$

Darin bedeutet R den Kugelhalbmesser in cm, P den Zapfendruck, der senkrecht angenommen ist, K die zulässige Belastung für 1 qcm, beides in Tonnen. K kann für Gufseisen = 0,25, für Schmiedeeisen = 0,75, für Stahl = 1,0 gesetzt werden.

Für Zapfen mit dem Centriwinkel 2α, welche als Oberfläche eine Kugelkalotte nach Fig. 142 haben, lautet der Ausdruck:

$$R \geqq 0{,}691 \sqrt{\frac{P}{K\,(1 - cos^3\,\alpha)}} \quad \ldots \ldots \ldots \quad 37.$$

α ist darin nach Gl. 35 zu bestimmen. Die Werte von K sind so grofs, wie vorhin angegeben. Der Zapfendurchmesser wird dann:

$$D = 2\,R\,.\,sin\,\alpha \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 38.$$

Für Zapfen nach der Form der Fig. 141 b giebt Landsberg den Ausdruck:

$$K^2 = 12{,}75\,P\left(\frac{1}{R} + \frac{1}{r}\right) \quad \ldots \ldots \ldots \quad 39.$$

K und P sind wieder in Tonnen, die Radien R und r der beiden Kugelflächen in cm einzuführen. Giebt man beiden Kugelflächen gleiche Krümmung, also $R = r$, so erhält man $K^2 = \frac{25{,}5\,P}{R}$ oder

$$R = \frac{25{,}5\,P}{K^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 40.$$

Setzt man in Gl. 39 $R = \infty$, d. h. nimmt man statt der einen Kugelfläche eine Ebene, wie z. B. F. 19, T. IX von der Schleuse des Hafenbassins zu Geestemünde zeigt, so erhält man:

$$r = \frac{12{,}75\,P}{K^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 41.$$

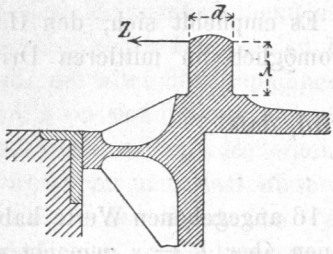
Die Werte für R und r werden sehr grofs, selbst wenn man K, was hier zulässig ist, gröfser nimmt als gewöhnlich üblich ist. Man kann setzen für Schmiedeeisen $K = 1{,}5$ t und für Gufsstahl $K = 2$ t.

Bei den Zapfen soll man niemals an Material sparen, da ein Bruch derselben ohnehin mitunter vorkommt[70]) und sehr unangenehme Störungen verursacht. Man macht dieselben daher meist wesentlich stärker als die Rechnung erfordert.

Bei Schwimmthoren soll man stets auch dem Umstande Rechnung tragen, dafs durch einen Unglücksfall der Schwimmkasten voll Wasser laufen kann, sodafs der Auftrieb fast ganz fortfällt. Auch für diesen Fall mufs Zapfen und Halsband unbedingt stark genug sein.

[70]) Von grofsen Schleusenthoren, an denen Zapfenbrüche vorkamen, mögen erwähnt werden: die Geestemünder Schleuse, die Schleuse der zweiten Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven und die Schleuse für die transatlantischen Dampfer zu Havre.

Fig. 143.



Zur Berechnung der Halszapfen, die nur an einem Ende unterstützt sind (Fig. 143), dienen die Formeln:

Für Gufseisen:

$$d = 0{,}342 \sqrt[3]{Z \cdot \lambda} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 42.$$

für Schmiedeeisen:

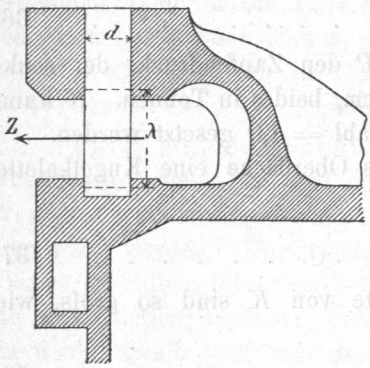
$$d = 0{,}24 \sqrt[3]{Z \cdot \lambda} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 43.$$

für Stahl:

$$d = 0{,}22 \sqrt[3]{Z \cdot \lambda} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 44.$$

λ ist die Zapfenlänge in cm, d der Durchmesser in cm und Z der nach § 16, Formel 27 u. f. zu berechnende Zug in kg.

Fig. 144.



Ist der Zapfen doppelt gestützt, wie Fig. 144 von den Schleusen des Oder-Spree-Kanals zeigt, so lauten die Formeln:

Für Schmiedeeisen:

$$d = 0{,}15 \sqrt[3]{Z \cdot \lambda} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 45.$$

für Stahl:

$$d = 0{,}135 \sqrt[3]{Z \cdot \lambda} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 46.$$

Auch hier empfiehlt es sich, d und λ reichlich stark zu machen.

Für den oberen Zapfen (den Halszapfen) und das Halsband kommt in Betracht, dafs es von grofsem Vorteil ist, wenn der Thorflügel nach Wegnahme des Halsbandes senkrecht in der Thornische oder wenigstens in der Wendenische aufgewunden und niedergelassen werden kann. Es wird dadurch das bei Reparaturen sich oft wiederholende Ausnehmen und Einhängen der Thore sehr erleichtert und für den unteren Zapfen ungefährlich gemacht. Schon deswegen wird das Halsband nicht mit dessen Verankerung im Mauerwerk u. s. w. aus einem einzigen oder schwer zu lösenden Stück gebildet. Aufserdem ist aber zuerst bei der Einhängung der Thore (vergl. § 18 u. 19 am Schlufs), sodann von Zeit zu Zeit wegen etwaigen Nachgebens der Verankerung, wegen der Abnutzung zwischen Zapfen und Halsband u. s. w. ein sorgfältiges Centrieren des Halsbandes über dem Mittelpunkt des unteren Zapfens notwendig, damit die Drehaxe des Thorflügels genau senkrecht steht. Dieses Centrieren kann mit den meist gröberen und entfernter liegenden Schrauben oder Keilen der Verankerung nicht bequem genug geschehen, weshalb man fast allgemein zwischen dieser und dem Halsbande noch eine besondere Vorrichtung einschaltet. Dieselbe mufs dicht hinter der Wendenische, geschützt aber leicht zugänglich liegen und so, dafs nach Lösung der Verbindung das Halsband weggenommen und das Thor senkrecht gehoben werden kann.

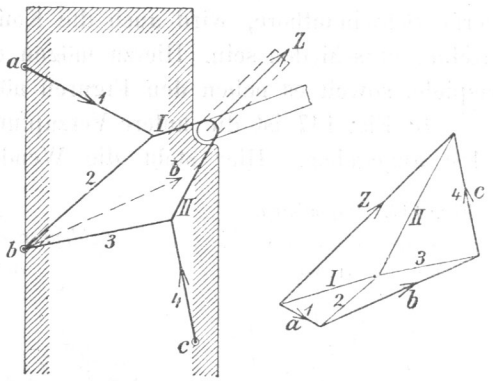
Verankerung. Zu dem angegebenen Zwecke besitzt das Halsband oder Halseisen nicht selten zwei Schenkel, welche in die zwei Schenkel der Verankerung übergehen. Die letztere mufs fast in jeder Stellung des Thorflügels dessen Zugrichtung so aufnehmen, dafs die einzelnen Schenkel möglichst wenig auf Biegung beansprucht, sondern in ihrer Längenrichtung gezogen werden. Um die Biegung zu verhindern, bringt man wohl schon nahe an der vorderen Mauerkante in den Ankerschenkeln feste Bolzen an. Doch wird dadurch das Mauerwerk leicht zerklüftet, indem diese vorderen Bolzen unter Umständen den ganzen Zug des Thores zu ertragen haben. Die Befestigungen der Ankerschenkel müssen so weit von der Mauerkante entfernt liegen, dafs sie auch unter den

ungünstigsten Umständen hinreichendes Mauerwerk fassen. Dagegen kann man die Schenkel unbedenklich durch Queranker verbinden, welche unmittelbar hinter den zum Centrieren des Halsbandes dienenden Vorrichtungen liegen.

Wenn die Richtungen der beiden Anker den äufsersten Thorstellungen entsprechen, so sind die Anker stets nur auf Zug beansprucht und zwar wechselt derselbe — horizontale Lage vorausgesetzt — in jedem Anker je nach der Stellung des Thores von O bis Z. Bisweilen findet man aber, um mehr Mauerwerk zu fassen, mehr als zwei Anker angewendet. Es ist dies jedoch nicht zu empfehlen, weil die statische Klarheit beeinträchtigt wird. Es empfiehlt sich vielmehr, denselben Zweck dadurch zu erreichen, dafs man die ursprünglichen beiden Anker später verzweigt.

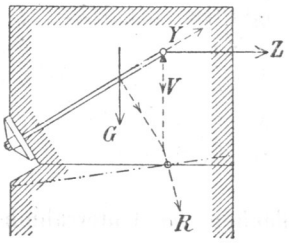
Fig. 145 zeigt die graphische Ermittelung der Ankerspannungen für eine mittlere Thorstellung nach Landsberg. Die Längen 1, 2, 3 u. 4, I u. II im Kräfteplan geben die Zerlegung des Gesamtzuges Z nach den Richtungen der gleichnamigen Ankerteile.

Fig. 145.



Das Gewicht des durch die Anker gefafsten Mauerwerks mufs so grofs sein, dafs die Mittelkraft aus Z und diesem Gewichte die untere Fuge nicht näher an der Kante schneidet, als die zulässige Druckinanspruchnahme des Mauerwerks gestattet; aufserdem darf auch der Winkel der Mittelkraft R mit der Fugennormalen nicht grösser sein, als der dem Mauerwerk entsprechende Reibungswinkel. In Fig. 146 ist Z zunächst in die Ankerspannung Y und die lotrechte Seitenkraft V zerlegt, Y ist mit dem Mauergewichte G und die Mittelkraft beider mit V zusammengesetzt und in dieser Weise R erhalten. Um die Gefahr der Verschiebung zu vermeiden, empfiehlt Landsberg, die Fugen möglichst senkrecht zu R anzuordnen, wie die strichpunktierte Linie andeutet. Man wird indessen meistens mit den bequemeren horizontalen Fugen auskommen, da unsere jetzigen Mörtel sehr grofsen Widerstand leisten und zwar mehr, als der einfachen Reibung entspricht.

Fig. 146.



Der Punkt, in welchem die Verankerung des Halsbandes aus der horizontalen Lage in die schräg nach unten gehende übergeführt wird, darf nicht zu nahe an der Vorderkante des Mauerwerks liegen, weil dieses sonst schädlich nach aufsen gedrückt würde. Es ist ferner zweckmäfsig, an dieser Stelle kräftige Gelenke einzuschalten und die Seitenkraft V (Fig. 146) durch passende eiserne Unterlagsplatten oder Quader auf das Mauerwerk zu verteilen, ebenso an den Enden der Anker kräftige Platten anzubringen sind, deren Gröfse sich aus dem Ankerzuge Y und der zulässigen Pressung des Mauerwerks ergiebt.

Sehr zweckmäfsig ist es auch, die Anker so anzubringen, dafs man sie herausnehmen und nachsehen kann. Man erreicht dies am einfachsten dadurch, dafs man dieselben durch eingemauerte eiserne Rohre steckt, in denen man sie mit Talg oder Teer umgiefsen kann, um sie vor Rost zu schützen.

Gufseiserne Verankerungen oder auch nur ausgedehnte Teile derselben sollten möglichst vermieden und immer nur mit gröfster Vorsicht angebracht werden. Bei der

grofsen Sprödigkeit des Gufseisens sind ausgedehnte Platten selbst bei mäfsigen Erschütterungen sehr leicht der Gefahr des Springens ausgesetzt. Obgleich zahlreiche Beispiele von gesprungenen gufseisernen Verankerungen vorliegen, werden diese bei kleinen und selbst bei grofsen Schleusen, wie die Figuren 156, 159 u. 160 von den Schleusen zu Geestemünde und des Nord-Ostsee-Kanals zeigen, der bequemen Formgebung wegen mit Vorliebe angewandt. Bei den Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals sind übrigens nur die eingemauerten Teile aus Gufseisen, die frei liegenden Formstücke aus Gufsstahl. Da es auf den geringen Preisunterschied bei so wichtigen Teilen nicht ankommen kann, empfiehlt es sich, anstatt des Gufseisens durchweg möglichst zähen ausgeglühten Gufsstahl zu verwenden, oder diese Formstücke durch Zusammennieten herzustellen, wie bei den Thoren der zweiten Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven geschehen ist.

Zapfen, Pfannen und Halsbänder hölzerner Thore. Je nach der Konstruktion der Thore als Holzthore, eiserne Thore mit nur einer Blechhaut, sowie endlich eiserne Schwimmthore, wird auch die Konstruktion der Zapfen und ihres Zubehörs im einzelnen verschieden sein. Hierzu mögen die in den Figuren 147 bis 162 dargestellten Beispiele, soweit es neben den Figuren nötig, etwas näher betrachtet werden.

In Fig. 147 ist die untere Verzapfung der gröfseren Papenburger Schleuse (vergl. § 18) angegeben. Hier steht die Wendesäule voll und abgesehen von dem 5 cm dicken oberen Rande auch mit einer einzigen Fläche in dem mit der gufseisernen Pfanne verbundenen Schuh. Das Unterrahmstück liegt ausser mit seinen in die Wendesäule dringenden Zapfen noch in 7 cm Länge mit dem vollen Holz auf derselben Fläche. Der obere Rand des Schuhes umfafst jedoch nicht auch die Seitenflächen des Unterrahmholzes, um nicht bei dem Drehen des Thores in die Gefahr des Zerspringens gebracht zu werden, was z. B. für den Fall eines Klemmens des Thorzapfens in der eigentlichen Pfanne bei grofsen Schleusen sehr zu befürchten ist.

Fig. 147. *Papenburg.*
Spurzapfen und Pfanne.
M. 0,025 (1 : 40).

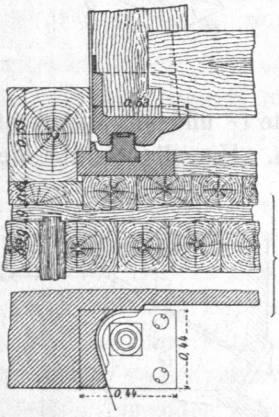
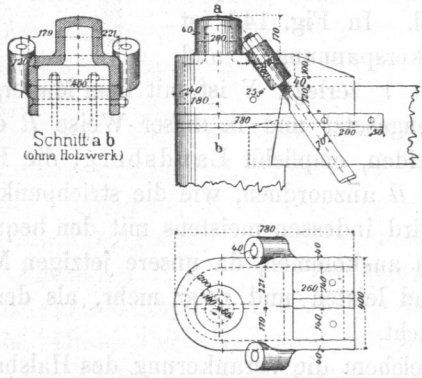


Fig. 148.
Schleusen der Main-Kanalisierung.
Halszapfen und Haube.
M. 0,03.



Diese Befürchtung wird übrigens nicht allgemein geteilt, wie Fig. 148 zeigt. Bei diesem Halszapfen, welcher einem hölzernen Thore von der Main-Kanalisierung angehört, greift die Haube auf das Oberrahmstück über. In der That ist das Zerspringen auch wesentlich vom Material des Schuhes abhängig und eine betreffende Befürchtung nur bei Gufseisen gerechtfertigt, während bei der Verwendung von Gufsstahl eine Anordnung nach Fig. 148 recht zweckmäfsig erscheint.

Die gufseiserne Zapfenplatte in Fig. 147 ist 14,5 cm dick und trägt einen starken schmiedeeisernen, oben verstahlten und abgerundeten Zapfen, dessen Kopf von der umgekehrt konvex gerundeten Spur der Pfanne berührt wird. Die eigentliche Pfanne erweitert sich konisch mit einem Spielraum nach unten hin.

Auch für den oberen Zapfen der Papenburger Schleuse war ursprünglich eine gufseiserne, mit einem angegossenen 20 cm starken Zapfen versehene Haube projektiert, welche die volle Wendesäule umfassen und zugleich zu beiden Seiten die Zugstangen tragen sollte. Bei der Ausführung wurde jedoch an dem oberen Teile der Wendesäule ein Hals nach Fig. 149 angeschnitten. Derselbe erhielt zwar eine vollständige Umkleidung von Schmiedeeisen und es wurde, um die Kraft der Zugstange unschädlich zu machen, gleich unter dem Hals ein starker horizontaler Bügel gelegt. Dennoch mufs diese Konstruktion, sowie die in F. 11, T. VIII angegebene als nicht tadellos bezeichnet werden. Es bildet sich nämlich erfahrungsmäfsig fast bei allen nur mit einem Hals versehenen Holzthoren allmählich ein senkrechter Spalt von dem vorderen Teile des Halses abwärts in der Wendesäule aus, weil die Holzfasern derselben dort nicht ganz gleichmäfsig beansprucht werden. Dieser Spalt ist für die Haltbarkeit des Thores sehr schädlich, zumal wenn er nicht, wie bei Fig. 149 allerdings geschehen, von oben bedeckt wird. Eine den ganzen Kopf der Wendesäule umschliessende und einen sicheren Zapfen tragende Haube ist daher unbedingt zu empfehlen.

Fig. 149. *Papenburg.*

Halszapfen und Halsband.

M. 0,025 (1:40).

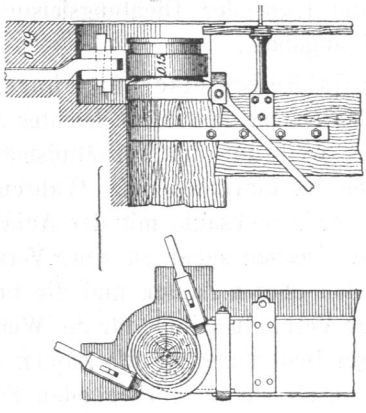


Fig. 150. *Hölzerne Kammerschleuse bei Papenburg.*

Halszapfen und Halsband. Ansicht der Wendenische.

M. 0,025 (1:40).

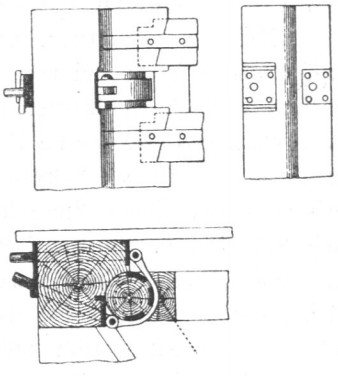


Fig. 151 bis 153.

Oder-Spree-Kanal. Schleuse bei Fürstenwalde. M. 0,03.

Fig. 151. Haube und Halszapfen.

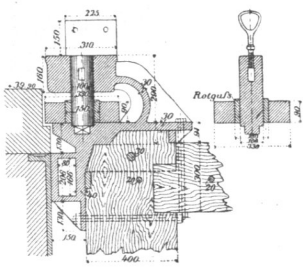


Fig. 152. Halslager.

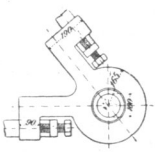


Fig. 153.

Spurzapfen und Schuh.

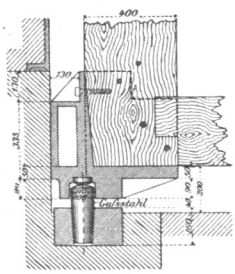


Fig. 150 giebt ein Beispiel einer Verankerung bei hölzernen Seitenwänden, wenn zugleich, wie hier wegen der Laufbrücke gefordert war, der Hals niedriger liegt als die Oberkante des Thores.

Die Figuren 151 bis 153 stellen die Zapfen der hölzernen Thore für die Schleuse bei Fürstenwalde (Oder-Spree-Kanal) dar. Besonders bemerkenswert ist hier der Halszapfen, der nicht am Thore fest sitzt, sondern aus der den Kopf der Wendesäule umschliefsenden Haube leicht herausgezogen werden kann. Die Haube ist so ausgebildet, dafs sie dem Zapfen ein doppeltes Lager bietet (Fig. 151) und dafs sie das Halslager, welches in Fig. 152 dargestellt ist, umschliefst. Sowohl der Haube (Fig. 151) als auch dem Schuh für den unteren Zapfen (Fig. 153) sind seitlich Stemmkörper (Stütz-

winkel) angegossen, welche den Thordruck auf die Wendenische übertragen. Derartige Stemmkörper, wie sie auch die Figuren 134 bis 137, S. 209, F. 13, T. VIII und F. 4, T. X zeigen, erleichtern die Aufstellung des Thores sehr und machen die Excentricität (vergl. S. 169) entbehrlich, indem nur wenige Punkte genau passend einzuarbeiten sind.

Wenn man übrigens die Drehaxe nicht excentrisch legt, so mufs entweder die Dichtungsleiste der Wendesäule einen trapezförmigen Querschnitt erhalten (Fig. 155, auch F. 8 u. 9, T. X), oder es mufs die Lage der Dichtungsleiste gegen die Drehaxe so sein, wie die Figuren 134 bis 137 angeben.

Zapfen, Pfannen und Halsbänder eiserner Thore. Die Anbringung der Zapfen und Pfanne bei eisernen Thoren ist fast stets leichter und befriedigender zu beschaffen als bei hölzernen Thoren, weil auf der verhältnismäfsig kleinen Stelle bei jenen weit eher die nötige Festigkeit zu gewinnen ist. Während bei den Holzthoren meistens eine gewisse Schwächung der Wendesäule mit der Anbringung der Zapfenteile verbunden ist, dienen diese bei den eisernen sogar zu einer Verstärkung. So sind z. B. nach Fig. 134 u. 135, S. 209 die den oberen Zapfen und die untere Pfanne enthaltenden winkelförmigen Eisen wesentliche Verbindungsteile für die Wendesäule und die Rahmstücke, die auch abgesehen von ihrer Bedeutung für die Zapfen fast in derselben Weise hätten angebracht werden müssen. Dafs sie im vorliegenden Falle noch den Rücken der Wendesäule darstellen und bezw. aus Schmiedeeisen und Gufseisen bestehen, ist im § 19 bei Besprechung dieser Thorform angegeben. In ähnlicher Weise verhält es sich mit der in Fig. 154 und 155 dargestellten Verzapfung der ebenfalls in § 19 näher beschriebenen Weserschleuse zu Hameln.

Fig. 154 u. 155. *Hameln.*

Spurzapfen, Pfanne und Zapfenplatte.

M. 0,04 (1:25).

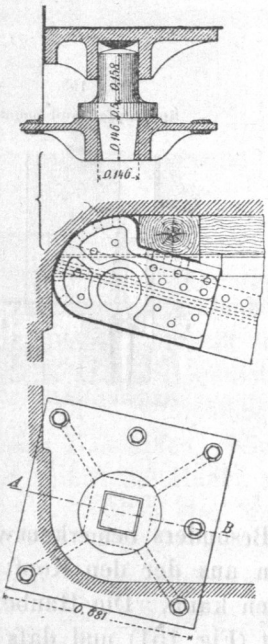
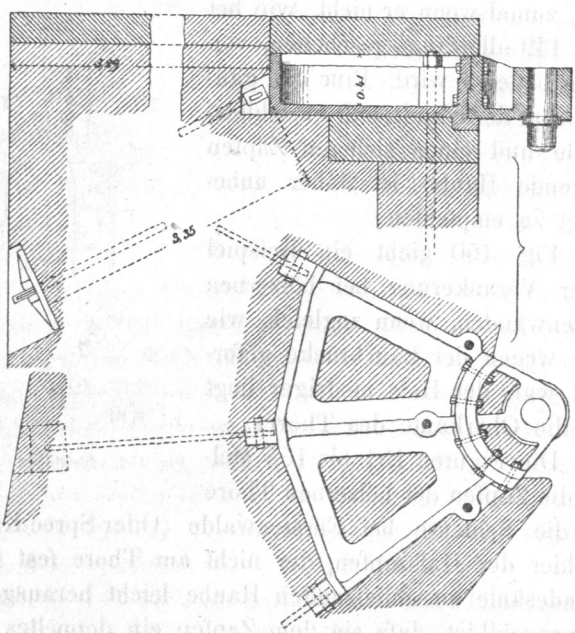


Fig. 156. *Geestemünde.*

Halszapfen, Halslager und Verankerung.

M. 0,02 (1:50).



Wie oben erwähnt, tritt bei den Schwimmthoren die Notwendigkeit auf, die oberen Zapfen gegen den Auftrieb der Thore niederzuhalten. Dies ist bei den Geestemünder

Thoren nach Fig. 156 dadurch geschehen, dafs der obere Zapfen fest in dem nicht allein nach hinten, sondern auch nach unten stark verankerten Zapfenträger steckt und mit dem Kopf die Spur einer Pfanne berührt, welche der unteren Pfanne gleich ist.

Die Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals zu Holtenau und Brunsbüttel (Fig. 157 und 158) besitzen starke Stahlzapfen, die in kräftige gufseiserne Grundplatten eingesetzt sind. Die Platten sind vergossen und mit Steinschrauben befestigt. Die Gleitfläche ist eine Kugelkalotte, welche denselben Durchmesser hat und in demselben Sinne gekrümmt ist, wie die Pfanne. Die Pfanne besteht aus zwei Teilen: in ein geschmiedetes Stück, welches an die Wendesäule durch Schrauben befestigt ist, ist die eigentliche aus Stahl gefertigte Pfanne eingesetzt. Beide Teile sind durch versenkte Niete miteinander verbunden.

Fig. 157 u. 158. *Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals.*
M. 0,04 (1:25).

Fig. 157. Spurzapfen und Pfanne eines Flutthores.

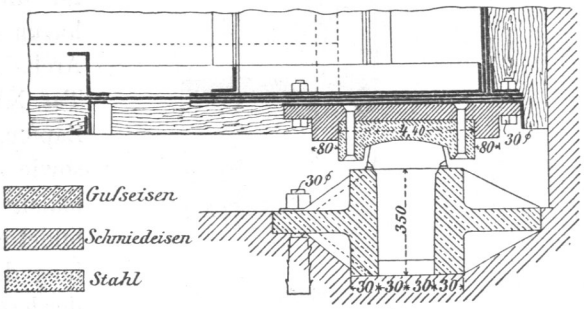
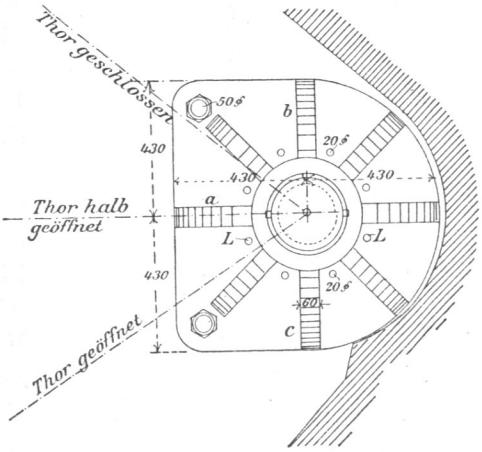


Fig. 158. Spurzapfen und Zapfenplatte eines Flutthores.



Die drei Rippen *a b c* fehlen auf der unteren Seite.

L Luftlöcher zum Vergiefsen der Platte.

Die Halszapfen der Schleusenthore, von denen Fig. 159 u. 160 denjenigen der Ebbethore zeigt, sind hohl, um das Druckwasserrohr für die Lenzpumpe einzuführen. Bei den Flutthoren ist der stählerne Zapfen unmittelbar auf die Wendesäule aufgeschraubt, bei den Ebbe- und Sperrthoren dagegen ist, wie Fig. 159 zeigt, zunächst eine stählerne Hülse auf die Wendesäule geschraubt, in welche der stählerne Zapfen passend eingedreht ist. Um den oberen Teil des Zapfens greift das aus einem Stahlgufsstück bestehende, einen Hohlcylinder[71]) bildende Halsband. Zwischen dem Zapfen und dem Hohlcylinder des Halsbandes ist nach der Nische zu ein kleiner Spielraum gelassen, damit bei geschlossenen Thoren der Zapfen durch den Stemmdruck nicht beansprucht werden kann. Das Gufsstahlstück, welches den Zapfen umschliefst, stemmt sich gegen einen grofsen eingemauerten Körper aus Gufseisen mit einer Fläche, welche einen Teil eines Cylindermantels bildet. Beide Teile werden, nachdem das Gufsstahlstück richtig eingestellt ist, durch senkrechte Keile *a* (Fig. 160) gegeneinander festgelegt. Die Anker, welche an der Wendenische ein Scharnier *f* mit senkrechter Axe haben, werden mit dem Gufsstahlstücke durch Keile *b* verbunden. Mit Hilfe dieser letzten Keile und der vorhin erwähnten Gufseisenkörper, die man verschieden stark

[71]) Die Seitenflächen der Zapfen hat man nachträglich nicht cylindrisch gemacht, sondern, um eine geringe Beweglichkeit zu ermöglichen, oben und unten etwas eingezogen, sodafs sie etwa ellipsoidenartig sind.

Fig. 159 u. 160.
Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals.
Halszapfen und Halsband eines Ebbethores. M. 0,02 (1 : 50).

Fig. 159. Vertikalschnitt.

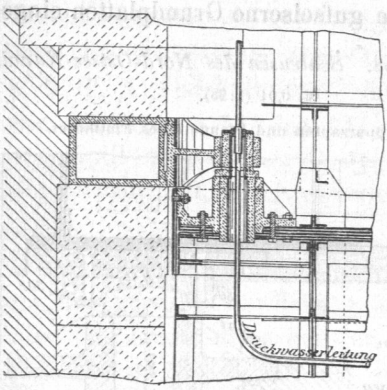
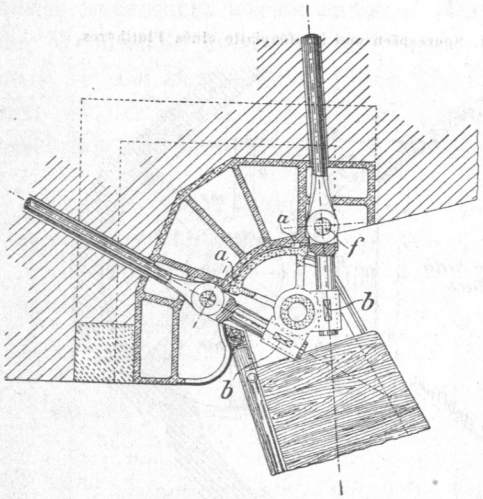


Fig. 160. Grundrifs.



machen kann, ist infolge der Scharniere in den Ankern ein genaues Einstellen des Halszapfens möglich. Die Anker der Ebbethore bleiben in wagerechter Lage, während diejenigen der Flutthore nach unten geführt sind, wie Fig. 161 zeigt, um mehr Mauerwerk zu fassen.

Endlich seien noch die Zapfen der Thore für die zweite Hafeneinfahrt zu Wilhelmshaven erwähnt, welche in der Zeitschr. des Arch.- und Ing.-Vereins zu Hannover 1891, Taf. XVI, Fig. 8 bis 13 abgebildet sind. Der Zapfen, die Platte, in welcher derselbe steckt, sowie die Pfanne bestehen hier sehr zweckmäfsig aus Gufsstahl. Der Kopf des Zapfens bildet eine Kugelkalotte, desgleichen die Höhlung der Pfanne, und zwar ist der Radius der letzteren etwas gröfser als der des Zapfens. Das Halsband bildet ein Gufsstahlkörper, in welchem der gufsstählerne Zapfen durch eine als Haken ausgebildete Schraube mittels schmiedeeiserner Unterlagsplatte gehalten wird. Der Gufsstahlkörper des Halsbandes stützt sich mittels cylindrischer Fläche gegen einen ebenso gestalteten Quadranten aus Schmiedeeisen und ist mit demselben durch Schrauben und Keile verbunden, wodurch ein genaues Einstellen des Zapfens möglich ist. An den schmiedeeisernen Quadranten greifen die Maueranker an. Der am Halsband festsitzende Zapfen greift mit seinem unteren Ende in die gufsstählerne, auf die Wendesäule festgeschraubte Pfanne ein.

Fig. 161. *Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals.*
Verankerung eines Flutthores.

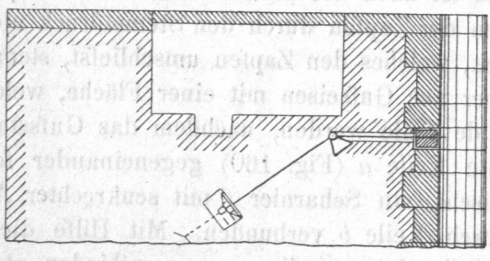
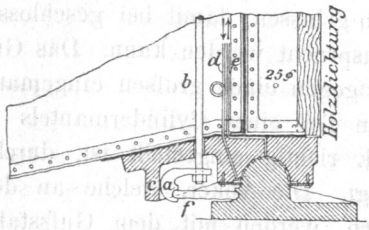


Fig. 162. *Barry-Dock.*
Spurzapfen. M. 0,025 (1 : 40).



Eine ungewöhnliche Zapfenkonstruktion findet man an den Thoren des Barry-Docks. Der Zapfen hat hier behufs Verhütung einer seitlichen Verschiebung eine überhöhte Halbkugelform erhalten (Fig. 162), welche in einigen lotrechten Kreisen vertiefte

Schmierfurchen aufweist. Die Pfanne ist unten rund um den Zapfen durch eine angeschraubte Platte abgeschlossen und erhält von oben Schmiermaterial unter hohem Druck durch das Rohr d zugeführt, während durch ein zweites Rohr e das in den Schmiernuten etwa vorhandene Wasser entweichen kann. Der Nutzen dieser Anordnung ist zweifelhaft, da die Unterbrechung der Gleitflächen des Zapfens durch Schmierrinnen leicht zum Einfressen Veranlassung geben kann. Die Winkelhebel-Vorrichtung $b\,a\,f$ soll zusammen mit den Keilen am Halsband zum genauen Einstellen des Thores dienen.[72]) Wie dies möglich sei, ist nicht recht verständlich.

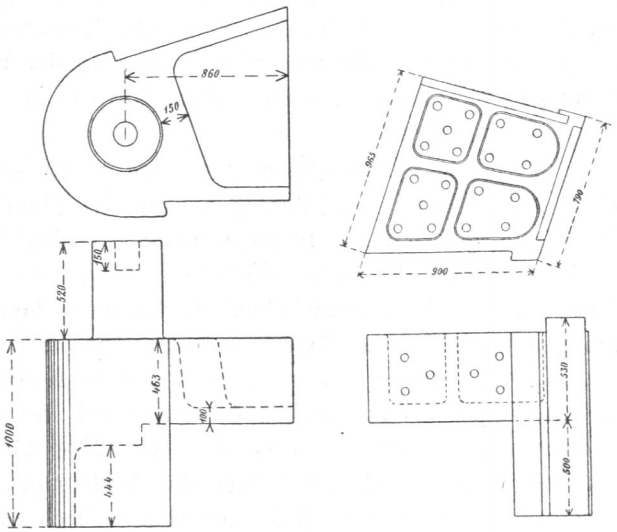
Stemmlager. Die Ständer-Stemmthore verlangen für den oberen Riegel, welcher den ganzen Stemmdruck aufzunehmen hat, eine besondere Ausbildung der Riegelenden. Die Figuren 163 und 164 zeigen die für die Thore der Schleuse für die transatlantischen Dampfer zu Havre gewählte Anordnung. An der Wendesäule endet der Riegel in eine Stahlhaube von 1,2 m Höhe, welche auf einen Umfang von 0,8 m mit dem Mauerwerk der Nische in Berührung tritt, wenn das Thor geschlossen ist. Der Druck auf das Granitmauerwerk der Nische beträgt dann 51,2 Atm. An der Schlagsäule trägt jeder Riegel ebenfalls einen Stahlschuh von 0,79 m horizontaler Breite. Da die Kopffläche dieses Schuhes eben und der Schuh am Riegel nicht beweglich ist, so kann eine gleichmäfsige Druckübertragung nur bei einer bestimmten Temperatur stattfinden, vergl. § 16.

Fig. 163 u. 164.

Schleuse für transatlantische Dampfer zu Havre.

Haube der Wendesäule. Stahlschuh der Schlagsäule.

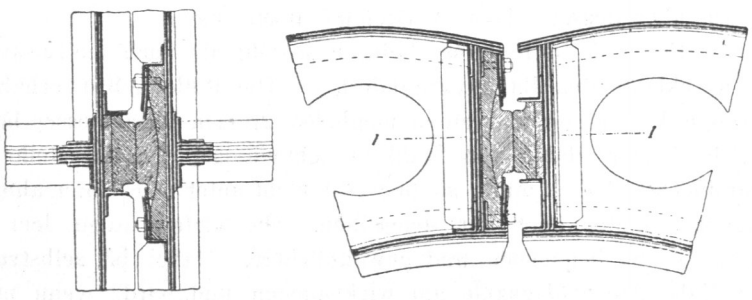
M. 0,025 (1:40).



Diese statische Unklarheit hat Verfasser bei den Sperrthoren der Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals dadurch vermieden, dafs er den Riegeln an den Schlagsäulen bewegliche Stemmkörper gab, s. Fig. 165 u. 166. Die beiden beweglichen Stemmkörper eines Thorpaares bilden ein Universalgelenk. Die Körper haben nämlich cylinderförmig abgedrehte Rückseiten, die Axen der Cylinder haben aber verschiedene Lage, indem an dem einen Thore die Axe senkrecht steht, an dem anderen aber wagerecht liegt.

Fig. 165 u. 166. *Stemmlager.* M. 0,04 (1:25).

Vertikalschnitt *I I.* Horizontalschnitt.



[72]) Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1888, S. 428.

Dadurch ist es erreicht, dafs die ebenen Vorderflächen der Stemmkörper sich stets voll berühren, den Stemmdruck gleichmäfsig übertragen, und dafs die Richtung des Stemmdruckes immer durch die Mitte der Axe des senkrechten Cylinders geht. Durch starke Federn werden die Stemmkörper in die mittlere Lage zurückgeführt, wenn die Thore geöffnet sind. Statt der beweglichen Körper mit cylindrischer Rückfläche könnte man auch einen festen und einen beweglichen Körper mit kugelförmiger Rückfläche anordnen.

Für die Ebbethore derselben Schleusen hat man, obwohl sie später entworfen wurden, aus unbekannten Gründen die beweglichen Stemmkörper fortgelassen und wieder feste wie bei der Schleuse zu Havre, wenn auch von geringerer Breite, angeordnet. Nachträglich hat man auch die beweglichen Stemmkörper der Sperrthore beseitigt.

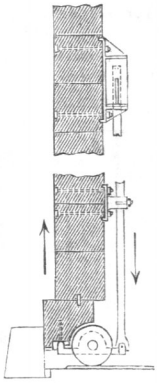
An der Wendenische geschieht die Übertragung des Stemmdruckes vom Riegel auf die Steine bei den Sperr- und Ebbethoren des Nord-Ostsee-Kanals in ähnlicher Weise wie in Havre durch eine bearbeitete Cylinderfläche, die sich bei geschlossenem Thore an den Stein legt, beim Öffnen derselben sich aber infolge der excentrischen Stellung der Axe der Wendesäule frei dreht. — Dafs es auch bei Ständerthoren leicht möglich ist, die in mancher Beziehung gefährliche Excentricität der Drehaxe zu vermeiden und einen regelrechten stählernen Stemmkörper in die Wendenische einzubauen, der bei der Bewegung des Thores mit dem Stemmkörper an der Wendesäule in Berührung bleibt, ist in § 17 erwähnt.

Laufrollen. Bereits in § 18 und 19 ist gelegentlich der Beschreibung einzelner Thorkonstruktionen angeführt, dafs man die Flügel während der Bewegung mitunter durch Laufrollen stützt. In Deutschland, Frankreich und den Niederlanden sind diese Rollen allerdings nicht sehr eingebürgert und werden mit Zunahme der eisernen Schwimmthore immer mehr verschwinden. In England dagegen werden sie noch jetzt ziemlich häufig angewandt. Der Nutzen derselben für die senkrechte Unterstützung ist allerdings unzweifelhaft, dagegen ebenso, dafs je mehr Gewicht die Laufrolle vom Thore aufzunehmen hat, desto ungünstiger dieselbe durch die Verbiegung des Thores während des Öffnens wirkt. Denn es liegt dann der Widerstand gegen die Bewegung, abgesehen von dem ebenfalls schon tief liegenden Widerstand des Wassers, ganz unten. Die Angriffskraft pflegt aber (s. § 22) meist sehr hoch zu liegen und es entsteht daher ein auf die Verbiegung des Thores in vertikalem Sinne wirkendes Kräftepaar. Je mehr nun der Schleusenboden einem Verschlammen oder Versanden ausgesetzt ist, desto gröfser wird der Widerstand der Rollen. Es sollten daher Laufrollen nur dann angewandt werden, wenn sie ganz unvermeidlich sind, oder wenn in ihrer Nähe auch der Angriffspunkt der bewegenden Kraft liegt, s. § 22. Um die Übelstände möglichst abzuschwächen, ist stets eine entsprechende Laufschiene in dem Thorkammerboden und mindestens etwa 10 cm über dessen Fläche vortretend anzubringen.

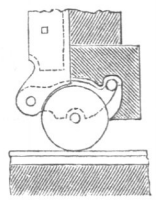
Es wird die Reibung dadurch sowohl als auch die Zusandung der von der Rolle zu durchlaufenden Bahn vermindert. — Die Rolle selbst erhält am besten eine kugelförmige Abrundung und einen möglichst grofsen Durchmesser bei thunlichst dünner Axe, welche letztere daher von Stahl zu nehmen ist. Da die Rolle mindestens etwa 30 cm Durchmesser halten mufs, so liegt sie nicht unter dem Unterrahmstück, sondern entweder zum Teil hinter oder vor demselben. Die letztere (also dem Oberwasser zugekehrte) Lage ist die bequemste und gewöhnlichere. Dabei ist selbstverständlich die Rolle in der Nähe der Schlagsäule am wirksamsten und wird, wenn nicht an dieser selbst, so doch in ihrer Nähe an dem Unterrahmstück, besser aber an mehreren Riegeln gleichmäfsig befestigt. Eine solche Befestigung zeigt die Skizze Fig. 104, S. 191 von den

Schleusenthoren des Kaledonischen Kanals. Es ist danach der Stiel, welcher unten die Rolle trägt, oben und unten mit dem Thorflügel verbunden, jedoch so, dafs er durch Keile niedergetrieben werden kann. Statt dieser das Thor unmittelbar hebenden Keilvorrichtung hat man an einigen englischen Schleusen auch wohl eine nach Fig. 167 hebende Keilvorrichtung ausgeführt oder endlich gar den Kopf des Stieles mit einem Hebel in Verbindung gebracht, welche den Stiel mit grofser Kraft niederdrückt und dadurch mittels der in Fig. 168 skizzierten Verbindung der Rolle mit dem Stiel und dem Thore das letztere hebt. — Übrigens vergleiche man die bereits in § 18 bei Besprechung gröfserer Holzthore erwähnten Laufrollen.

Fig. 167 u. 168.

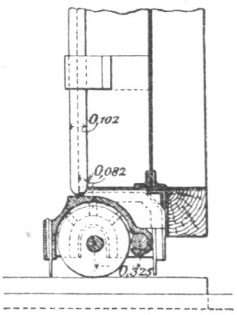


Die Rollen sind ein Element an den Stemmthoren, welches ihre statische Unklarheit noch mehr vergröfsert. Offenbar hängt die Belastung der Rollen von der Gröfse des Zuges Z des Halsbandes ab. Ist der Zug Z so stark, wie ihn die Formeln 27 in § 16 angeben, so haben sie gar keine Belastung. Liegt aber die Rollenbahn ungleich oder ist dieselbe durch Schlamm- oder Sandablagerungen erhöht, so kann unter Umständen für einen Teil der Drehung des Thores der Zug Z zu 0 werden, und die Rollen können nicht nur das ihrer Lage entsprechende Thorgewicht, sondern eine in der Thormitte liegende Rolle, deren Bahn besonders hoch liegt, kann sogar das ganze Thorgewicht zu tragen bekommen.



Der obige Satz, dafs man den Rollen möglichst dünne Axen geben mufs, bezieht sich daher nur auf die Wahl des vorzüglichsten Materials für dieselben, während im übrigen auf bedeutende Belastungen gerechnet werden mufs. Es würde daher zweckmäfsig sein, wenn die Stiele, welche die Rollen in obigen Figuren nach unten drücken, am Kopf durch Federn oder Gummipuffer anstatt durch feste Keile niedergehalten würden. Dadurch würde die Belastung der Rollen in gewisse Grenzen eingeschränkt, was namentlich für die nach der Thormitte zu liegenden wichtig wäre.

Fig. 169. M. 1:50.



Zur Beseitigung auf der Rollenbahn sich etwa vorfindender Fremdkörper hat man in England vor und hinter den Rollen Schabbleche angebracht (Fig. 169), klagt aber trotzdem viel über schwere Unterhaltung und beginnt sie in neuester Zeit allem Anscheine nach aufzugeben.

Vorrichtungen zum Stützen der offenen Thore. Zum Schlusse dieses Paragraphen möge auf die Unterstützung der geöffneten Thore in den Nischen zurückgekommen werden. Eine solche ist besonders nötig bei hölzernen Thoren, weil diese leichter durchhängen, als eiserne. Sie ist ferner um so nötiger, je gröfser die Länge des Thores im Verhältnis zur Höhe ist, und je längere Zeit das Thor offen steht. Aber auch bei eisernen Thoren ist eine Unterstützung wünschenswert, wenn dieselben in offenem Zustande starkem Wellenschlage ausgesetzt sind. Man wird dieselbe also namentlich bei den äufseren Flutthoren von Seeschleusen anbringen.

Bislang geschah die Unterstützung in der Regel von unten, indem durch Hebelvorrichtungen oder dergl. die Schlagsäule des in der Nische liegenden Thores gestützt wurde, vergl. Fig. 170 u. 171. Diese Anordnungen lassen sich in bequemer Weise nur beim Bau der Schleuse oder wenigstens, wenn diese trocken gelegt ist, anbringen, und

sind auch später, wenn sie schadhaft werden, schwer auszubessern. Es verdient daher eine Ausführungsweise erwähnt zu werden, die ganz über Wasser liegt und jederzeit nachträglich angebracht werden kann. Dieselbe ist bei einer Kammerschleuse im Kanal zwischen dem Leck und der Merwede bei Gorinchem angewendet und durch Fig. 172 dargestellt.[73]) Mittels Steinschrauben ist eine Platte auf dem Mauerwerke der Nische befestigt, welche einen Ausleger mit einer Hülse am freien Ende trägt, durch die in senkrechter Richtung eine Schraube gesteckt ist. Die Schraube hat unten ein Auge, in welchem ein Bügel befestigt ist, der unter einen Knaggen an der Schlagsäule des offenen Thores greift. Zieht man die Mutter der Schraube an, so wird die Schlagsäule gehoben und damit das Thor an seinem freien Ende gestützt.

Fig. 170 u. 171. *Brake.* Vorrichtung zum Stützen der Thore. Vertikalschnitt, Schnitt JK u. Grundrifs. M. 0,02 (1:50).

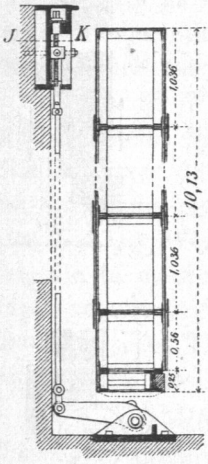
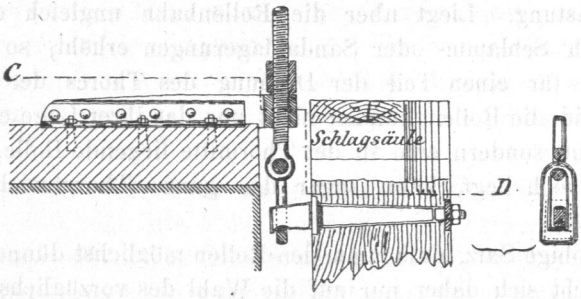
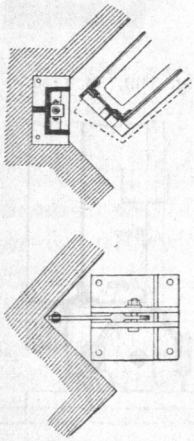


Fig. 172. *Merwede-Kanal.* Vorrichtung zum Stützen der Thore.





Die Einstellung dieser Anordnung erfordert immerhin einige Zeit, eignet sich also besonders für Thore, die längere Zeit offen stehen. Aufserdem greift der Zug nicht in der Thormitte an, wirkt also etwas verdrehend, was aber leicht unschädlich gemacht werden kann. Kommt es darauf an, die Stützung und Lösung des Thores schneller ausführen zu können, so empfiehlt sich statt der Schraube mehr eine Hebelvorrichtung, die ebenso leicht oben anzubringen ist und für die man den Angriffspunkt auch leicht über die Mitte der Schlagsäule verlegen kann. Wenn der Hebel an seinem langen Ende nach unten gedrückt und das Thor dadurch angehoben ist, wird er durch irgend eine Vorrichtung, z. B. durch eine Überwurfs-Krampe in dieser Stellung erhalten.

§ 21. Sonstige Thore: Doppelthore und Fächerthore. Einflügelige Drehthore und Drehpontons. Klappthore. Schiebe- und Schützenthore. Pontons.

Doppelthore. Unter besonderen Umständen kann es wünschenswert sein, statt der üblichen Drehthore andere Anordnungen von Thoren anzuwenden. Dies ist namentlich der Fall, wenn von der Schleuse gefordert wird, dafs sie sich auch gegen den höheren Wasserdruck von aufsen oder von innen leicht öffnen lassen soll. Das erstere kommt vor, wenn die Schleuse auch als Entlastungsschleuse eines angeschwollenen Wasserlaufes zu dienen hat, um denselben vor zu hoher Anschwellung zu schützen, das zweite, wenn sie einen höheren inneren Stand nach Belieben halten und etwa plötzlich zum Zwecke von Spülungen das Binnenwasser nach dem niedrigeren Aufsenwasser hin ausströmen lassen soll.

[73]) De ingenieur, Jahrg. 5, No. 14, und Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 282.

Zu diesen verschiedenen Zwecken sind in Holland gegen Ende des vorigen und zu Anfang dieses Jahrhunderts verschiedene sinnreiche Kombinationen von Drehthoren erfunden, welche meistens nach ihren Erfindern genannt werden. Dieselben sind jedoch fast alle in ihrer Anwendung zu umständlich und in der Ausführung zu kostspielig, als dafs sie einen grofsen praktischen Wert erhalten hätten. Es mag deshalb von einigen eine flüchtige Andeutung genügen. — Die in Fig. 173 skizzierte, bei Gouda und Schiedam ausgeführte Schleuse von Donker zeigt vier Thorflügel, welche sich als Diagonalen eines Rechtecks gegeneinander stützen und geschlossen von jeder Seite einen höheren Wasserstand halten können. Ist das Wasser aufsen höher, so stemmen sich die Binnenthore wie gewöhnliche Stemmthore. Ist dagegen das Binnenwasser höher und soll dennoch die Schleuse geschlossen bleiben, so brauchen nur durch Schützen in den Binnenthoren die dreieckigen Räume der Thorkammern gefüllt zu werden, um den Druck auf die äufseren Thore zu übertragen. Sobald aber die Umläufe zwischen diesen Räumen und dem Aufsenwasser geöffnet und jene Schützen geschlossen werden, drängen mit ihren Spitzen oder Schlagsäulen die inneren Thore die äufseren auseinander und es legen sich alle Flügel in die Nischen, sodafs das Binnenwasser ausströmt. Aber die Schleuse kann erst wieder geschlossen werden, wenn das Wasser sich nahezu ausgespiegelt hat.

Fig. 173.

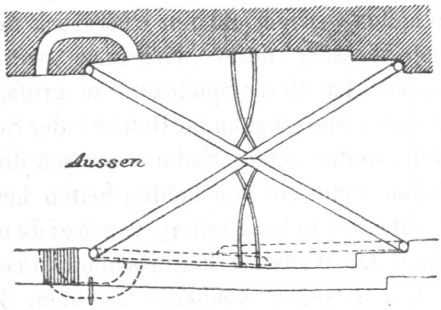
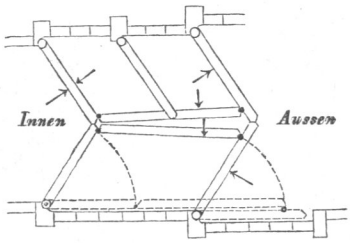


Fig. 174.



Die in Fig. 174 angedeutete, bei Terneuzen ausgeführte Schleuse von Alewyn gestattet eine Öffnung gegen den höheren Wasserdruck dadurch, dafs die hintereinander liegenden zusammengehörenden Flügel der beiden Drehthore mit je einem längeren Zwischenflügel gekuppelt sind. Die hierdurch entstehenden rautenförmigen Räume können nach Belieben mit dem höheren Wasser in Verbindung gesetzt und gefüllt oder nach dem Unterwasser entleert werden. In ersterem Falle, der durch die Pfeile in der oberen Hälfte der Zeichnung ausgedrückt ist, wird durch den Überdruck des hinteren Thores die Schleuse geschlossen erhalten. Sobald aber der genannte Raum entleert wird (untere Hälfte der Figur), drängen, trotz des Druckes gegen das obere nicht ganz geschlossene Thor, die längeren Kuppelwände die Flügel dieses Thores, sowie des neutralen unteren Thores in die Nischen. Der unbekleidete Zwischenflügel auf der oberen Seite der Figur bedeutet nur eine Aussteifung der langen Kuppelwände.

Fächerthore. Eine glücklichere Lösung der Aufgabe zeigt die in Fig. 175 u. 176 (S. 238) dargestellte Fächerschleuse von Blanken. In ähnlicher Weise sind in Holland mehrere Schleusen erbaut, dagegen soweit bekannt in Deutschland nur die Schleusen des ältesten Bassins in Bremerhaven und einer Abzweigung des Nord-Ostsee-Kanals nach Rendsburg. Der gewöhnlichste Zweck solcher Schleusen ist, aus einem Binnenbecken zur Spülung des Vorhafens während des niedrigen Aufsenwassers eine starke Ausströmung zu veranlassen. Die allgemeine Anordnung geht aus den genannten Figuren leicht hervor, wenn namentlich die nur durch punktierte Schlitze angedeuteten Schützen in den Kanälen *a b* und *c d e* (Fig. 176) beachtet werden. Indem die zwei ungleich langen, in der Regel sich wie 5 : 6 in der Länge verhaltenden Flügel jeder Seite fest miteinander zu einer Fächerform verbunden sind, und hinter dem gröfseren Flügel ein im Grundrifs nahezu einen Quadranten bildender Raum vorhanden ist, kann durch Füllung dieses Raumes mit Aufsenwasser die Schleuse bei jedem Wasserstande geschlossen gehalten werden, auch wenn an der Drempelseite der kleineren Flügel das Wasser höher steht. Umgekehrt kann durch Entleerung jenes Raumes und bei höherem Wasserstande an der Binnenseite des Thores

durch den Überdruck der gröfseren Flügel der ganze Fächer in jene Nische zurückgedrängt und das ganze Thor geöffnet werden. Alsdann strömt das Binnenwasser aus. Das Thor läfst sich aber auch jederzeit wieder schliefsen, indem man nach Absperrung des Kanals *a b* dem ausströmenden Binnenwasser mittels des Kanals *e d c* Eintritt in die Nische verschafft.

Fig. 175 u. 176.
Schleuse mit Fächerthoren bei Vreeswijk.

Fig. 175. Lageplan. M. 0,0004.

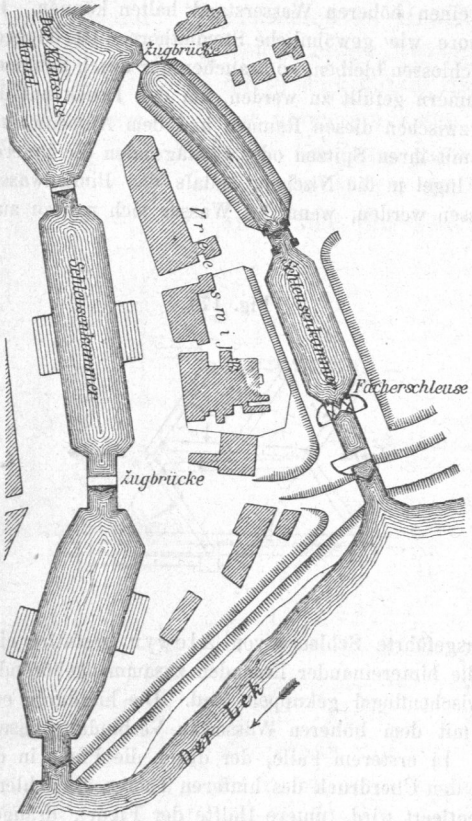
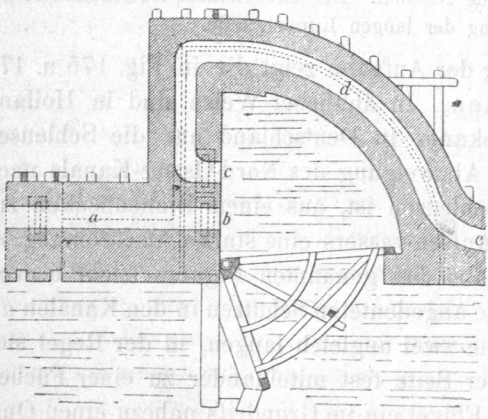


Fig. 176. Grundrifs. M. 0,004 (1:250).



Die Konstruktion dieser Thore unterscheidet sich in mehreren Punkten von der Konstruktion der gewöhnlichen Drehthore. Zunächst mufs der Spielraum zwischen dem gröfseren Flügel und dem zugehörigen Teil der Thorkammer sowohl an dem Boden, als an der gekrümmten Seitenwand möglichst klein gehalten werden, um den Überdruck des höheren Wassers desto wirksamer werden zu lassen. Ist dieser Spielraum zu grofs, so hat man Schwierigkeiten im Betriebe der Schleuse, siehe weiter unten. Sodann müssen die Thorflügel, wenn sie von beiden Seiten her höheres Wasser kehren sollen, von beiden Seiten einen den Wasserverhältnissen entsprechenden Druck ertragen können. Zu dem Zwecke hat man den Holzthoren anfangs an beiden Seiten eine Bohlenbekleidung gegeben, jedoch nach Storm-Buysing gefunden, dafs sich der innere Raum mit Schlick u. s. w. gefüllt hat und dafs die Hölzer sehr bald von Fäulnis angegriffen sind. Der Genannte empfiehlt daher nur eine einfache Bekleidung, jedoch unter Anwendung von geeigneten Eisenbeschlägen auf derselben, um ein Abdrücken der Bohlen durch den von der anderen Seite kommenden Wasserdruck zu verhüten. Es ist zweifellos, dafs bei Anwendung einer Eisenblechkonstruktion wie in Rendsburg gerade diese Thore sehr viel günstiger als aus Holz hergestellt werden können. Endlich ist eine besondere Sorgfalt auf die Verbindung der beiden Flügel, und zwar sowohl auf Druck als auf Zug, zu verwenden und auch hierbei bietet die Eisenkonstruktion vor der Holzkonstruktion wesentliche Vorzüge. Es wird daher davon Abstand genommen, die Holzkonstruktion eingehender zu besprechen und auf die Handbücher von Storm-Buysing und Hagen (s. das Litteratur-Verzeichnis) verwiesen.

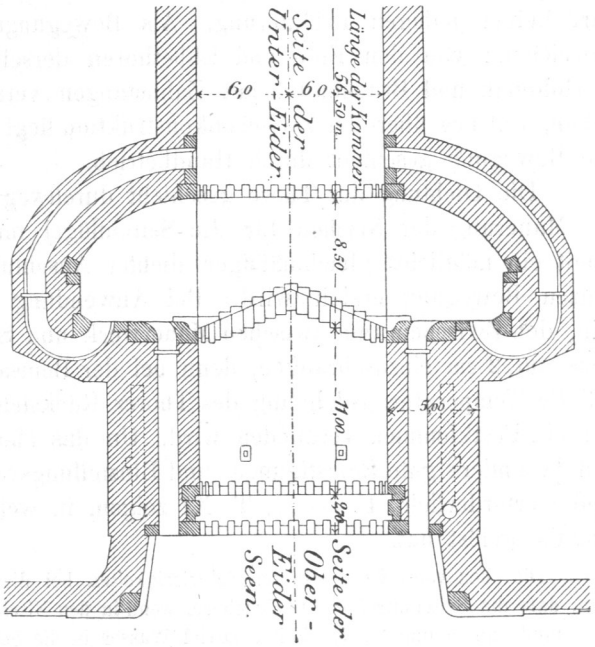
Dagegen möge nachstehend eine Darstellung und Beschreibung der Fächerthore der neuen Rendsburger Kammerschleuse, als der neuesten derartigen Ausführung und so viel bekannt, der ersten in Eisen, folgen.

Die Schleuse besitzt nach der Untereider, welche einen höchsten Flutwasserstand von + 22,0 und einen niedrigsten Ebbewasserstand von + 18,3 hat (Null = — 20 A. P.), ein Flut- und ein Ebbethor; nach den Obereider-Seen zu dagegen Fächerthore, s. Fig. 177. Die Obereider-Seen stehen in offener Verbindung mit dem Nord-Ostsee-Kanale und der Wasserspiegel in denselben kann zwischen 20,27 und 19,27 schwanken, während derselbe im Mittel 19,77 betragen soll. Die Stemmflügel der Fächerthore sperren gegen das Flutwasser der Untereider. Fällt bei Ebbe das Wasser in der Untereider tiefer ab, als in den Obereider-Seen, so können die Stemmflügel der Fächerthore auch bei offenen Ebbe- und Flutthoren des anderen Hauptes dadurch geschlossen gehalten werden, dafs man hinter die Seitenflügel das hohe Wasser aus den Obereider-Seen eintreten läfst. Es können also Schiffe aus der niedrigeren Untereider in die Schleuse einfahren und nach Schlufs des Ebbethores in die Obereider geschleust werden, nachdem man den Wasserstand in der Schleusenkammer auf den der Obereider-Seen und der Nischen der Fächerthore gehoben hat.

Fig. 177. *Schleuse mit Fächerthoren bei Rendsburg.*

Grundrifs des Hauptes an den Obereider-Seen.

M. 0,002 (1 : 500).



Über die Konstruktion der Rendsburger Thore (T. XI, F. 1—12) ist zu bemerken, dafs die beiden Flügel (Stemmflügel und Seitenflügel) Riegelthore sind. Die Abstände der sechs unteren Riegel betragen 0,846 m, dann 0,968 und 1,121 m. Der Seitenflügel endigt in dieser Höhe, während der Stemmflügel noch ein weiteres Riegelfeld von 1,121 m aufweist. Beide Flügel haben im unteren Teile Schwimmkästen, die durch doppelte Aufsenhaut von Eisen (Flufseisen) gebildet sind. Der Schwimmkasten des Stemmflügels (F. 1) reicht bis zur Höhe + 19,76, der des Seitenflügels nur bis + 17,95. Oberhalb des Schwimmkastens setzt sich bei dem Stemmflügel nur die nach der Untereider bezw. der Kammer zu gelegene Haut fort, während die andere Seite offen ist. Der Seitenflügel (F. 2) dagegen hat über dem Schwimmkasten nur eine aus gespundeten, senkrecht stehenden Bohlen hergestellte Holzbekleidung, welche nach dem Innern der Nische zu gelegen ist.

Die Riegel bestehen bei dem Stemmflügel, mit Ausnahme des zweiten von oben, der durch Gitterwerk gebildet wird, aus Stehblech mit Winkelgurtungen. Bei dem Seitenflügel sind nur der obere Riegel, sowie diejenigen, welche den Schwimmkasten oben und unten begrenzen, mit vollem Stehblech versehen, während alle übrigen statt dessen

Gitterwerk haben. Als senkrechte Aussteifungen besitzt der Stemmflügel eine in der Mitte von oben bis unten durchgehende Blechwand, welche auch den Schwimmkasten in zwei Teile trennt. Aufserdem haben beide Thore eine gröfsere Anzahl senkrechter Zwischenversteifungen für die Haut aus ⊥-Eisen.

Der Schwimmkasten des Seitenflügels ist von der Wendesäule aus zugänglich, von welcher auch die einzelnen Zellen der einen Hälfte des Stemmflügels bestiegen werden können. Für die andere Hälfte dieses letzteren ist von der Schlagsäule aus ein wasserdicht verschliefsbarer Zugang angeordnet.

Die Aussteifung (Zwischenkonstruktion) zwischen beiden Flügeln (F. 3 u. 12) bedarf keiner näheren Erläuterung. Als Bewegungsvorrichtung hat das Fächerthor — abweichend von den Flut- und Ebbethoren derselben Schleuse, welche wie die Thore in Holtenau und Brunsbüttel mit Zahnstangen versehen sind — ein Zahnsegment erhalten, welches über der Zwischenkonstruktion liegt (siehe die punktierte Linie in F. 4). Die Bewegung geschieht durch Handbetrieb.

Die Dichtung der Thore geschieht durchweg mit Holzleisten, vergl. F. 3, 4 u. 5. Die Mauerung der Nischen für die Seitenflügel mufs eine besonders sorgfältige sein, damit ein möglichst gleichmäfsiger dichter Anschlufs des Seitenflügels während seiner ganzen Bewegung erzielt wird. Bei Anwendung aller Vorsicht wird man im stande sein, den Zwischenraum zwischen Mauerwerk und Seitenflügel bei eisernen Thoren höchstens auf 2 cm einzuschränken, denn bei der Bemessung des Zwischenraumes mufs auch auf die Temperaturausdehnung des Thores Rücksicht genommen werden, damit im Sommer ein Festklemmen vermieden wird. Um das Thor recht genau montieren zu können, sind besonders gute Befestigungs- und Einstellungsvorrichtungen für Halslager und Halszapfen erforderlich. F. 7—11, T. XI zeigen, in welcher Weise man in Rendsburg diese Aufgabe gelöst hat.

Die oben vorläufig erwähnten Schwierigkeiten bei diesem Betriebe der Schleuse bestanden nun darin, dafs die Seitenflügel der Fächerthore, wenn in den Nischen hinter denselben das höhere Wasser der Seen stand, unten und an den Seiten zuviel Wasser in die Schleuse liefsen, um diese bei noch geschlossenen Ebbethoren mit Hilfe der Schützen in diesen letzteren gegen die Untereider ausspiegeln zu können. Der Wasserstand in der Schleuse blieb vielmehr trotz offener Schützen soviel höher als in der Untereider, dafs man mit den vorhandenen Windevorrichtungen nicht im stande war, die Ebbethore gegen den Stau zu öffnen. Man hat diesen Übelstand durch nachträgliche Aufstellung stärkerer Windevorrichtungen beseitigt. Bei Neuanlagen wird man denselben auch dadurch abstellen können, dafs man entweder besonders grofse Schützen in den Ebbethoren oder besonders grofse Umläufe hinter denselben anbringt, oder dafs man an den Seitenflügeln der Fächerthore besondere Dichtungen anbringt, die nur für diese Betriebsweise in Thätigkeit zu treten brauchen. Das Spülen der Schleuse aus den Obereider-Seen geschieht bei niedrigem Stande der Untereider in derselben Weise, wie oben (S. 238) beschrieben.

Die eben geschilderte Verwendung der Rendsburger Schleuse ist übrigens die bei weitem seltenere. Weit häufiger ist der Wasserstand der Untereider höher als der in den Seen und in diesem Falle wird das Fächerthor als gewöhnliches Stemmthor im Unterhaupte einer Schleuse verwendet. Alsdann steht die Nische für den Seitenflügel des Fächerthores in offener Verbindung mit der Kammer der Schleuse, sodafs in beiden Räumen der gleiche Wasserstand herrscht.

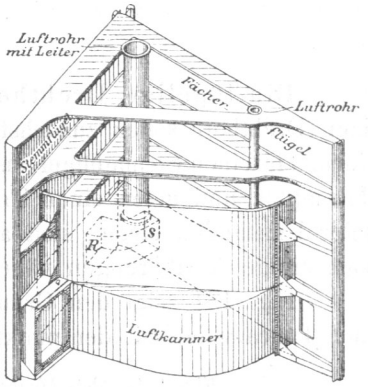
Da beim Öffnen des Fächerthores der Seitenflügel das Wasser aus der Nische durch die Umläufe verdrängen mufs, so werden grofse Querschnitte der Umläufe, sowie das Öffnen der Schützen in dem Seitenflügel diese Arbeit wesentlich erleichtern. Ein grofser Querschnitt ist auch namentlich für denjenigen von beiden Umläufen erforderlich, welcher bestimmt ist, in der Nische hinter dem Seitenflügel den höheren Wasserstand und damit die Stemmflügel geschlossen zu halten, ohne dafs dieselben stemmen. Ist dieser Umlauf zu klein, so können die Wasserverluste längs des Umfanges des Seitenflügels eine merkbare Senkung des Wasserstandes in der Nische und ungenügenden Druck gegen den Seitenflügel bewirken. In Rendsburg haben beide Umläufe je 2,25 qm Querschnitt. Dafs man beide Umläufe durch Schutzgitter vor dem Eindringen von Fremdkörpern in die Nische schützen mufs, ist selbstverständlich.

Von der Dichtigkeit am Umfange der Seitenflügel hängt auch zum Teil das Verhältnis der Länge derselben zu der Länge der Stemmflügel ab. Bisher hat man dasselbe, wie auch in Rendsburg, soviel bekannt, stets gleich 6 : 5 genommen. Bei längeren Thoren wird man dasselbe aber kleiner nehmen können, als bei kürzeren, denn mit zunehmender Thorlänge wächst die Druckfläche stärker als die Undichtigkeit am Umfange des Seitenflügels.

Es möge noch erwähnt werden, dafs demnächst auch in Holland bei Andel eine Schiffsschleuse mit eisernen Fächerthoren in beiden Häuptern erbaut werden wird.[74])

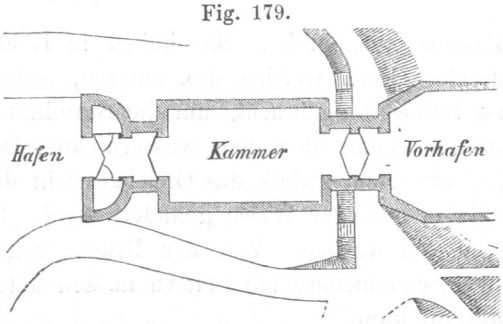
Die Länge des Stemmflügels beträgt 6,862 m, die des Seitenflügels 8,82 m. Abweichend von dem Rendsburger Thore ist hier nicht jeder Flügel für sich durch doppelte Blechhaut als Schwimmkörper ausgebildet, sondern beide Flügel zusammen. Jeder Flügel hat nämlich nur eine Haut an der dem anderen Flügel abgekehrten Seite. Im Anschlusse an diese beiden Häute wird aber in dem Raume von dreieckiger Grundrifsform, welchen beide Flügel einschliefsen, ein gesonderter Schwimmkasten (Luftkammer) angebracht, der gleichzeitig beide Flügel miteinander verbindet, s. Fig. 178. Dieser Schwimmkasten ist so grofs, dafs sein Auftrieb gleich dem ganzen Thorgewicht, und so geformt, dafs die Mittelkraft des Auftriebes durch den Schwerpunkt der ganzen Konstruktion geht. Er liegt ferner so tief, dafs er stets ganz unter Wasser bleibt, wodurch die Schwankungen in der Gröfse des Auftriebes sehr eng begrenzt sind. Über dem Schwimmkasten befindet sich ein anderer oben offener Kasten, der während des Betriebes mit dem Wasser in offener Verbindung steht. Schliefst man aber diese Verbindung und entleert denselben, während man den unteren Schwimmkasten voll Wasser läfst, so wird dadurch das Thor in einen stabil schwimmenden Körper verwandelt, der nach Entfernung des Halsbandes fortgeflöfst werden kann.

Fig. 178.



Eine fernere Eigentümlichkeit der Anlage besteht darin, dafs die Nische für den Seitenflügel aufser mit Hilfe eines Umlaufkanals auch noch mittels Schützen im Seitenflügel am freien Ende desselben bezw. in diesem und dem Stemmflügel an der gemeinsamen Wendesäule einerseits mit dem Wasser aufserhalb der Schleuse, andererseits mit dem in der Schleuse in Verbindung gesetzt werden kann. Die Öffnungen R und S (Fig. 178) in den beiden Thorflügeln an der Wendesäule, welche die letztere Verbindung herstellen, sind zu dem Ende durch einen knieförmigen, kurzen Kanal aus Eisenblech, der in dem oberen der vorhin erwähnten Kästen liegt, verbunden. Aufserdem haben die Stemmflügel noch Schützen an der Schlagsäule, welche die Schleusenkammer mit dem Aufsenwasser in Verbindung setzen. Auf diese Weise ist der Schleusenbetrieb auch dann gesichert, wenn der Umlaufkanal aufser Betrieb gesetzt werden müfste.

Fig. 179.

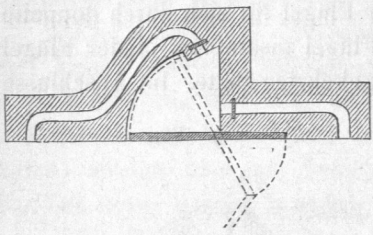


Von der in Bremerhaven vorhandenen 11 m weiten, in Fig. 179 im Grundrifs angedeuteten Fächerschleuse sei noch bemerkt, dafs sie mit gutem Erfolge zur Beseitigung

[74]) Zeichnung und Beschreibung dieser Schleuse wurden gelegentlich einer Exkursion mitgeteilt, welche am 31. Juli 1894 in Anschlufs an den 6. Binnenschiffahrts-Kongrefs im Haag stattfand.

des Schlicks in den Thorkammern und dem nächsten Teile des Vorhafens dient, aber hierzu in der Regel nur während der Springfluten benutzt wird. Dagegen wird sie im Winter täglich gebraucht, sobald sich Eis im Hafen befindet, welches sie durch die Spülungen sehr bequem beseitigt. Abweichend von den Angaben Hagens auf S. 310 des Handbuchs der Wasserbaukunst, II. Teil, 3. Bd., wonach eine völlige Öffnung solcher Thore bei einer kräftigen Spülung wegen des heftigen Wasserstofses nicht stattfindet, sei noch bemerkt, dafs sich die Hauptflügel dieser Schleuse bei einer kräftigen Spülung vollständig öffnen, indem der ganze Fächer in seine Nische oder Kammer tritt.

Fig. 180.



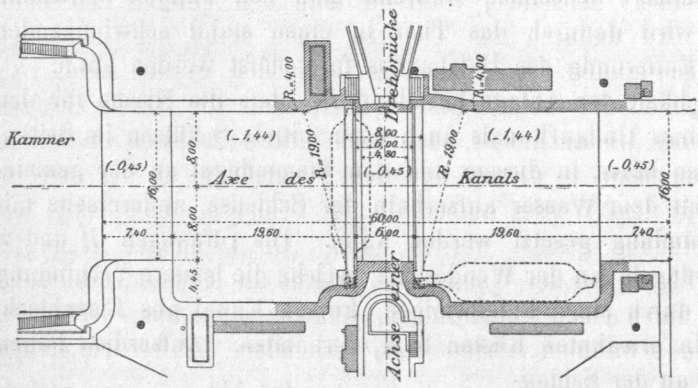
Eine ähnliche Benutzung ist möglich durch Anbringung einer quadrantförmigen Nische, in welche der längere Flügel eines mit einem kürzeren Flügel geradlinig verbundenen Drehthores schlägt (Fig. 180).

Einflügelige Drehthore und Drehpontons. Bei Besprechung der einflügeligen Drehthore sollen zunächst diejenigen betrachtet werden, welche dem Äufseren nach einem einzelnen Stemmflügel insofern am meisten gleichen, als sie wie dieser oben einen Halszapfen und unten einen Tragzapfen haben. Die Vorteile, welche einflügelige Thore unter Umständen bieten, sind aus dem früher Gesagten bereits bekannt, sodafs hier nur noch einige Ausführungen näher besprochen zu werden brauchen.

Fig. 181 zeigt den Grundrifs der Ostschleuse zu Tancarville (Kanal von Havre nach Tancarville) mit den punktiert angedeuteten beiden einflügeligen Drehthoren, welche eine Schleusenweite von 16 m abschliefsen. Die ganze Thorlänge beträgt 18,75 m, die gröfste Breite 4,02 m, die Höhe des Flutthores 9,85 m, die des Ebbethores 7,85 m. Die Abmessungen der in den Figuren 182 bis 184 (S. 243) dargestellten Thore der Westschleuse sind dieselben bis auf die Höhen, welche dort 9,25 bezw. 7,25 m betragen.

Fig. 181. *Ostschleuse zu Tancarville.*

Grundrifs. M. 1:800.

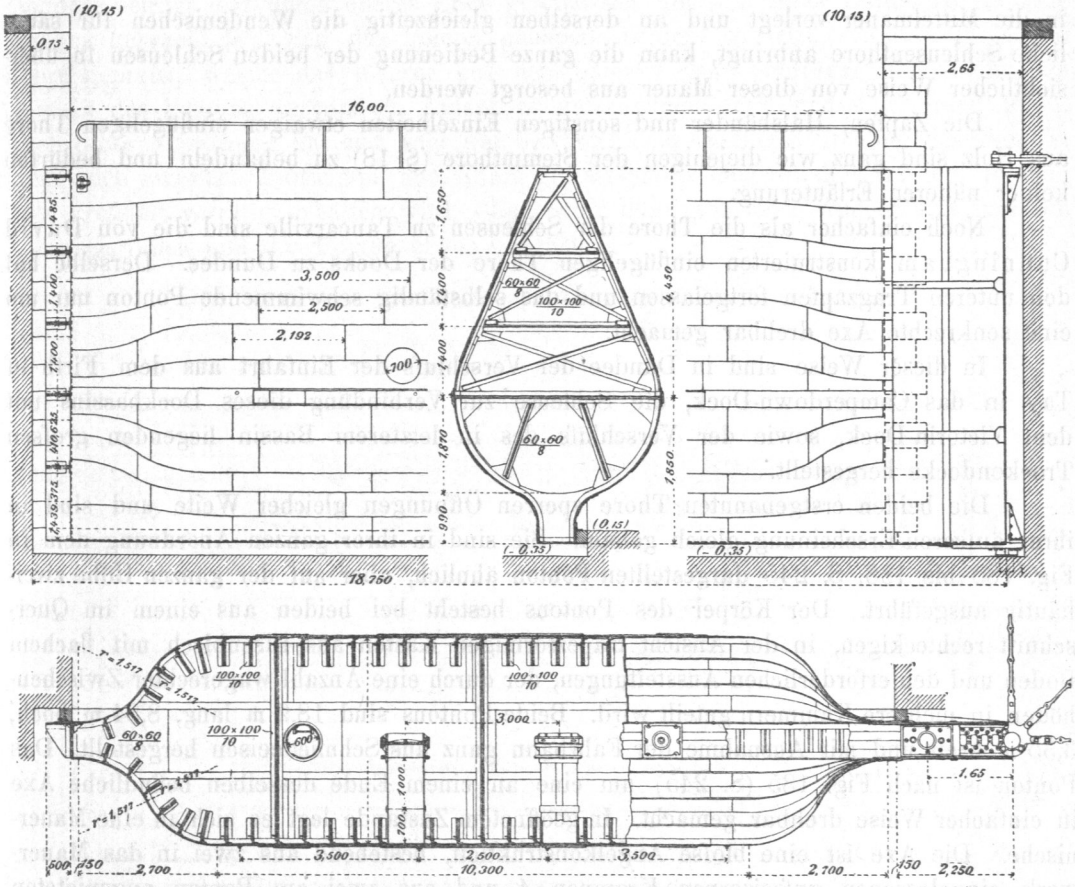


Die Thore sind vollkommen wie frei schwimmende Pontons ausgebildet. Sie haben in Höhe des niedrigsten Wasserstandes ein wasserdichtes Deck, welches den unteren, stets wasserfreien Raum abschliefst. In denselben ist Ballast eingebracht, um die Stabilität zu sichern. In den durch Gitterwerk ausgesteiften Raum über dem wasserdichten Deck kann das Oberwasser durch zwei Rohre frei eintreten, sodafs das Gleichgewicht des Thores nur durch das Eintauchen der Eisenteile in geringer Weise geändert wird. Die Wassereinlässe können durch Ventile geschlossen werden. Von der Brücke auf dem Thore führen durch den oberen Raum zwei Schachtrohre mit Leitern in den unteren Luftraum, sodafs dieser jederzeit bestiegen werden kann.

Die Wendesäule wird durch einen senkrechten Blechkasten von 2,25 m Länge und 0,7 m Breite gebildet, welcher oben den Halszapfen aus Stahl von 30 cm Durch-

Fig. 182, 183 u. 184. *Ebbethor der Westschleuse zu Tancarville.*

Seitenansicht, Vertikalschnitt und Horizontalschnitt nebst Ansicht von unten. M. 0,007.



messer und unten die stählerne Pfanne trägt. Nach der Schlagsäule zu ist der Körper des Thores ähnlich zusammengezogen wie an der Wendesäule und trägt hier eine Anzahl Konsolen aus Winkeleisen mit Stehblech, gegen welche die Dichtungsleiste geschraubt ist. Letztere besteht hier wie am Drempel und an der Wendesäule aus starken Kanthölzern.

Durch Anordnung von ausreichendem Ballast im unteren Raume der Thore und möglichst leichte Konstruktion des oberen Teiles, sowie durch den gewählten birnenförmigen Querschnitt hat man es erreicht, dafs das Metacentrum über oder wenigstens ganz dicht unter dem Schwerpunkt des Systems bei jedem Wasserstande bleibt, sodafs eine nennenswerte Neigung zum Kentern und eine Beanspruchung auf Torsion nicht vorhanden ist. In der Quelle, der diese Mitteilung entstammt[75]), wird mitgeteilt, dafs sich die Thore seit drei Jahren vorzüglich bewährten und dafs sie namentlich bei einigen Zwischenfällen, welche bei Stemmthoren zweifellos Zerstörung und längere Betriebsunterbrechung herbeigeführt haben würden, ihre Überlegenheit über diese gezeigt hätten.

Für die Schleusen desselben Kanals zu Havre hat man indessen an mafsgebender Stelle diese Thorform nicht genehmigt, sondern Stemmthore vorgeschrieben.

[75]) Ann. des ponts et chaussées 1892, I, S. 710.

Auch bei dem Kanal St. Denis hat man einflügelige Thore (vergl. T. XIII, F. 1 u. ff.) angewandt und rühmt denselben namentlich grofse Bequemlichkeit in der Bedienung bei Doppelschleusen nach. Indem man nämlich die Umläufe für beide Schleusen in die Mittelmauer verlegt und an derselben gleichzeitig die Wendenischen für sämtliche Schleusenthore anbringt, kann die ganze Bedienung der beiden Schleusen in übersichtlicher Weise von dieser Mauer aus besorgt werden.

Die Zapfen, Halsbänder und sonstigen Einzelheiten etwaiger einflügeligen Thore aus Holz sind ganz wie diejenigen der Stemmthore (§ 18) zu behandeln und bedürfen keiner näheren Erläuterung.

Noch einfacher als die Thore der Schleusen zu Tancarville sind die von David Cunningham konstruierten einflügeligen Thore der Docks zu Dundee. Derselbe hat den unteren Tragzapfen fortgelassen und das selbständig schwimmende Ponton nur um eine senkrechte Axe drehbar gemacht.

In dieser Weise sind in Dundee der Verschlufs der Einfahrt aus dem Firth of Tay in das Camperdown-Dock, die Schleuse zur Verbindung dieses Dockbassins mit dem Victoria-Dock, sowie der Verschlufs des in letzterem Bassin liegenden grofsen Trockendocks hergestellt.

Die beiden erstgenannten Thore sperren Öffnungen gleicher Weite und sind in ihrer äufseren Erscheinung gleich gebaut. Sie sind in ihrer ganzen Anordnung dem in Fig. 185 bis 188, S. 245 dargestellten Ponton ähnlich, aber auf der ganzen Höhe zweihäutig ausgeführt. Der Körper des Pontons besteht bei beiden aus einem im Querschnitt rechteckigen, in der Ansicht trapezförmigen Kasten aus Eisenblech mit flachem Boden und den erforderlichen Aussteifungen, der durch eine Anzahl wagerechter Zwischenböden in mehrere Kammern geteilt wird. Beide Pontons sind 18,9 m lang, 8,84 m hoch, 3,35 m breit und mit Ausnahme der Fahrbahn ganz aus Schmiedeeisen hergestellt. Das Ponton ist nach Fig. 185 (S. 245) um eine an einem Ende desselben befindliche Axe in einfacher Weise drehbar gemacht. In geöffnetem Zustande legt es sich in eine Mauernische. Die Axe ist eine blofse Angelkonstruktion, bestehend aus zwei in das Mauerwerk eingelassenen gufseisernen Krampen A und aus zwei am Ponton angenieteten schmiedeeisernen Ösen, durch die ein starker glatter Bolzen B_1 mit Kopf von oben gesteckt ist.

Bei dem Ponton in der Einfahrt vom Flusse in das Camperdown-Dock sind die unter N. W. Nipp-Tiden liegenden Kammern als Luftkammern ausgeführt, deren unterste soviel Wasserballast aufzunehmen hat, dafs das Ponton gerade noch einen geringen Auftrieb besitzt. Über den Luftkammern liegt eine in drei Querabteilungen getrennte weitere Kammer, in welche von der Dockseite aus durch kleine Schützen Wasser gelassen werden kann, um das vor die Öffnung gelegte Ponton beim Eintritt der Ebbe senken und so einen dichten Verschlufs herstellen zu können. Bei Einsetzen der Flut wird dieses Wasser durch Schützen an der Aufsenseite wieder ausgelassen, sodafs das Ponton sich etwas hebt und nun leicht ohne Benutzung einer besonderen Maschine um seine Axe gedreht werden kann. Dies Ponton hat sich trotz seiner dem Wellenschläge sehr ausgesetzten Lage gut bewährt und nur geringe Reparaturen erfordert.

Das Ponton zwischen den beiden Dockbassins hat zu seinen beiden Seiten stets gleiche Wasserstände, kann also nicht wie das vorige durch Ein- und Auslassen von Wasserballast gehoben und gesenkt werden. Dies Ponton enthält in den unteren Kammern soviel Wasserballast, dafs es noch gerade unten aufsteht. Über den Luftkammern steht dem Wasser der freie Ein- und Austritt in das Ponton zu, sodafs wechselnder

Wasserstand in den Bassins auf die Höhenlage desselben ohne Einfluſs bleibt. An dem der Drehaxe entgegengesetzten Pontonende ist eine senkrechte, unten offene, bis ins Wasser reichende Röhre angebracht, deren Querschnitt $^1/_{30}$ des wagerechten Pontonschnittes beträgt und deren oberes Ende geschlossen und mit einer Luftpumpe in Verbindung gebracht ist. Soll das Ponton gehoben werden, so wird etwas Luft in die Röhre gepreſst, welche das Wasser aus dem unteren Ende verdrängt und damit das Gewicht des Pontons vermindert, sodaſs es aufschwimmt und gedreht werden kann. Auch diese Anordnung hat sich sehr gut bewährt. Zur rascheren Hebung des Pontons kann auch zwischen Luftpumpe und Röhre ein Reservoir eingeschaltet werden, in dem stets Preſsluft vorrätig gehalten wird. Es bedarf dann nur eines Augenblicks, um die Röhre zu füllen und das Ponton etwas anzuheben.

Fig. 185 bis 188. *Verschluſs eines Trockendocks am Victoria-Dock.*

Fig. 185. Ansicht.

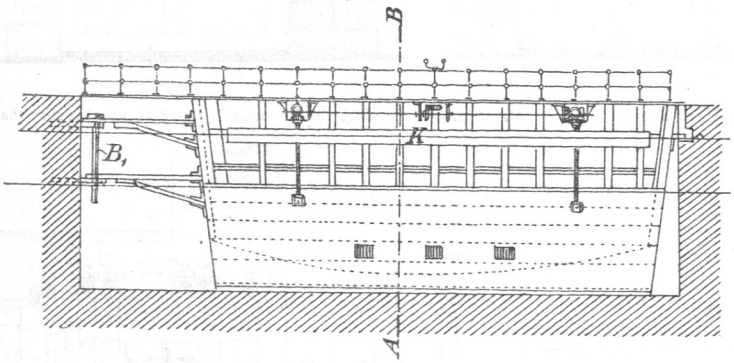
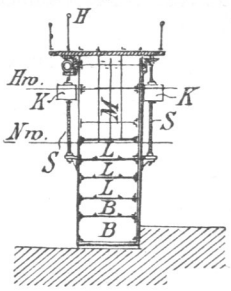


Fig. 186. Schnitt *A B*.



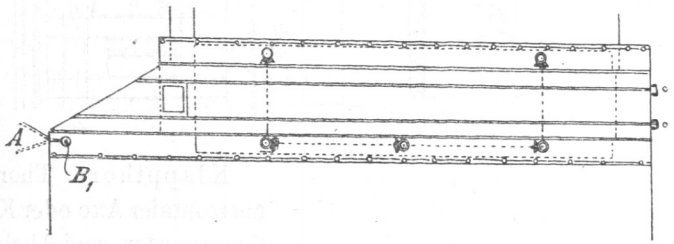


Fig. 187. Grundriſs.

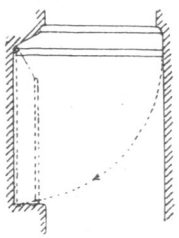


Fig. 188. Thornische.

Der Abschluſs für das Trockendock ist ganz ähnlich konstruiert, über dem Luftkasten aber nur einhäutig. Das in den Figuren 185 bis 188 dargestellte Ponton hat die Räume *B B* als Ballastkammern, *L L L* als Luftkammern, während über *L* das Wasser frei spielt. *M* ist ein Schacht, durch den man in die Luftkammern gelangt. Der Ballast ist so ausgeglichen, daſs auch dies Ponton eben auf dem Grunde aufsteht. Soll es gehoben werden, so werden die an den beiden Langseiten liegenden Luftkasten *K* mittels der Schraubenspindeln *S* und des Drehbaumes *H* in das Wasser gedrückt.[76])

Diese einflügeligen Drehthore, von denen namentlich die zuletzt besprochenen treffender Drehpontons genannt werden können, vermeiden bei geschickter Anordnung alle unter Wasser liegenden, häufigen Reparaturen unterworfenen Teile, als Rollen, Zapfen u. s. w. Sie sind also jedenfalls sehr betriebssicher und da, wo es auf sehr schnellen Betrieb nicht ankommt, mit Vorteil zu verwenden.

[76]) Deutsche Bauz. 1889, S. 605.

Fig. 189 bis 193. *Klappthor (Erie-Kanal).*

Fig. 189. Ansicht. M. 0,008.

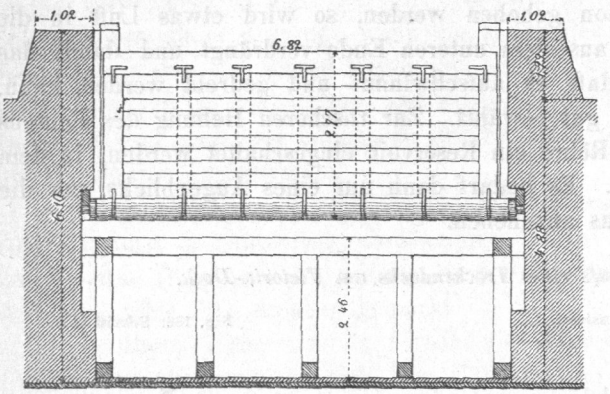


Fig. 190. Längenschnitt.

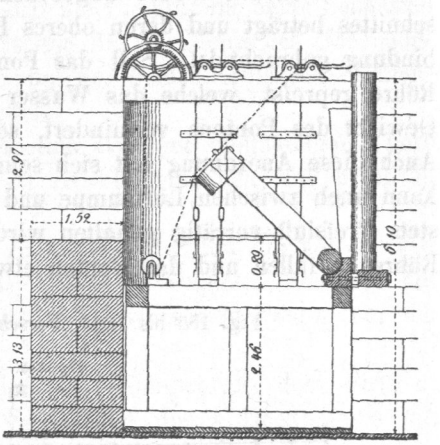


Fig. 191. Grundrifs des Thores. M. 0,008.

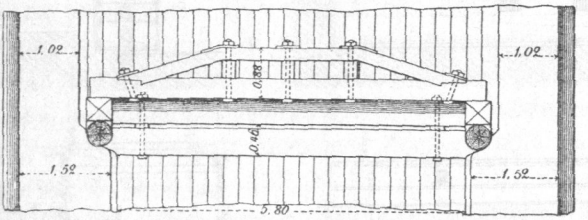
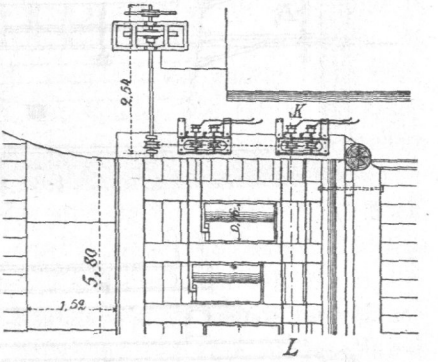


Fig. 192. Grundrifs des Schleusenkörpers (halb).



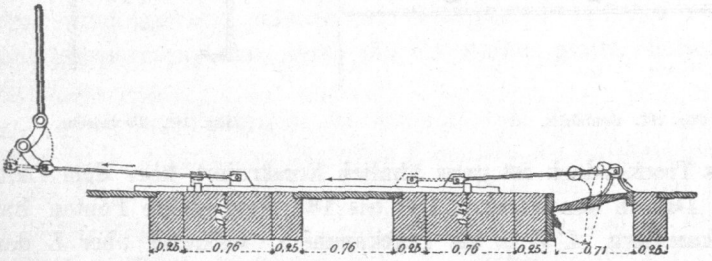


Fig. 193. Schnitt *K L* (Fig. 192). M. 0,016.

Klappthore. Thore mit horizontaler Axe oder Klappthore wurden, soviel bekannt, zuerst in Amerika ausgeführt, sind aber in neuester Zeit auch in Deutschland beim Oder-Spree-Kanale angewendet und in Hamburg in der Ausführung begriffen. Die Figuren 189 bis 193 zeigen ein seit 1862 am Erie-Kanale in Amerika an Stelle eines Stemmthores eingeführtes Klappthor des Oberhauptes einer Schleuse. Das in Fig. 190 in seinem Querschnitte gezeichnete Thor befindet sich etwa in der Mitte zwischen völligem Liegen und Aufrichten. Sobald es liegt, ist es mit seiner Oberfläche etwas niedriger als der gemauerte Vorschleusenboden oberhalb der Thorkammer, der zugleich die Krone der Abfallmauer der Schleuse bildet. Sobald das Thor mit Hilfe der Kette ohne Ende aufgerichtet ist und das Oberwasser kehren soll, steht es nicht ganz steil, sondern etwas schräg, indem es sich mit seinen beiden Seitenriegeln gegen zwei aus Fig. 190 u. 191 erkennbare, schräge und an der Mauer befestigte Ständer lehnt. Die eigentümliche Form

dieser aus zwei Stücken bestehenden Ständer ist durch die von der früheren Einrichtung her belassenen Wendenischen zu erklären. In Fig. 189 (Ansicht vom Oberwasser) und in Fig. 191 (Grundrifs) erscheint es völlig aufgerichtet. In diesem Stande stützt es sich unten mit seiner halbrunden Axe gegen die entsprechend ausgehöhlte Schwelle, wie ein vertikales Thor mit der Wendesäule gegen die Wendenische. Soll dann das Oberwasser aufgehalten werden, so müssen die vier Schützöffnungen des horizontalen, in Fig. 192 gezeichneten Holzbodens, auf welchem das niedergelegte Thor sich auflegt, geschlossen sein. Diese Schützen werden aber geöffnet, wenn das Oberwasser in das unter dem Boden und hinter dem Thore befindliche Unterwasser treten soll; dazu ist der Raum unter dem Thorkammer- oder Schützenboden und der Raum der Kammer stets in freier Verbindung, wie der untere Teil von Fig. 189 zeigt. Es sei noch bemerkt, dafs in Fig. 190, wo das Thor halb aufgerichtet ist, das Oberwasser etwa in der Höhe der obersten Quaderfuge gedacht werden mufs. Im einzelnen sei Folgendes erwähnt: Das Thor ist von Holz mit doppelter Bekleidung, deren Zwischenräume mit Steinen so angefüllt sind, dafs das Thor sich nach Lösung der auf dem linken Ufer stehenden Winde sanft niederlegt. Beim Aufrichten bedarf die Winde nur einer mäfsigen Kraft. Das obere Rahmholz des Thores ist zur Verstärkung mit einer Art Sprengwerk versehen. Der hierdurch unter dem niedergelegten Thore entstehende Spielraum dient dazu, dafs die Schützen auch bei geöffnetem Thore bewegt werden können. Aufserdem schützt das Thor die Schützen vor einer Beschädigung durch aus- und eingehende Schiffe.

Die Klappthore einiger Schleusen des Oder-Spree-Kanals (T. X, F. 21—23) sind ganz ähnlich gebaut, haben aber anstatt des hölzernen einen gemauerten Drempel (vergl. § 7) und können aufser mit Handbetrieb auch durch Maschinen bewegt werden, wie in § 22 näher beschrieben wird.

Eine bemerkenswerte Abweichung zeigt das Klappthor für den Erweiterungsbau der Alsterschleuse in Hamburg, welche gleichzeitig als Freiwasserablafs dienen soll. Bei demselben liegt die Drehaxe nämlich nicht an der Unterkante, sondern im mittleren Drittel, nahe dem unteren Drittel der Klappe, welche sich mit ihrem unteren Rande gegen eine an der Seite des Unterwassers befindliche Schwelle legt. Dadurch ist erreicht, dafs das Oberwasser der Alster die Klappe stets zu schliefsen strebt, während das Unterwasser des sogenannten Mittelbassins auf Öffnen derselben wirkt, dafs aber bei einer gewissen Höhe des Oberwassers (+ 6,60) das Moment des Unterwassers in Bezug auf die Drehaxe bereits bei einem Stande von + 5,05 desselben gröfser, als das Moment des Oberwassers wird. Die Höhe der Drehaxe ist also so gewählt, dafs in der Regel, d. h. bei normalen Wasserstandsverhältnissen, das schliefsende Moment des Alsterwassers, welches die Klappe dichtend gegen die Sohlenschwelle drückt, das Übergewicht hat und dafs für den Fall ungewöhnlicher Wasserstände das Maximum der Summe beider Momente an absolutem Werte thunlichst gleich dem Minimum ausfällt — ein Punkt, der für die Bereitstellung der zum Bewegen der Klappe erforderlichen Kraft, wenn dieselbe nach zuvoriger Öffnung der Stemmthore des Unterhauptes zum Zwecke des Wasserablassens aus der Alster umgelegt werden soll, von entscheidender Bedeutung ist.

Die Klappe soll gleichzeitig als Einlafsschütz (Drehschütz) zum Füllen der Schleusenkammer dienen und zu diesem Zwecke zunächst nur soweit geöffnet werden, dafs unten an der Schwelle ein Spalt von 15 cm Breite entsteht, durch den das Wasser ohne zu grofse Beunruhigung des Schiffes eintritt. Näheres über die Anlage findet sich Deutsche Bauz. 1891, S. 405, wo indessen die Konstruktions-Einzelheiten noch nicht mitgeteilt werden.

Endlich sei noch auf eine Klappthor-Konstruktion von Isermeyer (Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 270) hingewiesen, welche Aufrichten und Niederlegen des Thores selbstthätig bewirkt. Das um eine untere wagerechte Axe drehbare Thor ist durch Luftkasten so ausbalanciert, dafs Auftriebs- und Schwerkraftsmoment einander aufheben. Ein im oberen Teile des Thores excentrisch gelagerter, beweglicher Ballastcylinder bewirkt dann das Senken und Heben desselben, je nachdem er mit Wasser gefüllt oder entleert wird. Die Füllung geschieht durch Zuleitung von Oberwasser. Das Zuleitungsrohr wird durch den einen Zapfen des Thores zum Cylinder geführt, während durch den anderen das Ableitungsrohr für die Luft im Cylinder seinen Weg nimmt. Die Entleerung des Cylinders erfolgt durch Absaugen des Wassers mittels eines Saugapparates durch dasselbe Rohr, indem ein Strom vom Ober- zum Unterwasser denselben in Thätigkeit setzt. Die unter Wasser liegenden Rohrleitungen durch die Zapfen könnten Bedenken erregen.

Schiebethore. Häufiger als Klappthore sind Schiebethore in Anwendung gekommen, wenn auch vorwiegend im Auslande (England und Amerika). In Deutschland befinden sich — soviel bekannt — bisher nur in Hamburg Beispiele dieser Thorart, teilweise sind sie noch im Entstehen begriffen. In Fig. 194 u. 195 ist ein bereits seit längerer Zeit dort im Betriebe befindliches Thor dargestellt. Die Brookthor-Schleuse, der das Thor angehört, verbindet den neuen Sandthorhafen mit den oberhalb liegenden Hafenteilen, welche in unmittelbarer Verbindung mit der Elbe stehen, jedoch so, dafs die obere und untere Mündung der Hafenflächen über 3000 m entfernt sind. Das hierbei zeitweilig eintretende Gefälle von etwa 20 cm würde bei Durchströmung der Hafenflächen denselben viel Sand zuführen, wenn nicht eine Schleuse das Gefälle aufnähme.

Fig. 194 u. 195. *Schiebethor (Hamburg, Sandthorhafen).*

Fig. 194. Ansicht.

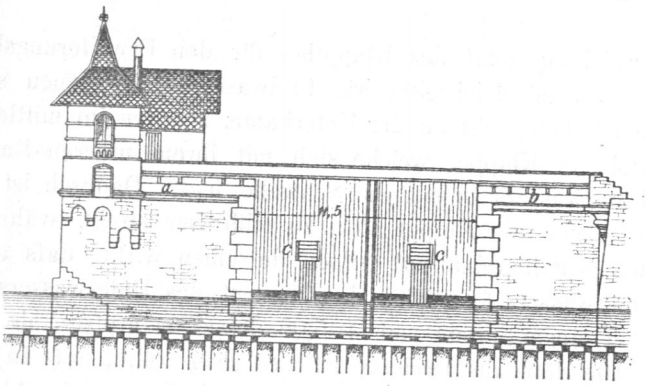
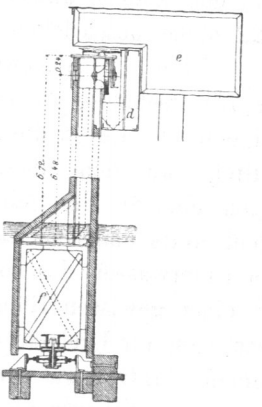


Fig. 195. Vertikalschnitt. M. 1 : 100.



Eine Kammerschleuse mit Drehthoren würde aber selbst bei der besten Einrichtung etwa 10 Minuten für jede Durchschleusung erfordert haben und erschien deshalb weit weniger geeignet, als die in ihrer Idee von Dalman herrührende Schleuse mit Schiebethoren, welche, obgleich als Kammerschleuse gebildet, dennoch den durchfahrenden Schiffen fast gar keinen Aufenthalt verursacht. Es mufste bei ihrer Anordnung jedoch auf das Durchfahren von Schiffen mit stehenden Masten, sowie auf völlige Dichtigkeit des Thorverschlusses verzichtet werden. Beides war übrigens hier zulässig und so war gestattet, dafs die Thore mit Laufrollen oben auf einer Rollenbahn hängen und auch dort ihre Bewegung durch eine Kette ohne Ende erhalten, während sie unten nur zwischen zwei festen Schienen durch horizontale Rollen ihre Führung erhalten. Die innere Unterkante der wie ein Vorhang von der Mitte der Schleuse nach den beiden Seiten sich bewegenden Thorhälften berührt dabei nahezu eine gerade hölzerne Schwelle. Sind beide Hälften

geschlossen, wie in Fig. 194 dargestellt, so berühren sie sich ebenfalls nur lose. Die Thore sind aus leichtem schmiedeeisernen Gerippe mit einer doppelten Holzverkleidung konstruiert und haben unten eine aus vollem Blech hergestellte kastenartige, wasserdichte Erweiterung *f* (Fig. 195), durch welche sie annähernd in schwimmendem Zustande erhalten werden. Diese Schwimmkasten sind von oben durch Einsteigeschächte *c* (Fig. 194) zugänglich. Die Kammer ist 67,4 m lang und 11,5 m weit und an beiden Enden gleichmäfsig ausgestattet.

Die Thore der i. J. 1894 im Bau begriffenen Baaken-Schleuse zu Hamburg zeigt Fig. 196 im Querschnitt. Diese Schleuse, dem gleichen Zwecke dienend wie die vorhin erwähnte, verbindet das Ostende des Baakenhafens mit dem Oberhafen-Kanale. Die Kammer hat eine Länge von 110 m und eine lichte Weite von 16 m. Beide Enden der Kammer können wie bei der Brookthor-Schleuse durch je ein Paar Schiebethore abgeschlossen werden, jedoch ist auch hier die völlige Dichtigkeit des Verschlusses und das Durchschleusen von Fahrzeugen mit stehenden Masten ausgeschlossen. Die Bewegung der beiden Thorflügel gegen- bezw. auseinander erfolgt wie dort durch Ketten ohne Ende mittels zweier hydraulischen Cylinder ähnlich den bekannten Zugvorhängen vor Fenstern. Die Rollen, auf denen die Ketten geführt werden, sind in der Figur durch *A* bezeichnet. Eine Änderung haben die Rollenführungen für das Thor gegenüber dem Thore der Brookthor-Schleuse insofern erhalten, als die oberen Laufrollen *B* auf beiden Seiten vorhanden sind und als die unteren Führungsrollen *C* hier nicht am Thore, sondern auf einem Pfahlroste gelagert sind, während sich die Leitschienen am Thore befinden.

Das Gerippe der Thore besteht vorwiegend aus U- und L-Eisen (Flufseisen) und ist an allen Seiten mit Holz verkleidet. In jedem Thore befinden sich acht völlig zusammengeschweifste Schwimmkasten *S*, welche lose in das Eisengerippe eingeschoben sind. Die Schweifsung anstatt der Nietung bietet eine grofse Gewähr der Dichtigkeit der Schwimmkasten, sodafs dieselben während des Betriebes nicht zugänglich zu sein brauchten, obwohl sie mit Mannlöchern versehen sind. Es ist auch Einrichtung getroffen, dafs die vier untersten Kasten eines jeden Thores durch eine Pumpenleitung *P* von etwa eingedrungenem Wasser entleert werden können. Durch die Schwimmkasten

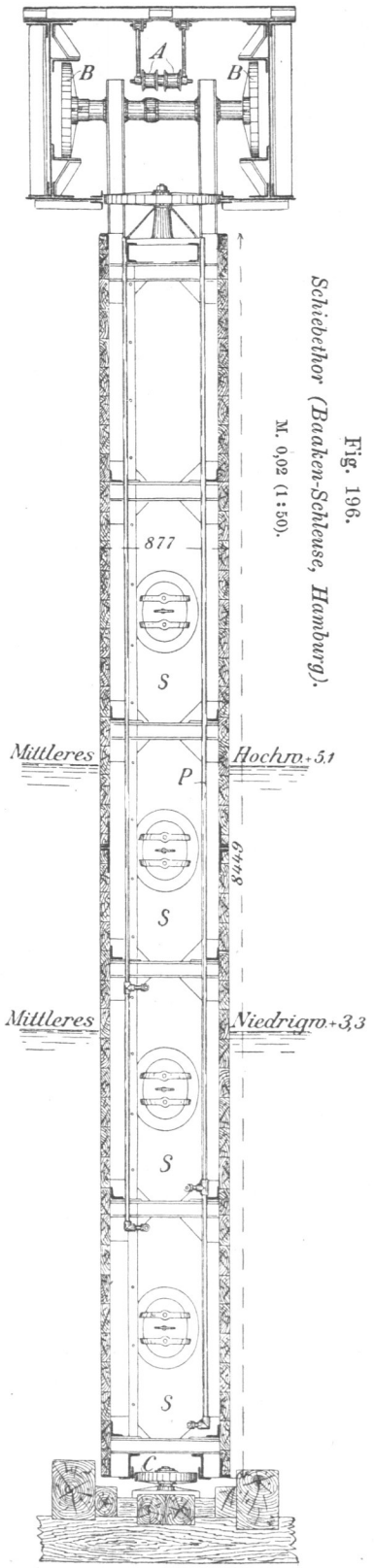


Fig. 196.
Schiebethor (Baaken-Schleuse, Hamburg).
M. 0,02 (1:50).

wird je nach dem Wasserstande ein Teil des Thorgewichtes aufgehoben. Bei besonders hohem Wasser würde das Thor aufschwimmen und wird dann durch eine oberhalb der Rollen *B* angebrachte Laufbahn geführt. Behufs Vornahme von Ausbesserungen läfst sich somit jedes Thor nach Abnahme der oberen Führungsteile aus den Führungen entfernen.[77])

Wie diese Thore in Hamburg hatte Eiffel die Thore der Schleusen des Panama-Kanals oben auf Rollen führen wollen, jedoch bestanden seine Thore nur aus einem einzigen Körper. Obwohl dieselben schwerlich zur Ausführung kommen werden, dürfen sie als sinnreich durchgearbeitet nicht übergangen werden. Bei 11 m Schleusengefälle betrug die Länge beider Thore 21,6 m, ihre Höhe für das Unterhaupt 21 m, für das Oberhaupt 10 m und ihre Dicke 4 m bezw. 3 m. Die Thore haben auf beiden Seiten eine wasserdichte eiserne Haut, welche in Abständen von 1 m durch starke horizontale Träger mit voller Wand miteinander verbunden sind. Diese Träger übertragen den Wasserdruck auf die Schleusenwände. Die Platten der Haut sind zwischen diesen Trägern nach Kreisbögen gekrümmt (nach aufsen konvex), sind also sogenannte Tonnenbleche.

Der untere Teil des Thores ist wie die Arbeitskammer eines Senkkastens für Prefsluftgründung ausgebildet, läuft auf die ganze Thorlänge durch, ist unten offen und hat drei Einsteigeschächte nebst Schleusen. Über dieser Arbeitskammer teilen zwei horizontale und zwei senkrechte wasserdichte Schotten das Thor in neun wasserdichte Kammern, in die man nach Bedarf Wasser, gewöhnliche Luft oder auch Prefsluft einlassen kann. Dank dieser Einrichtung kann das Thor nicht nur bequem im Gleichgewicht gehalten, sondern es können auch die verschiedenen Abteilungen nacheinander trocken gelegt und nachgesehen werden, ja man kann auch, indem man unten in die Arbeitskammer Prefsluft einführt, diese besteigen und von derselben aus den Drempel reinigen. Es sei bemerkt, dafs die Verwendung von Prefsluft zum Nachsehen der einzelnen Abteilungen eiserner Thore irgend welcher Art ganz besonders zu empfehlen ist, weil dadurch das Auffinden und Verstemmen von Undichtigkeiten am Thore, ohne den Betrieb zu stören, sehr erleichtert wird. An dem Ausströmen der Prefsluft, welches sich durch ein zischendes Geräusch und auch beim Ableuchten der Fugen durch das Anziehen der Flamme verrät, ist nämlich der genaue Ort einer Undichtigkeit viel sicherer zu ermitteln, als durch das Einströmen des Wassers in einen mit gewöhnlicher Luft gefüllten Raum.

Eine weitere Eigentümlichkeit der Eiffel'schen Thore ist die Art der Bewegung. Das Thor hängt nämlich an Wagen, auf denen es aus der Pontonkammer in das Schleusenhaupt geschoben wird. Die Gleise für diese Wagen werden in der Pontonkammer von der festen Überbrückung dieser letzteren getragen, aufserhalb der Pontonkammer aber von einer einarmigen Drehbrücke, welche auf der der Pontonkammer gegenüber liegenden Schleusenwand ihren Drehzapfen hat. Vor Schlufs des Thores wird diese Brücke geschlossen und dadurch die Rollbahn für die ganze Länge der Thorbewegung hergestellt. An den erwähnten Wagen sind die Thore aber nicht unbeweglich befestigt, sondern mittels anderer Rollen aufgehängt, welche es gestatten, das Thor senkrecht zu der anderen Bewegung, also gegen den Drempel hin zu verschieben. Auf diese Weise wird das Thor ohne Klemmen zum dichten Schlufs gebracht und andererseits durch Abrücken des Thores vor dem Öffnen jede Reibung am Mauerwerk während der Bewegung zur Thorkammer vermieden. Alle zur Bewegung des Thores dienende Teile liegen über Wasser.[78])

Wenn schon bei dieser letzten Konstruktion es vermieden ist, dafs nur Schiffe mit niedergelegten Masten das Thor passieren können, so wird eine Drehbrücke als obere Führung des Thores sich nur für besondere Verhältnisse (z. B. sehr starke Strömung in der Schleuse) empfehlen. Meistens wird man durch Gleitpontons (siehe weiter unten), die gleichzeitig sehr gut als Brücke dienen können, billiger zum Ziele kommen.

Es ist noch das ganz aus Holz bestehende durch F. 20—23, T. IX dargestellte Thor einer Schleuse zu Davis-Island in Ohio[79]) zu besprechen, welches sich durch seine grofse Länge auszeichnet. Die Schleusenweite beträgt nämlich 33,35 m und infolge dessen die Länge der beiden gleich grofsen Thore 36 m. Die Thorbreite ist 4,06 m und die Höhe 4,27 m. Jedes Thor wird von 8 eisernen Axen mit 16 Rollen von 0,72 m

---

[77]) Vorstehende Mitteilung nebst Figur verdankt Verfasser der Freundlichkeit der Herren Wasserbau-Direktor Nehls und Wasserbau-Inspektor Krieg in Hamburg.

[78]) De ingenieur 1888, S. 160. — Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 507.

[79]) Ann. des ponts et chaussées 1885, I, S. 1029.

Durchmesser getragen. Das Thor besteht aus einem unteren Rahmen von zwei Langhölzern mit senkrechten Aussteifungen zwischen denselben, einem starken Howe-Träger als oberem Rahmen und zwei Reihen von Ständern und eisernen Diagonalen zwischen den beiden Rahmen und zwar sind solche Diagonalen zwischen den Ständern sowohl in der Längen- als auch in der Querrichtung des Thores vorhanden. Das Thor hat eine Holzbekleidung, welche an der Unterwasserseite alle Zwischenräume zwischen den Ständern und den Rahmen ausfüllt und aufserdem oben einen Belag. Vierzehn runde Drehschützen mit senkrechter Axe werden vom oberen Belage aus durch eine Aufzugvorrichtung gleichzeitig geöffnet. Aufserdem sind noch Umläufe vorhanden. Das Thor wird an Ketten durch eine Turbine in die Thorkammer gezogen. Um die seitliche Reibung während der Bewegung zu vermindern, sind Streichrollen mit senkrechter Axe angebracht, die aber, wenn das Thor geschlossen ist, vor kleinen Versenkungen ihrer Bahn liegen, damit das untere Rahmholz sich dicht an den Drempel anlegen kann.

Diesen Schiebethoren insofern ähnlich, als sie ebenfalls auf Rollen liefen, welche unten an den Thoren befestigt waren, sind die älteren Thore nach dem Patente von Kinipple. Das in unten genannter Quelle[80]) dargestellte Thor befindet sich zu Greenock und dient zum Verschlusse eines Docks (vergl. Kap. XXII der zweiten Auflage dieses Werkes, T. XXVI, F. 7—9). Das Ponton belastet die vier kleinen zweirädrigen Wagen, auf denen es in die neben dem Dock liegende Pontonkammer geschoben werden kann, bei jedem Wasserstande nur mit einem mäfsigen Gewichte, es kann aber durch Entfernung des Wasserballastes aus seinem Innern zum Aufschwimmen gebracht werden. Diese Schiebepontons von Kinipple sind, wie bereits in § 16 erwähnt, rund herum — auch an den Stirnseiten — geschlossen. Das aus der Pontonkammer beim Öffnen des Thores zu verdrängende Wasser mufs also unter das Thor hindurch oder durch Umläufe abfliefsen. Durch ein unter N. W. liegendes Deck wird das Thor in zwei Hauptabteilungen geteilt, deren untere die Luftkammer und gleichzeitig den Ballastraum bildet. Der Raum über dem Luftkasten steht durch Ventile mit dem Aufsenwasser in Verbindung, sodafs für diesen Teil der Wasserdruck stets auf die am Anschlage liegende Haut wirken kann. Vom Luftkasten führt durch diesen Wasserraum ein Einsteigeschacht nach oben.

Bei den neueren Ausführungen hat Kinipple folgende Änderungen vorgenommen.[81]) Um die Thore beim Ausflöfsen mittels des Auftriebes nicht um ein allzugrofses Höhenmafs anheben zu müssen, war man früher gezwungen, die Seitenkanten, wie auch die Anlagekanten im Mauerwerke sehr stark nach aufsen zu neigen; die so eintretende Verbreiterung des Bauwerkes war wenig erwünscht und das Mafs der erforderlichen Anhebung blieb immerhin grofs genug, um das Ausflöfsen bei mäfsigem Winde bedenklich erscheinen zu lassen. Um völlig senkrechte seitliche Begrenzung zu erzielen und das Mafs der Anlüftung auf die Drempelüberdeckung, als denkbar geringstes Mafs, einzuschränken, giebt Kinipple dem Thore zwischen der inneren und äufseren Anschlagfläche 5 bis 10 cm Spiel (um welches Mafs dann die Laufrollen seitlich auf den Schienen verschiebbar sein müssen), macht die Weite zwischen den äufseren Anschlagkanten etwas gröfser als zwischen den inneren, giebt dem Thore im Grundrifs dementsprechend eine trapezförmige Gestalt (Fig. 197 bis 199) und braucht dasselbe nach Anhebung um die Drempelüberdeckung dann nur um die seitliche Überdeckungsbreite in die Thorkammer zurückzuziehen, um es nun durch wagerechte Drehung um die äufsere Thorkammerkante ausflöfsen zu können.

---

[80]) Ann. des ponts et chaussées, Bd. XI, I, S. 30.

[81]) Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1888, S. 436.

Fig. 197 bis 199. *Kinipple's Schiebethor mit Pendelbrücke.*

Fig. 197 u. 198. Längenschnitt durch die Thorkammer und Grundrifs.

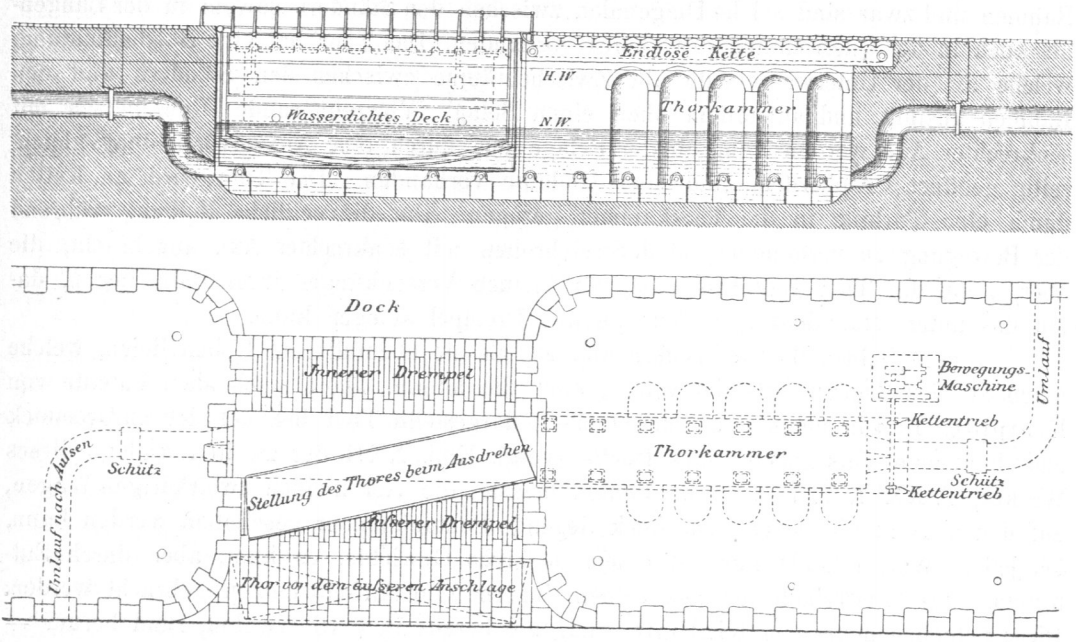
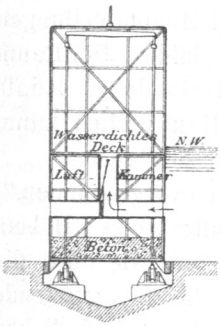


Fig. 199. Querschnitt.



Erleichtert wird diese Handhabung dadurch, dafs die Rollen, welche früher am Thore safsen und die notwendige Hebung vergröfserten, jetzt auf dem Boden des Hauptes befestigt werden, während das Thor die Schienen trägt. In der seitlichen Thorkammer werden die Rollen dann dicht unter Thoroberkante an der Wand angebracht, sodafs das Thor in der Kammer sich mittels über Wasser an Konsolen befestigter Schienen aufhängt. Um die unter Wasser liegenden Rollen thunlichst wenig zu beanspruchen und den Bewegungswiderstand abzumindern, hat man die Rollen oder Schienen unten am Thore nicht unmittelbar, sondern mittels nach oben führender Druckstangen gelagert, welche paarweise, durch Schwinghebel über die Thorbreite hinweg vereinigt (Fig. 199), durch Wasserdruckpressen oder Schrauben lotrecht bewegt werden können. Vor Bewegung des Thores werden diese Stangen nach oben gezogen, sodafs das Thor, von den Rollenrändern nur seitlich geführt, etwa 5 cm frei über seinen Bahnen schwebt und, in diesem Zustande in die Kammer gezogen, hier auf die oberen Rollen aufläuft. In Fig. 197 sind nur untere Rollen gezeichnet.

Die Reinhaltung der unteren Schienen und Rollen, sowie des Drempelanschlages wird schon sehr wirksam durch das Wasser besorgt, welches unter dem mit beträchtlicher Geschwindigkeit in die Thorkammer zurückweichenden Thore durch den vorhandenen engen Querschnitt entlang dem Boden der Thornische mit grofser Gewalt aus der Kammer hervordringt, denn das Thor selbst ist an seinen beiden Stirnseiten vollständig geschlossen. Um diese Spülung noch zu unterstützen, hat Kinipple bei den neuesten Ausführungen die Umläufe so eingerichtet, dafs der ganze Wasserstrom beim

Ein- oder Auslassen des Wassers am Boden der Thorkammer durch deren Hinterwand eintritt, dann die Thorkammer und die Drempelvertiefung unter dem Thore durchströmt und am anderen Ende der Drempelvertiefung durch den Kanal in der zweiten Seitenmauer austritt (Fig. 197). Um unter dem Thore den geeigneten Durchflufsquerschnitt zu erhalten, hat man die Drempelvertiefung nach unten dreieckig nach Art eines Grabens erweitert, in welchem die Rollen oder Schienen auf vereinzelten Vorsprüngen ruhen (Fig. 199). Es entsteht so in der That eine äufserst kräftige Spülung in der Sohle.

Zur Erzielung einer möglichst leichten und reibungslosen Bewegung des Thores ist der ganze Drempelanschlag, wie auch das Holz am Thore etwas keilig gestaltet.

Um den Druck des Wassers stets unmittelbar auf diejenige Haut zu bringen, welche am Anschlage liegen soll, also dem höheren Wasserstande abgewendet ist, war bei den älteren Schiebethoren ein nach der Seite des niedrigen Druckes sich selbstthätig schliefsendes Pendelventil nach Fig. 199 in eine Dreiwegleitung in der unteren, 31 cm unter N. W. dicht abgeschlossenen Luftkammer angebracht. Dieses gestattete in jedem Falle dem steigenden Wasser von der Seite des höheren Druckes her das Einströmen in die über der Luftkammer liegenden Ballasträume. Wenn auch die Öffnungen der Dreiwegleitung in beiden Häuten durch Holzschieber verschliefsbar waren, man das Ventil somit trocken legen konnte, so hatte das letztere infolge Einklemmens fester Körper doch zuweilen versagt. Dieser Mangel ist gehoben, indem die ganz freien Einströmungsöffnungen dicht über dem Luftkasten in die schmalen Stirnwände gelegt wurden; das ganze Thor ist dadurch zu einem grofsen Ventile geworden.

Um das seitliche Gleiten des Thores auf den Schienen zu bewirken, genügen schon etwa 15 cm Überdruck. Die Bewegungsvorrichtungen dieser Thore werden in § 22 besprochen.

Die meisten Schiebethore sind mit auf Doppelhebeln gelagerten beweglichen Brücken versehen, welche beim Öffnen mit Rollen an dem der Kammer zugewendeten Ende gegen Keilflächen stofsen und so mittels Umlegung der Hebel unter die Überbrückung der Pontonkammer laufen, ohne dafs hierzu nur ein Handschlag nötig wäre. Bei einigen ist die Kammerüberbrückung zum Anheben eingerichtet.

Die Tiefe der Thorkammer, welche die Länge des Thores übersteigt, ermöglicht die Einsetzung von Dammbalken in entsprechende Schlitze in den Wänden der Kammer vor dem zurückgezogenen Thore, sodafs die Kammer als Ausbesserungsdock für das Thor benutzt werden kann. Die Anlage eines einseitigen Thoranschlages an der Aufsenseite der Einfahrt ermöglicht die Versetzung des Thores hierher, sobald Ausbesserungen im Schleusenhaupte vorzunehmen sind und gestattet auch, die nutzbare Länge der Kammer zu vergröfsern, s. Fig. 198. — Zur Bedienung des Thores ist nur ein Mann erforderlich, da alle zur Bewegung dienenden Vorkehrungen auf einem Ufer liegen.

Was die Kosten anbelangt, so giebt Kinipple den für eine Thorbewegung aufzuwendenden Betrag zu 0,25 M. an. Die Baukosten eines solchen, die äufseren Ebbethore, die Flutthore und eine Drehbrücke (allerdings wegen der Rollenlagerung nur für mäfsige Lasten) ersetzenden Thores in Quebeck haben bei 21,3 m Weite, 10,4 m Höhe und 4,58 m Stärke für alle zum Thore gehörigen Teile rund 100000 M. betragen. Dieser Thore sind bereits etwa fünfzehn im Betriebe und haben sich seit 20 Jahren sehr gut bewährt, vergl. auch § 15 u. 17.

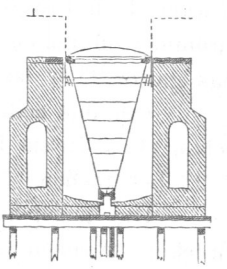
Gleitpontons. Bei den neuesten Ausführungen sind die höher gelagerten Rollen dem Schmutze oder der Beschädigung durch feste Hindernisse weit weniger ausgesetzt, als etwa die Rollenbahnen von Drehthoren und die Ketten zur Bewegung derselben.

Werden in der Thorkammer Rollen für den oberen Thorrand angebracht, so bleibt nur eine Minderzahl auf dem Boden zu befestigen. Alle übrigen leichter zu beschädigenden Teile liegen über Wasser. Trotzdem haben andere englische Ingenieure geglaubt, auch die wenigen Rollen unter Wasser noch vermeiden und dafür lieber einen gröfseren Kraftaufwand zur Bewegung des Thores in den Kauf nehmen zu sollen; sie haben einfache Gleitpontons angewendet, die indessen nur mit etwa 20 t Gewicht auf ihre Gleitbahnen drücken. Solche Pontons sind unter anderen in Portsmouth für ein Dock, in Malta für ein Trockendock ausgeführt und für neue Trockendocks in Kiel und die neue Schleuse in Bremerhaven entworfen.

Die Gleitpontons sind in der That die denkbar einfachsten und daher auch die betriebssichersten Ausführungen für Schleusenthore, da sie gar keine leicht zerstörbaren Teile unter Wasser haben und an solchen über Wasser auch nur die sehr einfache Bewegungsvorrichtung mit Kette ohne Ende, welche zudem in der Pontonkammer so geschützt liegt, dafs sie durch Schiffe in keiner Weise beschädigt werden kann.

Das soweit bekannt erste Gleitponton ist bereits im Jahre 1868 zu Kampen in Holland von J. Swets erbaut; freilich vorzugsweise zu Entwässerungszwecken. Aus Fig. 200 geht der fast dreieckförmige Querschnitt des etwa wie ein Schiff auf dem Helling ruhenden und gleitenden eisernen Pontons hervor. Dasselbe ist an dem Vorderende spitz und fafst dort in einen mit Holz verkleideten keilförmigen Mauerfalz; am hinteren Ende, mit dem es während des Verschlusses noch gerade genügenden Anschlag in seiner Nische findet, ist es stumpf und trägt in einiger Entfernung von diesem Ende und parallel zu demselben noch eine senkrechte Wand, vom Erfinder Treibschütz genannt. Das Ponton wird durch den Druck des höher stehenden äufseren oder inneren Wassers in seine Nische gedrückt, die Schleuse also geöffnet, sobald man durch geeignete Schützen in dem Mauerwerk das Wasser zwischen das Ponton und das breitere Treibschütz strömen läfst. Umgekehrt wird es aus der Nische getrieben und schliefst die Öffnung, wenn man das höhere Wasser von der Nische her auf das Treibschütz wirken läfst.

Fig. 200.



Das in Fig. 201 bis 203 leider sehr skizzenhaft dargestellte und in der Quelle[82]) nur oberflächlich beschriebene Gleitponton stellt eins der in Portsmouth hergestellten dar. Auch dies ist an den Stirnwänden geschlossen, sodafs das aus der Pontonkammer abfliefsende Wasser unter dem Ponton oder durch Umläufe seinen Weg suchen mufs. Das Ponton ist durch zwei wasserdichte Decks in drei Hauptteile zerlegt. Der unterste derselben dient als Ballastraum und wird mit Wasser gefüllt. Über diesem folgt der Luftraum, in welchem die Pumpen stehen, die zum Leeren des Ballastraumes dienen, wenn das Ponton aufschwimmen soll. Vom Luftraum führen nach oben zwei Einsteigeschächte, in denen gleichzeitig die Transmissionswelle zum Betriebe der Pumpen untergebracht ist. Der Raum über der Luftkammer steht wieder mit dem Aufsenwasser in Verbindung. Die Brücke über dem Ponton senkt oder hebt sich, je nachdem das auf Rollen laufende Gestänge am unteren Ende der Hebel b mit seinen inneren Endpunkten a einander genähert oder in die Lage Fig. 203 gebracht wird. Ist die Brücke gesenkt und das Geländer umgelegt, so kann das Ponton in die überdeckte Pontonkammer gezogen werden. Es gleitet dabei anscheinend auf eisernen Schienen, die auf Stühlen ruhen.

Noch einfacher ist die Gleitbahn der Pontons für die neuen Trockendocks in Malta und der für Kiel entworfenen. Dort gleiten die Pontons einfach mit glatten Eisenschienen auf Granitmauerwerk, welches auf der Gleitfläche poliert wird. Die einzelnen

[82]) Engineering 1892, Aug. S. 275.

Fig. 201 bis 203. *Schiebeponton (Portsmouth).*

Fig. 201. Ansicht.

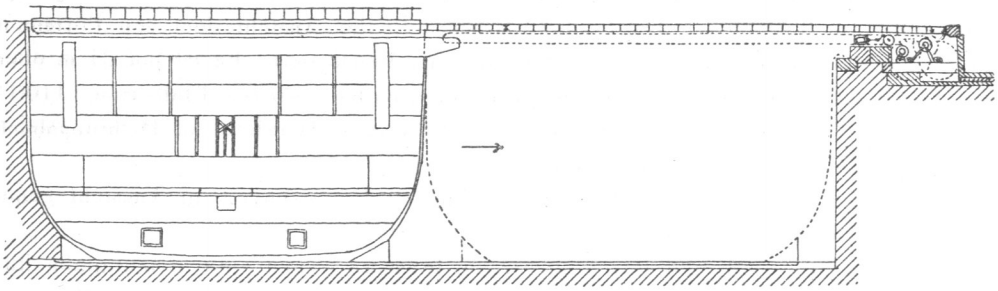
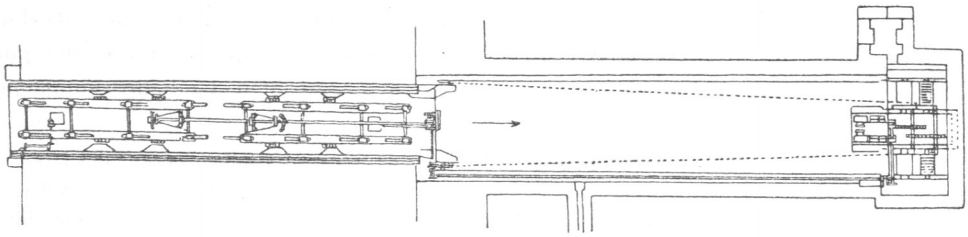
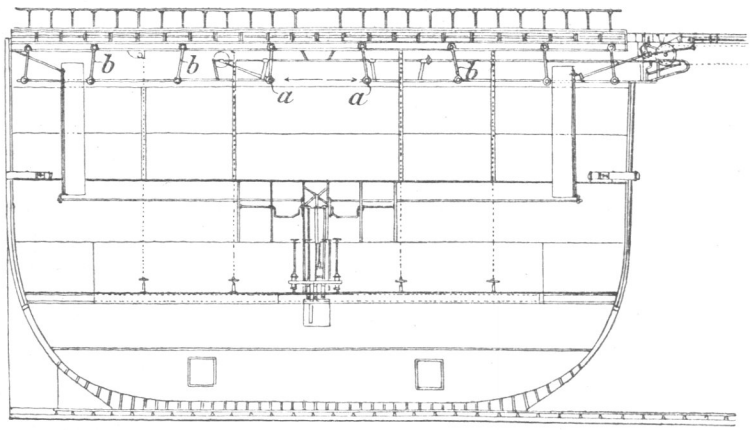


Fig. 202. Grundrifs.



Steine der Gleitfläche sind, wie in Fig. 50*a* und *b*, S. 116 dargestellt, gewölbt, sodafs die Gleitschiene des Pontons stets nur mit dem mittleren Teile der Steinflächen in Berührung kommt. Trotzdem ist die Unterstützung des Pontons eine so ausgiebige, dafs ein solches geeignet ist, eine Brücke selbst für schwerste Eisenbahnzüge abzugeben.

Fig. 203. Längenschnitt.



Bei diesen Pontons strömt das Wasser aus der Pontonkammer unter und über den Luftkasten hinweg durch das Ponton hindurch. Fester Ballast befindet sich unten über dem Boden des Pontons, Wasserballast, der entfernt wird, wenn das Ponton aufschwimmen soll, in zwei Abteilungen an den beiden Enden des Luftkastens. Die Pontons der Docks in Malta haben doppelte Haut aus geraden Blechen, die der Kieler Docks, wie in Fig. 102, S. 188 dargestellt, solche von Tonnenblechen.[83]) Im unteren Teile derselben sind mit Schützen verschlossene Wassereinlässe angebracht, aufserdem aber in den Häuptern Umläufe vorhanden. Der Luftkasten ist durch Einsteigeschächte zugänglich gemacht und ebenso wie die beiden Wasserballastkästen mit Lenzpumpen

[83]) Vergl. auch Fortschritte der Ingenieurwissenschaften. Zweite Gruppe, 2. Heft, S. 121.

versehen. Da ein Wagenverkehr über das Ponton der Docks zu Kiel nicht notwendig ist, sind anstatt einer durchgehenden Brücke nur an beiden Enden Fufsgänger-Rampen angeordnet, die niedergelegt werden, wenn das Ponton in seine Kammer zurückgezogen werden soll. Im übrigen ist das Ponton, welches in der Ansicht dem von Portsmouth gleicht, nach den in § 16 angegebenen Grundsätzen konstruiert. Es ist bei 31 m oberer lichter Weite des Hauptes etwa 400 qm grofs und enthält 357,5 t Flufseisen, 1100 kg Bronze, 10,9 t Gufseisen, 6,1 t Schmiedeeisen, 9,17 cbm Teakholz in Dichtungsleisten u. s. w., 1,03 cbm Kiefernholz im Belag.

Das für die Schleuse der Hafenerweiterung zu Bremerhaven in Aussicht genommene Ponton ist ganz ähnlich.

In Malta und Kiel sind des schlickfreien Wassers wegen Spülvorrichtungen überflüssig. Übrigens würde man auch bei offenen Stirnwänden einen starken Strom auf der Sohle entlang leiten können, wenn man Umläufe wie bei dem Kinipple'schen Thore (Fig. 198 bis 200) anordnete und im Ponton, anschliefsend an die Oberkante der Umlauföffnung im Haupte, eine schwache horizontale Blechdecke durch die ganze Länge des Pontons hindurch gehen liefse, welche den aus dem Umlaufe kommenden Wasserstrom hinderte, sich nach oben auszudehnen.

Schützenthore. Schiebethore im weiteren Sinne, oder genauer Schützenthore, sind ferner diejenigen, welche, wenn sie geöffnet werden sollen, nach unten in einen Mauerschlitz versenkt, oder nach oben gehoben werden. Die erstere, von Tolkmitt vorgeschlagene Anordnung wird meist nur für die Oberhäupter von Schleusen mit starkem Gefälle zweckmäfsig sein, bei denen die Sohle des Schlitzes, in welchen das Thor versenkt wird, nicht tiefer hinabreicht, als etwa die Oberkante der Kammersohle, sodafs die Fundierung keine besonderen Schwierigkeiten bietet. Betriebsstörungen können bei diesen Thoren, deren selbstthätige Bewegung im folgenden Paragraphen beschrieben wird, dadurch leicht eintreten, dafs Fremdkörper sich zwischen das versenkte Thor und die Schlitzwand festklemmen. Der Schlitz darf daher nicht zu eng gemacht werden.

In dieser Beziehung sind die Thore, welche beim Öffnen senkrecht in die Höhe gezogen werden, sicherer, dagegen haben dieselben den Nachteil, dafs die Schiffe, um unter ihnen durchfahren zu können, die Masten legen müssen (vergl. § 13 den Vorschlag von Löhmann). Übrigens bieten beide Thorarten in Bezug auf die Ausführungsweise keinerlei Schwierigkeiten.

Eine eigentümliche Bewegung in einer Richtung senkrecht zur Schleusenaxe hat Ingenieur Peary für die Thore einer Schleuse des Nicaragua-Kanals von 16,16 m Gefälle entworfen. Derselbe wollte das 26,84 m hohe Thor, welches die 20 m weite Einfahrt verschlofs, auf seiner unteren abgerundeten Fläche bei Seite in die Thorkammer wälzen, sodafs bis zur vollständigen Öffnung der Schleuse die anfangs senkrechte Thoraxe in die horizontale Lage überging.[84])

Freischwimmende Pontons. Die eigentlichen freischwimmenden Pontons oder Thorschiffe finden vorwiegend Verwendung bei Trockendocks, für welche sie neben den Schiebethoren und Drehpontons einen sehr geeigneten Verschlufs bilden. Ihre allgemeine Anordnung, sowie die äufsere Gestalt ist durch die Besprechung der Drehthore S. 242 und Drehpontons S. 245 bereits bekannt. Sie erhalten meistens einen Kiel, der sich in Vorder- und Achtersteven fortsetzt und zu beiden Seiten wie die letzteren mit hölzernen Dichtungsleisten versehen ist. Bei den Trockendocks, wo es auf gröfsere Dichtigkeit ankommt, werden die Holzleisten wohl noch mit besonderen Dichtungspolstern versehen. Der Kiel und die Steven greifen, wenn das Ponton im Haupte auf den Grund gesenkt wird, in Mauerwerksfalze ein oder legen sich an den Drempel an, wenn keine Falze vorhanden sind.

Der Innenraum der Pontons ist entweder, wie früher beschrieben, in mehrere Räume geteilt, von denen ein Teil als Luftkammer, der andere als Ballastraum dient oder er

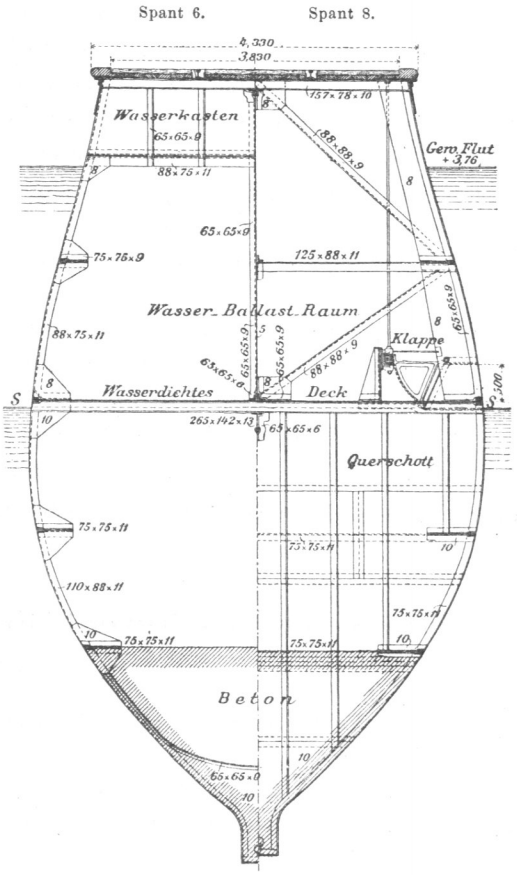
[84]) Näheres hierüber in De ingenieur 1888, S. 348.

erhält auch nur ein wasserdichtes Zwischendeck dicht über der Schwimmlinie, indem der untere Raum gleichzeitig als Luftraum und Raum für den festen Ballast verwendet wird.

Unmittelbar über dem wasserdichten Deck befinden sich die Einlässe für das Wasser, welche geöffnet werden, wenn das Ponton auf den Grund gesenkt werden soll. Da die Wassereinlässe sowie das wasserdichte Deck nur wenig über der Schwimmlinie liegen, so ist nur ein geringer Ballast erforderlich, um das Ponton so tief einzutauchen, dafs das erwähnte Deck samt den Wassereinlässen unter die Schwimmlinie sinkt. Dieser Ballast, welcher die Versenkung einleitet, besteht aus Wasser, welches in besondere, ganz oben im Ponton befindliche Kasten aus einer Wasserleitung eingelassen wird. Diese Wasserkasten bleiben stets über Wasser, auch wenn das Ponton im Falze unten aufsteht. Man hat also nur nötig, das Wasser aus ihnen wieder ablaufen zu lassen, um die aufsteigende Bewegung des Pontons wieder einzuleiten. Das Wasser aus dem Raume über dem wasserdichten Deck läuft dabei aus den geöffneten Wassereinlässen wieder ab. Fig. 204 zeigt zwei Querschnitte des Pontons für die neue Hafenschleuse (zweite Hafeneinfahrt) in Wilhelmshaven. Rechts sieht man unmittelbar über dem wasserdichten Deck den Wassereinlafs zum Füllen des Ballastraumes. Der Wasserkasten, dessen Füllung und Entleerung die Bewegung einleitet, ist links sichtbar. Näheres in der Quelle: Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891.

Fig. 204. *Kammerschleuse der zweiten Einfahrt zu Wilhelmshaven.*

Verschlufs-Ponton des Binnenhaupts. Querschnitte, M. 1 : 100.



Manche Schwimmpontons zeigen übrigens im Querschnitt eine wesentlich andere Gestaltung als Fig. 204. So ist das Ponton eines Docks in Cardiff im unteren Teile etwa noch einmal so breit als im oberen und hat einen nur wenig gekrümmten Boden und darüber zunächst fast senkrechte Seitenwände.[85])

Ein französisches Ponton dagegen, welches für das auch in § 12 erwähnte Trockendock in Saigun gebaut ist (siehe Nouv. annales de la constr. 1886), zeigt im oberen Teile parallele, senkrechte Seitenwände von geringem Abstande, die unten auf einem viel breiteren Ballastraum mit wagerechter Decke stehen, deren gröfserer Teil zu beiden Seiten der Seitenwände vorspringt, ähnlich den Pontons zum Verschlufs der Hellinge der Kaiserl. Werft zu Kiel (s. Kap. XXII der 2. Auflage dieses Werkes, T. XXV, F. 5). Welche Form die geeignetste sei, hängt von den besonderen Verhältnissen ab und ist nicht allgemein zu bestimmen. — Je breiter jedoch der Boden ist, desto tiefer wird der

[85]) Vergl. De ingenieur 1888, S. 391.

Schwerpunkt des erforderlichen festen Ballastes liegen, desto leichter wird also eine vollkommene Stabilität zu erreichen sein. Das ist der Grund, weshalb man die zuletzt beschriebenen Pontonformen wählte.

Ein nur den oberen Teil einer schiffbaren Öffnung versperrendes Ponton befindet sich in dem Geestemünder Hafen vor einer nur von den Petroleumschiffen benutzten Abteilung. Es verschliefst die durch zwei vorspringende Mauern gebildete Einfahrt von 14,44 m Weite nur in einer Höhe von 0,58 m unter der Oberfläche des Wasserspiegels, um bei etwaigem Brande im Petroleumhafen das auf der Oberfläche schwimmende Petroleum von dem übrigen Hafen abzuhalten. Das Ponton ist 1,17 m hoch, 1,6 m breit und hat an beiden Enden zur besseren Führung in den Falzen 2,34 m hohe Steven von 0,3 m Dicke. Das Ganze ist aus leichtem Blech konstruiert. Um das Ponton leicht für aus- und einfahrende Schiffe beseitigen zu können, sind die Falze in den Mauern nur nach der Seite des Petroleumhafens hin fest oder nur halbe Falze, während von der Seite des Haupthafens je ein nur etwa 0,5 m breites und 5 m hohes Drehthor die andere bewegliche Seite des Falzes darstellt. Diese kleineren Thore drehen sich um 90 Grad und werden in geschlossenem Zustande mit der festen Seite des Falzes verbunden.

Noch mag bemerkt werden, dafs Pontons bisweilen neben anderen Thoren zur Abwehr hoher Springfluten bei Seeschleusen vorhanden sind, wie z. B. bei Bristol für die 20 m weite Schleuse der Porthead-Docks.[86])

Ebenso sind für die Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals zwei Pontons beschafft, welche dazu dienen sollen, nach Bedarf eine Schleusenkammer an beiden Enden vor den Thoren abzuschliefsen, um die Kammer trocken legen und die Thore nachsehen zu können; bei Verwendung von Schiebethoren wären dieselben entbehrlich gewesen, weil man Schiebethore auch als Pontons benutzen kann. Mit einem Reserve-Schiebethore und dem unverletzten einer Schleuse würde man immer noch im stande sein, bei Beschädigung des anderen Betriebsthores die Schleuse zu schliefsen und trocken zu legen. Jene zwei Pontons haben einschliefslich der Pumpen und Dampfmaschinen zum Leerpumpen der Schleusen, welche darin untergebracht sind, etwa 600000 M. gekostet.

Von den freischwimmenden und anderen Pontons wird bei Besprechung der Schiffsbau- und Reparatur-Anstalten nochmals die Rede sein.

D. Bewegungs- und Verschlufsvorrichtungen. Einrichtungen zur Wasserersparnis.

(77 Textfiguren.)

§ 22. Vorrichtungen zum Bewegen der Thore. In diesem Paragraphen werden nur die Vorrichtungen besprochen, welche dazu dienen, die Thore selbst zu öffnen und zu schliefsen. Die Vorrichtungen, welche zum Öffnen und Schliefsen der Schützen dienen, werden im folgenden Paragraphen vorgeführt werden, woselbst auch die Konstruktion dieser Teile behandelt wird.

Zum Öffnen und Schliefsen der Thore bedarf es je nach der Gröfse derselben oder nach dem örtlichen Bedürfnisse und der Art der Schleuse mehr oder weniger vollkommener Einrichtungen. Während es bei manchen Schleusen, z. B. Sperrschleusen, Schutzschleusen, Dockschleusen u. s. w., in der Regel auf einige Minuten Zeit zur Bewegung nicht ankommt, wenn die letztere überhaupt nur rechtzeitig begonnen wird, hängt die Leistungsfähigkeit anderer Schleusen, insbesondere auf Kanälen mit lebhaftem Verkehr, geradezu von der notwendigen Zeit zum Öffnen und Schliefsen der Thore ab. Bei solchen Schleusen stehen daher die Bewegungsvorrichtungen in erster Reihe, und

[86]) Engineering, Okt. 1877, S. 291.

auch ein kleiner Zeitgewinn bei der einmaligen Bewegung mufs schon hochgeschätzt werden, weil er sich an einem Tage 40 bis 50mal wiederholen kann.

Den Anforderungen des Verkehrs gegenüber steht jedoch der aus der Trägheit des Wassers entspringende Umstand, dafs, abgesehen von dem für jede einzelne Schleuse gleichbleibenden Reibungswiderstande in den Zapfen, der Widerstand gegen die Bewegung mit der Schnelligkeit derselben annähernd im quadratischen Verhältnisse wächst. Bei einer sehr langsamen Bewegung ist er kaum merkbar, während er bei gröfserer Schnelligkeit durch den Aufstau des Wassers in jenem Mafse zunimmt und durch die Schwierigkeit, mit der das gestaute Wasser um die eingetauchten Kanten des Thorflügels abfliefsen kann, noch erheblich vermehrt wird. Letzteres zeigt sich namentlich bei fast vollendetem Wege in der Nähe der Thornische. Es mufs deshalb von einer grofsen Geschwindigkeit abgesehen werden, um einen nur mit unverhältnismäfsiger Kraftanstrengung und grofsen Kosten zu überwindenden Widerstand zu vermeiden. Wenn nun aufserdem bei den meisten kleineren Schleusen die Kraft dadurch eine eng begrenzte ist, dafs nur einer oder höchstens zwei Arbeiter zu Gebote stehen, so wird ohnehin die Geschwindigkeit eine mäfsige bleiben. Es kommt indessen dann noch immer auf zweckmäfsige Einrichtungen an, in denen möglichst wenig Arbeit durch schädliche Widerstände verzehrt wird.

1. Vorrichtungen zum Öffnen und Schliefsen der Stemmthore.

Der Widerstand, welcher bei diesen Bewegungen zu überwinden ist, setzt sich zusammen aus den Widerständen der Reibung am Zapfen und Halsband und dem Widerstande des Wassers.[87]) Der erstere ist nach der auf S. 172 näher bezeichneten Arbeit von Landsberg: Die Eisenkonstruktionen des Wasserbaues:

$$Q_1 = \frac{\mu}{4\,q}\,(V.\,d + 2\,Z\,d_1) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 47.$$

worin μ den Koefficienten der Zapfenreibung etwa $= 0{,}4$,
q den Abstand von der Drehaxe, in welchem die Kraft Q senkrecht zum Thore angreift,
V den Druck auf den Zapfen,
d den Zapfendurchmesser,
Z den Zug im Halsband und
d_1 den Durchmesser desselben bedeutet.

Der Widerstand des Wassers gegen das bewegte Thor ist:

$$Q_2 = \frac{l}{4\,q}\,(225\,S.\,v^2 + 2000\,S.\,\Delta) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 48.$$

Darin bedeutet:
l die Länge des Thores,
q wie oben den Abstand von der Drehaxe, in welchem Q_2 angreift,
S die Anzahl Quadratmeter der eingetauchten Fläche,
v die mittlere Geschwindigkeit der Bewegung des Thores,
Δ die Differenz der Wasserstände vor und hinter dem bewegten Thore.

Die gesamte rechtwinklig zum Thore im Abstande q von der Drehaxe angreifende Kraft wird also:

$$Q = Q_1 + Q_2 = \frac{\mu\,(V.\,d + 2\,Z\,d_1) + S.\,l\,(225\,v^2 + 2000\,\Delta)}{4\,.\,q} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 49.$$

[87]) Von dem Widerstande, den etwa angebrachte Laufrollen unter dem Thore verursachen (vergl. § 20), mufs abgesehen werden, weil derselbe mit Sicherheit nicht zu bestimmen ist.

Die Kraft zur Bewegung eines Thores wirkt meistens unter einem anderen Winkel als 90° auf das Thor. Wenn dieselbe bei irgend einer Thorstellung den Winkel φ mit der Normalen zur Thorfläche bildet, so ist die Gröfse derselben:

$$R = \frac{Q}{\cos \varphi} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \ldots \quad 50.$$

Je kleiner φ ist, desto kleiner ist auch die erforderliche Kraft R. Da sich nun während der Bewegung des Thores die Gröfse von φ ändert, so wird die Anordnung am zweckmäfsigsten so getroffen, dafs bei halb geöffnetem Thore $\varphi = 0$ ist, dafs also R dann rechtwinklig zur Thorfläche gerichtet sei.

Zu dem Werte für Q in Gl. 49 liefert die zweite Klammer den weitaus gröfseren Beitrag. Δ wächst namentlich, wenn das Thor sich der Nischenwand nähert, weil das Wasser dann schwerer abströmen kann. Man hat also dafür Sorge zu tragen, dafs das Abströmen möglichst erleichtert werde.

Bei Riegelstemmthoren mit durchgehender Stemmleiste an der Wendesäule beträgt der Abstand der Stemmleiste von der Wendenische meist nur etwa 2 cm (die Gröfse der Excentricität). Der Austritt des Wassers an der Wendesäule ist daher sehr erschwert, fast alles Wasser in der Nische mufs unter dem Thore hindurch oder an der Schlagsäule vorbei seinen Weg suchen; der Kraftverbrauch ist somit ein wesentlich gröfserer als bei Thoren, welche nur an einzelnen Punkten stemmen und einen bedeutenden Spielraum zwischen Wendesäule und Nische lassen, vergl. T. VIII, F. 13 und Fig. 129, S. 208. Besonders günstig kann man diesen Zwischenraum und damit den Abflufs des Wassers bei Ständerthoren gestalten, die nur oben und unten ein Stemmlager haben.

Je näher der Angriffspunkt der Kraft R bezw. Q der Lage der Mittelkraft aus den Bewegungswiderständen gerückt wird, desto weniger wird das Thor verbogen werden. Da nun die Gleichung 48 den Hauptteil der Bewegungswiderstände liefert, diese aber in halber Höhe des eingetauchten Thorteiles im Abstande $^1/_2$ bis $^3/_4\, l$ von der Drehaxe angreifen, so würde auch die Bewegungsvorrichtung am günstigsten in dieser Tiefe zu befestigen sein. Bei den bisherigen Ausführungen findet man sie indessen wohl meist in anderer Höhe angebracht und zwar bei kleineren und mittleren Thoren meistens über Wasser, weil sie hier bequemer zugänglich ist, bei grofsen Thoren auch wohl ganz unten.

Wenn schon bei kleinen Thoren, namentlich wenn dieselben aus Holz hergestellt sind, diese Lage nicht bedenklich ist, da für diese auch die Kraft Q nur mäfsige Gröfse hat, so empfiehlt es sich doch, bei grofsen eisernen Thoren mehr als bisher auf diesen Umstand zu achten, da für diese — namentlich wenn sie schnell geöffnet werden — bedeutende Biegungsmomente entstehen, welche die Undichtigkeit und damit die Zerstörung des Thores beschleunigen, vergl. auch § 17.

Endlich ergiebt sich noch aus Gl. 49, dafs Q desto kleiner wird, je gröfser q, d. h. je näher der Schlagsäule der Angriffspunkt von Q liegt.

Zur Hervorbringung der Bewegung dienen nun vorzugsweise die Menschenkraft, seltener hydraulische und andere Maschinen und nur in vereinzelten Fällen die in § 24 beschriebenen Einrichtungen, wobei die lebendige Kraft des in Bewegung gesetzten Wassers die Drehung der Thore besorgt. Es möge im Nachstehenden zunächst die menschliche Kraft angenommen werden.

Für die dauernde Leistung des Menschen kommt besonders in Betracht, dafs derselbe rasch und bequem eine möglichst grofse Kraft entwickeln könne. Hierzu gehört ein sicherer Stand und eine Mitbenutzung des eigenen Gewichts. Es wird also eine

einfache Zugstange unter Voraussetzung dieser Bedingung wirksamer sein können, als eine nur durch Handkurbeln zu bewegende Winde mit grofser Übersetzung, weil bei letzterer viel Reibungsverlust in den Zahnrädern stattfindet und der Mensch vorzugsweise nur mit der Muskelkraft arbeiten kann. Wenn jedoch das Thor so grofs ist, dafs ohne mehrfache Übersetzung der menschlichen Kraft die Reibung der Ruhe kaum überwunden werden kann, so mufs schon eine Windevorrichtung angewandt werden. Wenn ferner zu einer solchen Winde, z. B. einem Gangspill, wobei der Mensch mit seinem Gewichte arbeiten kann, nicht der nötige Platz vorhanden ist, so mufs eine nur mit Kurbeln bewegte Winde gewählt werden.

Für die Zahl der Windeapparate ist entscheidend, ob dieselben sowohl das Thor schliefsen als auch öffnen oder nur eins von beiden verrichten können. Wenn letzteres der Fall ist, z. B. wenn nur Ketten zwischen Winde und Thor vorhanden sind, so müssen auch für jeden Thorflügel zwei Winden angebracht werden, dagegen kann bei Anwendung einer festen Schiebestange von ein und derselben Winde der betreffende Thorflügel auf- und zugedreht werden. Diese Einrichtung findet aber bei grofsen Weiten ihre Schwierigkeiten sowohl in der Gröfse eines noch bequem zu handhabenden Schiebebaums als auch namentlich darin, dafs derselbe unter Wasser angreifen und in der Seitenwand liegen müfste. Es haben daher kleinere Schleusen in der Regel eine feste Stange für die Schliefsung der Thore, wobei die Öffnung entweder durch dieselbe Stange oder mit Hilfe von Seil oder Kette geschieht und die betreffende Winde in der Nähe der Schlagsäule des geöffneten Thorflügels neben dessen Thornische steht. Dagegen steht für einen nur mit Ketten bewegten Thorflügel die Winde zum Öffnen zwar ebenso wie im vorgenannten Falle, die zum Schliefsen aber auf der anderen Seite der Schleuse, wobei die Richtungen der beiderseitigen Ketten möglichst in eine gerade Linie fallen müssen, wenn das Thor halb geöffnet ist.

Es ergiebt sich für mit einfachen Ketten bewegte Thore die Notwendigkeit, dafs die zum Schliefsen dienenden Ketten bei geöffneter Schleuse sich kreuzen. Sie müssen daher soweit nachgelassen werden, dafs sie sich flach auf dem Boden der Schleuse niederlegen. Die doppelte Dicke der Kette geht demnach von dem zwischen Schiff und Schleusenboden bleibenden Spielraum verloren.

Es mögen nun die einzelnen Arten der Bewegungsvorrichtungen näher beschrieben werden.

Schiebestange. Die einfachste, bei kleinen Schleusen bis 6 m Weite unter Voraussetzung eines Arbeiters oder Wärters ausreichende Einrichtung ist die Bewegung mit einer Schiebe- und Zugstange aus freier Hand. Es genügt dazu ein gewöhnlicher Bootshaken, etwa mit einem Quergriff am losen Ende, und die Anbringung eines eisernen Bolzens mit einem Knopfe auf dem Kopfe der Schlagsäule. Der Arbeiter kann dabei mit voller Kraft ziehen oder schieben und verliert von seiner Arbeit nichts, zumal wenn er durch einzelne Erhöhungen in der Oberfläche der Schleusenmauer gegen Ausgleiten geschützt ist. Die Bewegung jedes Flügels erfolgt in etwa einer Minute. Um etwas Zeit zu sparen, kann an jedem Flügel eine solche Stange dauernd mit einem Auge um jenen Bolzen angebracht sein, wobei also die Stangen des geschlossenen Thores mit ihren Enden auf den Seitenwänden lose aufliegen.

Drehbaum. Vollkommener ist der in Fig. 103, S. 191 und Fig. 121, S. 203 angedeutete Drehbaum, besonders dann, wenn ein an seinem freien Ende angebrachtes Gegengewicht das Gewicht des Thorflügels gröfstenteils ausgleicht, vergl. § 16, S. 183.

Ein solcher einfacher Drehbaum ist übrigens nur bei Kanalschleusen von etwa 6 bis 7 m Weite am Platze.

Für etwas gröfsere Weiten hat Tolkmitt den Drehbaum durch die in den Figuren 205 bis 207 dargestellte Anordnung, mit welcher er die neuen Thore der Schleuse zu Woltersdorf unweit Berlin ausstattete, verwendbar gemacht. Er brachte an dem Ende des Drehbaums um eine horizontale Axe drehbar einen ungleicharmigen Hebel an, der am unteren kürzeren Arme eine Klinke trägt. Die alte Sprossenleiter, welche früher zum festeren Halt für den unmittelbar am Drehbaum arbeitenden Schleusenwärter diente, wurde schmäler gemacht und erhielt engere Sprossen als Stützpunkte für die Klinke, wie Fig. 205 zeigt. Bewegt man nun das obere Ende des Hebels in der Pfeilrichtung, so rückt der Drehbaum in gleicher Richtung vor, dreht man den Hebel zurück, so gleitet die Klinke über die Sprossen hinweg und greift beim Wiedervorbewegen in eine der nächsten ein u. s. f. Soll die Bewegung des Drehbaums in entgegengesetzter Richtung erfolgen, so wird der Hebel in wagerechte Lage gebracht und die Klinke umgelegt. Durch diese Vorrichtung bleibt die am Hebel aufzuwendende Kraft unter $^1/_3$ des Widerstandes am Drehbaumende und es arbeitet sich an dem Hebel viel leichter, als an einer Kurbel; auch sind die Reibungswiderstände geringer.

Fig. 205 u. 206.

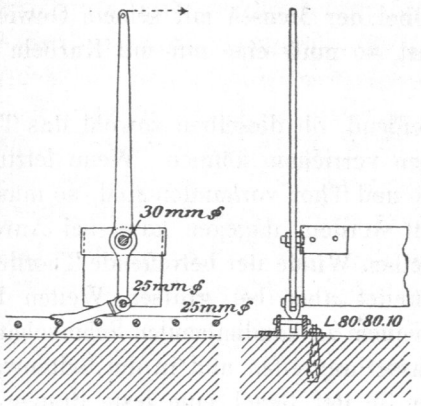
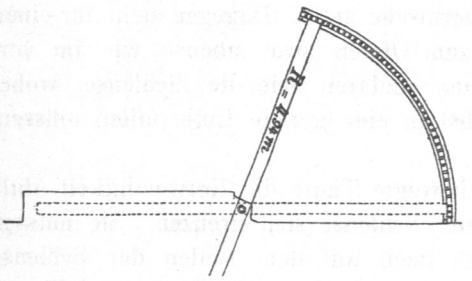


Fig. 207.



Wegen verschiedener kleiner, aber nicht unwesentlicher Verbesserungen der in obiger Figur dargestellten Anordnung, welche von Tolkmitt empfohlen werden, ist die Quelle zu Rate zu ziehen.[88])

Fig. 208.

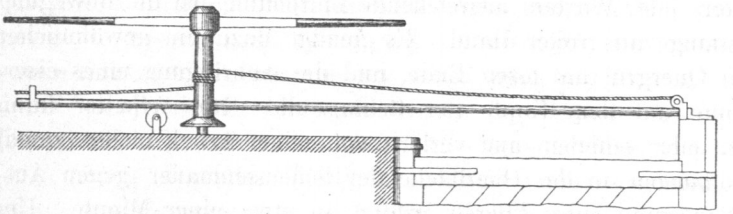
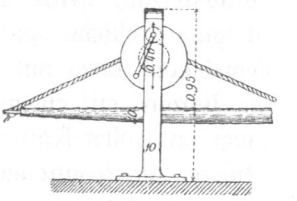


Fig. 209.



Schiebebaum mit Winde. Sobald die Schleusen eine gröfsere Weite besitzen, genügen obige Vorrichtungen nicht mehr und es mufs eine Übersetzung der menschlichen Kraft durch eine Winde eintreten. Am einfachsten sind die in F. 1 u. 2, T. V, sowie in den Figuren 208 und 209 dargestellten Anordnungen. Bei allen dreien ist

[88]) Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 413.

ein Schiebebaum an einem Ende mit dem Kopf der Schlagsäule und am anderen Ende mit einem Tau oder einer Kette verbunden, welche letzteren um die Trommeln von stehenden oder liegenden Winden geschlungen sind. Damit kein Rutschen auf der Trommel erfolgt, sind einige Windungen erforderlich, deren Zahl bei der Bewegung des Thores sich nicht ändert. Für gröfsere Schleusen sind Ketten den Tauen vorzuziehen, alsdann mufs jedoch die Kettentrommel mit Rillen oder Rippen versehen werden, weil sonst das Aufwickeln nicht regelmäfsig erfolgt. Der Grad der Straffheit der Kette oder des Taues ist durch Versuche zu ermitteln. Bei kleineren Schleusen kann der Baum an einer liegenden Trommel frei hängen, bei gröfseren jedoch, sowie bei stehender Winde bedarf er der Unterstützung durch eine oder zwei Rollen. Der eigentümliche Weg, den das lose Ende des Baumes macht (s. F. 2, T. V), ist ebenfalls am besten durch Versuche zu ermitteln. Für gröfsere Schleusen mufs die Winde durch zwei Arbeiter bewegt werden, wenn nicht die Drehung des Thores sehr langsam erfolgen soll.

Eine recht zweckmäfsige Anordnung für die Bewegung mit Zug- und Druckstange, die zuerst am Kanal du Centre und danach an einer gröfseren Zahl französischer Kanäle in Anwendung gekommen ist, zeigt Fig. 210 *a—d*. Die oben am Thor durch ein Scharnier mit senkrechter Axe befestigte Schubstange trägt an beiden Enden kleine Kettenrollen mit horizontaler Axe und ist am Lande durch eine Hülse geführt. Diese Hülse liegt mitten unter der Kettentrommel und ist mit dieser in einer Gabel gelagert, die sich um eine senkrechte Axe, je nach der Stellung, die das Thor einnimmt, drehen kann. Unter der Hülse befinden sich zwei Haken, in welche die Enden der Kette eingehakt werden. Die Kette geht, wie die Fig. 210 *d* zeigt, schräg durch die Windetrommel hindurch,

Fig. 210 *a—d*. *Kanal du Centre.*

Fig. 210 *a*.

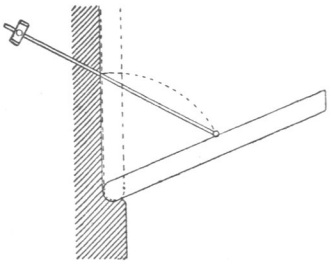
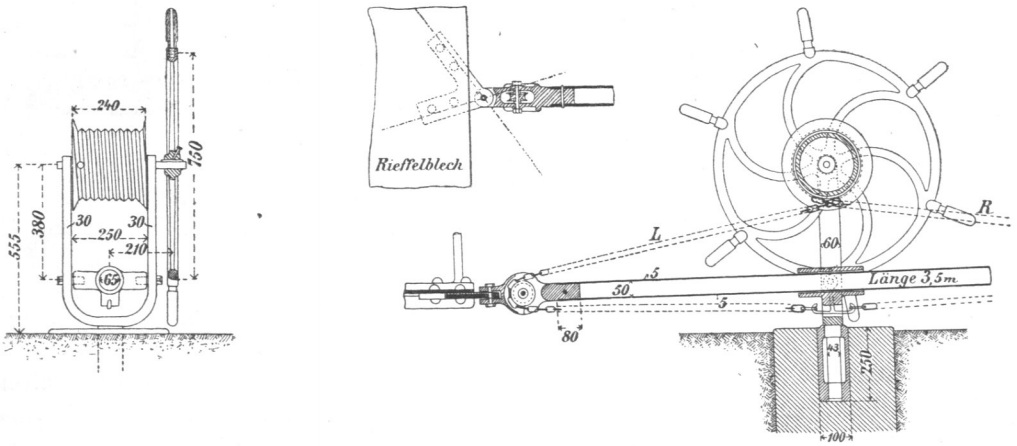


Fig. 210 *b*.

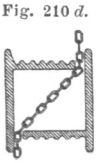
M. 1 : 25.

Fig. 210 *c*.



sodafs, wenn das eine Kettenende so auf die Trommel aufgewickelt wird, wie es die eine Endstellung des Thores erfordert, beide Kettenrichtungen an demselben Trommelende sich befinden. Wird jetzt die Winde in entgegengesetzter Richtung gedreht, so wickelt sich das vorhin aufgewickelte Kettenende ab und das andere in denselben Windegängen, unmittelbar dem

Fig. 210 *d*.



ablaufenden Trum folgend, auf. Die sinnreiche Durchquerung der Kettentrommel durch die Kette beschränkt die Trommellänge also auf die Hälfte derjenigen, welche erforderlich wäre, wenn die Kette nur aufsen herumgeschlungen würde und macht dadurch die Winde sehr handlich. Die Gabel mit der Winde ist in der Verlängerung der Sehne des Bogens aufgestellt, welchen das am Thor befestigte Ende der Stange beschreibt.[89]) Alles weitere ergiebt sich aus den Figuren.

Eine andere zweckmäfsige Anordnung vom Kanale St. Denis besteht darin, dafs — ebenfalls in der Verlängerung der Sehne des Bogens, welchen das am Thor befestigte Stangenende beschreibt — eine Geradführung für das andere Ende der Stange angebracht ist. Neben beiden Enden dieser Geradführung befinden sich zwei Kettenscheiben mit senkrechten Axen, über welche eine Kette ohne Ende läuft. An das neben der Geradführung liegende Kettentrum ist das landseitige Ende der Schubstange befestigt, wird also durch Drehung der Kettenscheiben in dem einen oder anderen Sinne geradlinig hin und her bewegt. Die eine der Scheiben kann durch Maschinenbetrieb, die andere als Reserve durch Handbetrieb bewegt werden.[90])

Sprossenbaum und Zahnstange. Für kleinere Schleusen ist ferner ein gezahnter Schiebebaum (Sprossenbaum) sehr geeignet, der mittels eines durch eine Winde gedrehten Triebrades hin- und hergeschoben werden kann. So sind die in F. 1—6, T. VIII und Fig. 211 dargestellten Vorrichtungen der Schleusen zu Breslau und Berlin eingerichtet. In beiden Fällen bestehen die Stangen aus zwei Schienen mit dazwischen genieteten Sprossen. Die Stangen bewegen sich unter den Deckplatten, um den Verkehr nicht zu hindern.

Fig. 211. M. 0,025 (1:40).

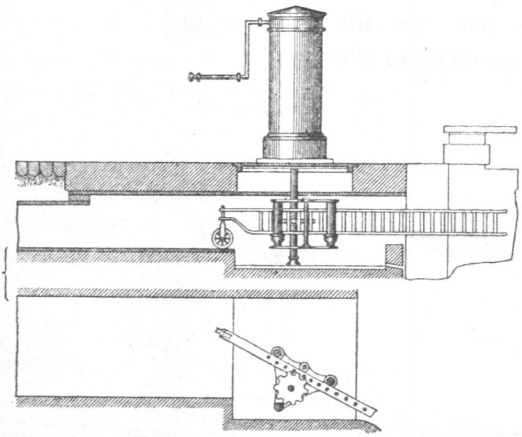
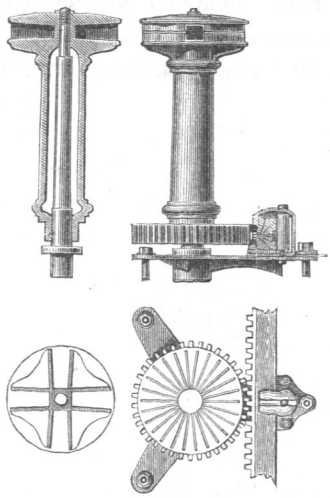


Fig. 212.



Für stehende Winden mit langen Dreharmen (Gangspill) wird oft eine hölzerne kreisförmige Bahn mit radialen vortretenden Leisten zum festeren Auftreten und Stemmen der drehenden Arbeiter angebracht. Die Handspeichen solcher Winden sind des Verkehrs auf der Schleuse wegen oft nur lose in dem Kopf der Winde; alsdann ist aber nach einer schönen Einrichtung an der alten Harburger Schleuse (Fig. 212) die Winde von Gufseisen herzustellen. Zum festen Eingreifen der Zahnstange sind hier wie in den

[89]) Ann. des ponts et chaussées 1886, II, S. 673.

[90]) Ann. des ponts et chaussées 1886, I, S. 745.

beiden vorigen Fällen Druckrollen unentbehrlich, die jedoch der Zahnstange die nötige Veränderung ihrer Richtung gestatten müssen und deshalb in der Regel beweglich gelagert sind. Damit die Zahnstange in wagerechter Lage erhalten werde, mufs man dieselbe auf festen Rollen mit wagerechter Axe lagern oder sie auch wohl am landseitigen Ende mit Rollen versehen, welche den unter Möbelfüfsen gebräuchlichen ähnlich sind und auf einer ebenen Bahn laufen.

Die gröfste Anwendung der Zahnstange dürfte diejenige an den Thoren der Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals sein, welche jedoch hier durch hydraulische Dreicylindermaschinen bewegt werden. Es ist aber Einrichtung getroffen, dafs, falls die Maschinenkraft versagen sollte, eine Bewegung mittels Spills und Handspeichen-Betrieb möglich ist. Die Zahnstangen bestehen aus starken ⊏-Eisen mit dazwischen gesetzten profilierten Zähnen ähnlich den Zahnstangen der Zahnradbahnen und greifen ungefähr in der halben Länge der Thore etwa 1 m über dem mittleren Kanalwasserspiegel an.

Das Druckwasser gelangt von einer Centralmaschinen-Anlage zu den hydraulischen Motoren, die in den Maschinenkammern jeder Schleusenmauer aufgestellt sind. Im allgemeinen ist die Anordnung so getroffen, dafs mehrere hydraulische Motoren an einer gemeinsamen Welle arbeiten, von welcher aus durch ausrückbare Räderübersetzung je nach Bedarf entweder die Thore auf- und zugedreht, die Schützen der Umläufe und Sperrthore gehoben oder gesenkt oder endlich die Spills angetrieben werden. Durch besondere Vorrichtungen in der Rohrleitung des Druckwassers wird bewirkt, dafs die entsprechenden Teile auf beiden Seiten derselben Schleuse gleichzeitig mit gleicher Geschwindigkeit bewegt werden. Die gleichen Einrichtungen ermöglichen es auch, dafs sämtliche Bewegungen von der Mittelmauer der Schleusen aus veranlafst werden können. Nur zur Aufsicht und zu wenigen, selten vorkommenden Handleistungen wird auf den Seitenmauern eine geringe Bedienungsmannschaft erforderlich. Ferner ist zu bemerken, dafs die entsprechenden vier Sperrthore der beiden Schleusen zwangläufig dieselben Bewegungen ausführen, dafs die Sperrthore aufser den Zahnstangen noch Rückhaltketten mit Gewichten haben und dafs der Druck des Betriebswassers 50 Atm. beträgt.[91])

Da mehrere Motoren an gemeinsamer Welle arbeiten, kann jede Bewegung durch mehrere Kraftmaschinen ausgeführt werden, sodafs gröfstenteils für jede Bewegung aufser der eigentlichen Betriebsmaschine ein doppelter Ersatz vorhanden ist. Diese Sicherheit dürfte aber mit den betreffenden Kosten (für Holtenau und Brunsbüttel einschliefslich der Centralanlagen zusammen fast $2^3/_4$ Millionen Mark) zu teuer bezahlt sein, zumal sie sich auf die gefährdetsten Teile, die Zapfen, Halsbänder, Zahnstangen und eingreifenden Triebräder, die ohne Reserve bleiben müssen, doch nicht erstrecken kann. Mit Rücksicht hierauf wäre ein einfacher Ersatz passender und billiger gewesen.

Jene Gefahr besteht bei Zahnstangenbetrieb darin, dafs die Stange zwischen dem Thor und Getriebe eine wenig elastische Verbindung bildet, sodafs alle Stöfse, welche das Thor treffen, leicht das Getriebe schädigen.[92]) Jeder Antrieb durch Ketten oder Seile ist in dieser Beziehung günstiger, weil er stets elastisch ist. Man sollte daher die Zahnstangengetriebe so einrichten, dafs das eingreifende Triebrad ausgerückt wird, sobald das Thor geöffnet oder geschlossen ist. Ein fernerer Nachteil besteht darin, dafs sich in den Zähnen der Stange leicht Schmutz festsetzt, der die Widerstände vermehrt. End-

---

[91]) Begleitschrift zu dem auf der Weltausstellung zu Chicago ausgestellten Modelle der Schleusen.

[92]) In der That ist bereits wenige Wochen nach der Eröffnung sowohl in Holtenau, als auch in Brunsbüttel je ein Bruch der Triebradwellen vorgekommen.

lich ist es bei grofsen Thoren namentlich von Doppelschleusen oft schwierig, die lange Zahnstange unterzubringen. So mufsten die Mittelmauern der Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals um 1 m verstärkt werden, weil sonst die Kasten für die Zahnstangen in denselben nicht Platz gehabt hätten, trotzdem die Länge der Stangen bei dem Angriff in der halben Länge des Thores bereits möglichst eingeschränkt war.

Anstatt einer Zahnstange hat man auch unmittelbar auf das Thor wirkende hydraulische Pressen angewandt, so bei den Schleusen des Schelde-Maas-Kanals[93]) von 5,2 m Weite für einflügelige Thore und bei dem Barry-Dock zu Cardiff[94]) von 24,38 m Weite für Stemmthore. In ersterem Falle ist der Kolben so an dem Thore befestigt, dafs der Befestigungspunkt einen Bogen von 1,2 m Halbmesser beschreibt. Bei den Thoren in Cardiff dagegen greift der Kolben ungefähr in halber Höhe und halber Länge derselben an und hat 8,55 m Hub. Der Cylinder ist hier im Mauerwerk so gelagert, dafs er nicht nur um eine senkrechte, sondern auch um eine wagerechte Axe gedreht und fast senkrecht aufgerichtet werden kann, wenn man den Kolben vom Thore gelöst hat. Dies ist geschehen, um einerseits die Thornische für die Bewegung der Thore mit Handbetrieb während der Reparatur an den Pressen frei zu bekommen, sowie andererseits, um die Stopfbüchsenpackung bequem nachsehen zu können. Sollen auch die Cylinderlager nachgesehen werden, so wird der im hinteren Teile brunnenartige Cylinderschacht durch Einsetzen von Dammbalken in die Vorderkante der Thornische dicht gemacht und leer gepumpt. Fig. 213 zeigt den Grundrifs der Anlage. Behufs Öffnung der Thore sind die Cylinder doppelt wirkend anzuordnen. Die volle Bewegung der Thore, die gegen 0,46 m Überdruck geöffnet und bei durchgehender

Fig. 213. *Barry-Dock in Cardiff.*
M. 1 : 450.

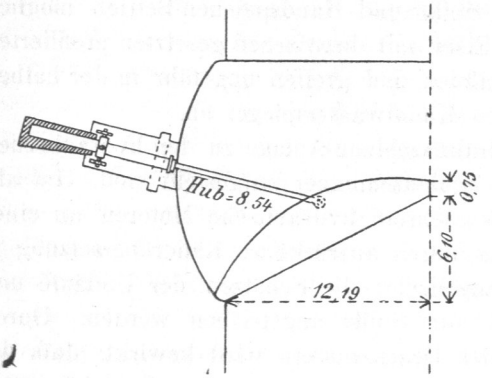


Fig. 214 u. 215. *Schleuse bei Evry.*

Fig. 214. Schnitt *A B.*

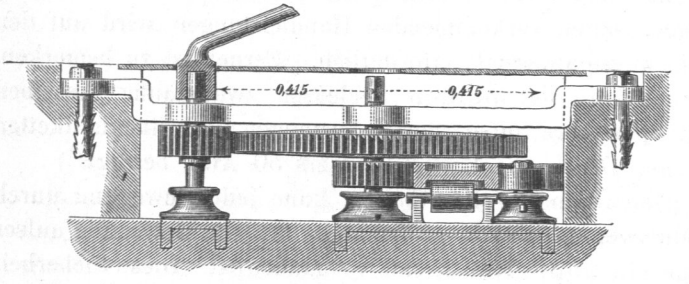
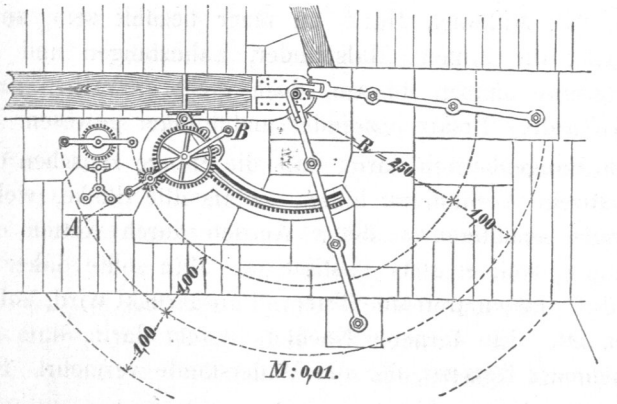


Fig. 215.



[93]) Ann. des ponts et chaussées 1883, II, S. 6.

[94]) Barkhausen. Über einige neuere englische Seeschleusen. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1888, S. 419.

Strömung geschlossen werden, dauert 40—60 Sekunden. Auch bei dieser Anordnung müssen Stöfse gegen die Thore den Bewegungsmechanismus gefährden. Es empfiehlt sich daher, zum Schutze der Cylinder Sicherheitsventile anzuordnen.

Gezahnter Quadrant. Bei französischen Kanalschleusen findet man oft einen gezahnten Quadranten, welcher fest an der Aufsenseite des Thorflügels sitzt und durch ein auf oder in der Schleusenmauer befestigtes Zahnrad bewegt wird.

Die Figuren 214 und 215 zeigen die für die Schleuse bei Evry (Fig. 71 bis 75, S. 148 u. 149) getroffene Anordnung im Grundrifs (Fig. 215) und im senkrechten Durchschnitt nach $A\,B$ (Fig. 214). Aus letzterem ist besonders das kräftige Vorgelege, sowie die Unterstützung und Führung des Quadranten zu ersehen. Bei verschiedenen anderen französischen Kanalschleusen kommen auch solche durch Speichen verstärkte Zahnquadranten vor, bei denen alsdann die Unterstützung und Führung wegfällt, die Lagerung des Getriebes jedoch etwas unbequemer wird. Der Quadrant besitzt in der Regel einen Halbmesser gleich einem Viertel der Flügellänge. Je nachdem der Betrieb durch Menschenkraft oder Maschinenbetrieb erfolgen soll, bestimmt sich die Übersetzung bezw. der Halbmesser des Zahnkranzes (q in Formel 47 bis 49) aus dem Zahndruck Q der Formel 49. Für grofse Thore werden die Quadranten zu unhandlich und sind daher für diese wenig geeignet. In Bezug auf die Gefährdung durch Stöfse gilt für sie das bei den Zahnstangen Gesagte.

Ketten. Die gebräuchlichste Art der Bewegung bei Stemmthoren grofser Seeschleusen ist die durch Ketten. Hiervon geben die zur Geestemünder Schleuse gehörenden F. 13, T. VII und F. 10, T. IX, sowie Fig. 216 ein Beispiel, wenngleich nicht mit allen Einzelheiten. Der Angriff der Ketten geschieht ungefähr in der Höhe des Niedrigwassers; die Ketten werden durch Rollenkasten, welche nach Fig. 217 eingerichtet und im Mauerwerke befestigt sind, hindurchgeführt und gelangen durch einen schräg aufsteigenden Schacht (siehe F. 13, T. VII) zu der Windetrommel. Fig. 216 zeigt nun eine der zwei Doppelwinden, welche in F. 10, T. VII in der Mitte zwischen dem Flutthore und dem äufseren Ebbethore stehen und nur zum Schliefsen dieser beiden Thore dienen. Zum Öffnen und Schliefsen der sechs Thorflügel sind im ganzen zwei Doppelwinden und acht einfache Winden erforderlich. Durch die in Fig. 216 gezeichneten Händel, welche mit ihrem unteren Teile bei e und h fest an der Winde sitzen und durch aufgesteckte Verlängerungen nur durch die Wärter bewegt werden, kann nach Belieben jede der Trommeln f und g einer Doppelwinde mit der Axe gekuppelt werden. Das Vorgelege besitzt nach der Lage der verschiebbaren Kurbelaxe eine Übersetzung von 1 : 50 und 1 : 25, je nachdem die Thore vor der vollständigen Ausgleichung des Wassers, bei

Fig. 216.

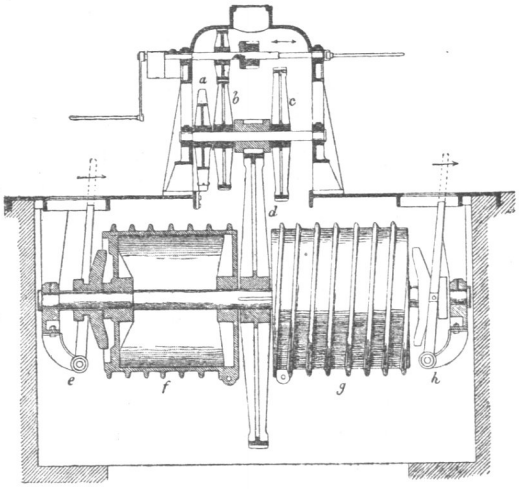
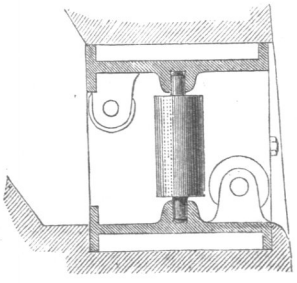
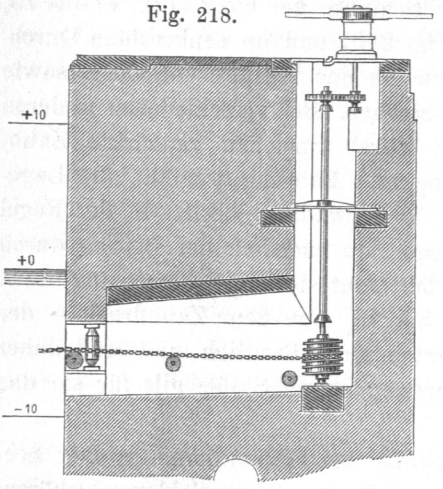


Fig. 217.



starkem Wind u. s. w. oder unter geringem Widerstande gedreht werden. Es kommen dann bezw. entweder die Zahnräder c oder b zum Eingriff mit den betreffenden auf der Kurbelaxe sitzenden Triebrädern, während das grofse Zahnrad d von dem festsitzenden Triebrad der Mittelaxe stets gedreht wird. Auf dieser Axe sitzt auch ein Bremsrad a, um die Bewegung der Trommeln bei dem Ablaufen der für das Durchschleusen niederzulassenden Ketten mäfsigen zu können. Die Ketten haben 25 mm Dicke, um die nötige Stärke auch auf die Dauer zu besitzen. Die Winden werden in der Regel von vier Mann bedient, welche bei dem völligen Hineinziehen in die Thornischen mit voller Kraft arbeiten müssen. Es mufs hierfür aufser der bereits mehrfach erwähnten Schwierigkeit, die das Wasser in der Nische zum Entweichen findet, auch besonders die Ablagerung des Schlicks in den Ecken der Thorkammer als Ursache angesehen werden. Letzterer durch die Bewegung der Thore noch verstärkte Umstand ist nur durch kräftige Spülvorrichtungen erfolgreich zu bekämpfen, s. § 7.

Fig. 218.



Bei anderen Schleusen, wie z. B. bei einer Schleuse des Hafens für Brake an der Weser, ist die Winde als stehende Winde (Fig. 218) angebracht. Aufser der Notwendigkeit, die Arbeiter im Kreise gehen zu lassen, ergiebt sich für die Windetrommel das Bedenken, dafs sie bei tiefer Lage unter Wasser kommt und unter ungünstigen Umständen bei starkem Froste festfrieren kann. —

Hydraulische Apparate. Um bei grofsen Seeschleusen die Bewegung der Thore zu erleichtern, namentlich dabei die sonst erforderliche grofse Anzahl von Arbeitern zu ersparen und um dabei, wie auch bei binnenländischen Schleusen, die Zeit der Bewegung möglichst zu verkürzen, hat man schon seit einer Reihe von Jahren, namentlich in England, hydraulische Apparate angewandt. Wieviel an Arbeitslohn erspart und im Vergleich zu den Kosten der allerdings meistens teuren hydraulischen Anlage gewonnen wird, kann im einzelnen Falle nur durch eine vergleichende Berechnung ermittelt werden. In der Regel geschieht auch die Bewegung mit hydraulischer Kraft nur dann, wenn dieselbe auch zu anderen Zwecken, z. B. für Krahne, Drehbrücken und dergl. verwandt wird, weil dadurch die Kosten der Druckpumpe, des Akkumulators u. s. w. am besten ausgenutzt werden. Ebenso pflegt mit der Bewegung der Thore auch die der etwaigen Umlaufschützen, Cabestans u. s. w. durch hydraulische Kraft verbunden zu sein und kann das für jene Gesagte auch für diese im allgemeinen gelten. Bei frequenten Schleusen ist der Gewinn an Zeit unzweifelhaft ein sehr bedeutender, indem selbst grofse Seeschleusenthore in zwei bis drei Minuten hydraulisch zu bewegen sind, während die Bewegung mit Menschenkraft das 5- bis 6fache an Zeit erfordert. Ob für den Betrieb der Druckpumpe eine Dampfmaschine, oder, wie bei dem unregelmäfsigen Betriebe gewifs in vielen Fällen vorteilhafter sein dürfte, eine Gaskraftmaschine oder ein Petroleum-Motor anzuwenden ist, mufs nach den örtlichen und Betriebsverhältnissen entschieden werden.

Um an einem Beispiele die hierbei ausschlaggebenden Erwägungen vorzuführen, mögen die in vielen Beziehungen gleichen, in anderen aber wieder sehr verschiedenen Verhältnisse der Endschleusen des Nord-Ostsee-Kanals näher besprochen werden.

Beide Schleusen werden von denselben Schiffen benutzt, haben daher dieselbe Weite, während aber die Schleuse in Brunsbüttel — mit nur kurzen Unterbrechungen zur Zeit der Ebbe — Tag und Nacht, jahraus, jahrein in Thätigkeit sein mufs, wird die Schleuse in Holtenau durchschnittlich nur etwa 25 Tage in jedem Jahre geschlossen werden müssen, während 340 Tagen aber offen stehen. Die Dauer der Thätigkeit dieser Schleuse wird selten 24 Stunden übersteigen, die Länge der Pausen zwischen den einzelnen Thätigkeitsperioden, welche ausschliefslich vom Winde abhängen, ist aber ganz unberechenbar. Für den durchaus regelmäfsigen Betrieb in Brunsbüttel würde also die maschinelle Centralanlage so einzurichten sein, dafs die Dampferzeugung zur Beschaffung des Druckwassers eine möglichst billige sei, während auf die Schnelligkeit, mit welcher die Kessel den zum Betriebe erforderlichen Dampfdruck erreichen, kein Wert zu legen ist. Es wird ferner erforderlich sein, dafs Reserve an Dampferzeugern und Maschinen vorhanden sei, um auch bei ununterbrochenem Betriebe die erforderlichen Reinigungen und Reparaturen ausführen zu können. Der Akkumulator für das Druckwasser dagegen hat hier mehr den Wert eines Regulators, um bei Unregelmäfsigkeiten der Häufigkeit der Schleusungen eine Überanstrengung der Maschinen zu vermeiden und nach Bedarf so lange mitzuhelfen, bis unter verstärkter Arbeit der im Betriebe befindlichen Maschinen eine Reservemaschine mit eintreten kann. Der Kraftsammler wird daher nur von mäfsiger Gröfse zu sein brauchen.

Wesentlich anders stellen sich die Forderungen für die Holtenauer Schleuse. Da nur $^1/_{14}$ des Jahres ein Schleusenbetrieb stattfindet, während $^{13}/_{14}$ aber die Maschinen stillstehen, so ist ein sparsamer Brennmaterialverbrauch weit weniger wichtig, als ein schnelles Inbetriebsetzen der Maschinen. Für kleine Schleusen, welche die dortigen Betriebsverhältnisse darböten, würden daher Gas- oder Petroleum-Motoren, auch wenn sie für die Stunde und Pferdekraft bedeutend teurer arbeiteten, den Vorzug vor Dampfmaschinen verdienen können. Wo aber wegen der örtlichen Verhältnisse Dampfmaschinen gewählt werden müfsten, würde dem Akkumulator eine wesentlich andere Rolle zukommen, als in Brunsbüttel. Man hätte nämlich die Dampfmaschinen in solchem Falle nur so stark einzurichten, dafs dieselben das Druckwasser für eine mittlere Zahl von Schleusungen unmittelbar zu liefern im stande wären, und würde dieselben erst anheizen, wenn mit Sicherheit der Schlufs der Schleusenthore zu erwarten wäre. Der Kraftsammler aber müfste so viel Druckwasser aufspeichern können, dafs er nicht nur den ganzen Bedarf vom Beginn der Schleusungen bis zur Inbetriebsetzung der Maschinen allein decken könnte, sondern auch den Mehrbedarf, welcher über die regelmäfsige Lieferung der Maschinen bei eintretendem Höchstbedarf der Schleusen nötig wäre. Ein so grofser Akkumulator würde dann Reserve-Betriebsmaschinen entbehrlich machen, da die vielen und langen Pausen zwischen den einzelnen Betriebszeiten genug Gelegenheit bieten, die Maschinen in Stand zu halten, und aufserdem die Maschinen, welche des Nachts die elektrische Beleuchtung bedienen (vergl. § 26), während des Tages als Reserve des Pumpwerks zum Auffüllen des Akkumulators u. s. w. — auch während der Pausen — benutzt werden können.

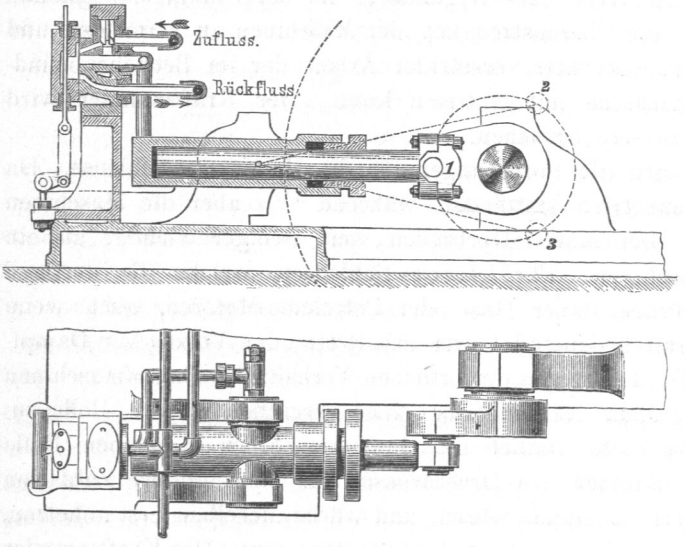
Dafs eine möglichste Ersparnis an Betriebspersonal, die selbst bei regelmäfsigem Schleusenbetrieb erwünscht ist, bei einem Betriebe wie der in Holtenau zu erwartende doppelt zu erstreben ist, versteht sich von selbst.

Derartige maschinelle Anlagen speciell zu entwerfen ist allerdings nicht Sache des Bauingenieurs. Es ist vielmehr in solchem Falle am zweckmäfsigsten, durch Veranstaltung eines Wettbewerbes die speciellen Erfahrungen der Privatindustrie heranzu-

ziehen und, um dies in möglichst ausgedehntem Maſse zu können, unter Forderung bestimmter Gewährleistung dabei die Wahl der Kraftübertragung (ob unmittelbar oder durch Druckwasser, Preſsluft oder Elektricität) freizustellen. Diejenige Anlage, deren Herstellungs- und kapitalisierten Betriebskosten am niedrigsten bleiben, würde dann die vorteilhafteste sein. — Ein solcher Wettbewerb erfordert aber selbstverständlich ein genaues, von seiten der Bauverwaltung aufzustellendes Programm (durchschnittliche Leistung, höchste Leistung in 24 Stunden, durchschnittliche und längste Dauer einer Arbeitszeit u. s. w.), und um ein solches aufstellen zu können, sind obige Erwägungen für den Bauingenieur unerläſslich, wenn nicht die Anlage unverhältnismäſsig kostspielig werden soll.

Die hydraulischen Treibapparate sind fast stets entweder rotierende Maschinen mit drei Cylindern (s. Fig. 219, in welcher jedoch nur ein Teil des Grundrisses angegeben ist), welche ihre Kraft auf Windetrommeln übertragen, oder einfache Treibcylinder mit Flaschenzügen. Bei ersterem, vorzugsweise nur in England angewandten System sind die Cylinder verhältnismäſsig klein, oft nur von 7 cm Durchmesser, dagegen bewegen sich die Kolben und Schieber mit groſser Geschwindigkeit, indem 200 bis 300 Spiele des Kolbens in der Minute erfolgen; die verhältnismäſsig geringe treibende Kraft erfordert deshalb noch eine Übersetzung durch Zahnräder oder dergl. in der Winde. Bei den einfachen Treibcylindern macht der Kolben für die beabsichtigte ganze Bewegung nur einen einzigen groſsen Hub, der Durchmesser und daher auch die treibende Kraft sind verhältnismäſsig groſs, während der Weg des am Schleusenthore befestigten Kettenendes durch den Flaschenzug 4 oder 6mal verlängert wird. Weil die Bewegung des Thores oder Schützes hin und her gleich groſs ist, so erhält entweder jeder Treibcylinder bald von oben und bald von unten sein Druckwasser oder es liegt jedem Treibcylinder ein entsprechender Gegencylinder von gleicher Länge, jedoch nicht einer von gleichem Durchmesser gegenüber. In letzterem Falle wird durch die feste Verbindung der beiderseitigen Kolben miteinander und die geeignete Steuerung der beiderseitigen Ventile bei dem Vorgange des einen Kolbens der andere zurück- und das Wasser des zugehörigen Cylinders als Rücklaufwasser aus demselben herausgetrieben. Ähnlich treibt auch bei der rotierenden Maschine stets einer der drei Cylinder das Wasser eines anderen rückwärts in die Rücklaufleitung. Die in England gebräuchlichen rotierenden Maschinen scheinen nun zu dem gedachten Zwecke wenig dauerhaft zu sein, indem ihre Aufstellung nicht genügend geschützt und nicht so geschehen kann, wie sie bei der Feinheit ihres Mechanismus und der Geschwindigkeit der Bewegungen erforderlich ist. Dazu verursachen die kleinsten Unreinigkeiten in dem Druckwasser, z. B. Fäden von Zeug u. s. w., Störungen in den

Fig. 219.



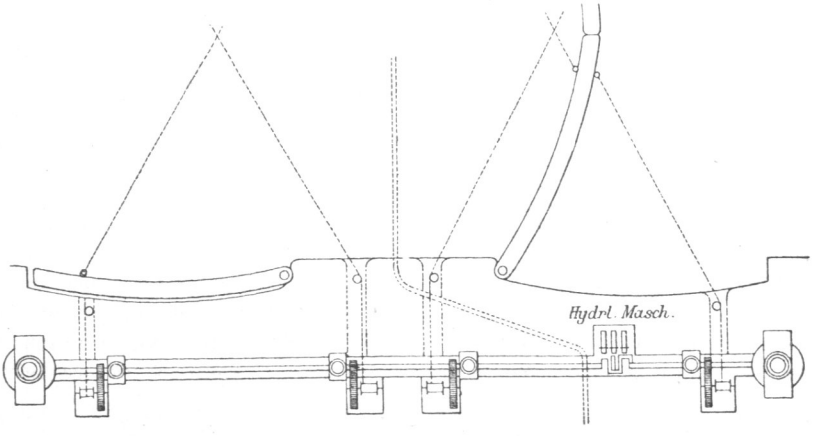
Schiebern. Die grofsen, einfachen Cylinder erfordern wohl gröfsere Anlagekosten, sind aber wegen ihrer langsamen Kolbenbewegung und des einfacheren Mechanismus weit robuster und zuverlässiger als jene.

Einzelheiten. Einige Beispiele mögen die mannigfaltigen Einzelheiten in Kürze angeben. Zunächst sind zwei Anordnungen zu erwähnen, welche eine Überführung des Druckwassers von einer Schleusenwand auf die andere durch einen Tunnel oder Düker, sowie Bedienungsmannschaften auf jeder der beiden Wände bedingen.

Die Bewegung von 16 Thorwinden der im Jahre 1880 vollendeten neuen Schleuse zu Harburg, welche auf Tafel V dargestellt ist, wird durch hydraulische Kraft bewirkt. Es ist neben dem Innenhaupt der Schleuse (wie aus der Figur zu ersehen ist) ein eigenes Gebäude zur Aufnahme eines Akkumulators und einer durch eine Gasmaschine getriebenen Druckpumpe errichtet, und von diesem Ufer zum anderen sind je ein Hauptdruckrohr und ein Rücklaufrohr durch einen quer unter dem Kammerboden der Schleuse liegenden, 1 m weiten dükerartigen Kanal geführt. Das Druckwasser arbeitet überall in einfachen Treibcylindern, von deren Kolben die Kraft mittels Flaschenzügen bezw. Zahnstangen auf die Umlaufschützen übertragen wird. Indem für die Öffnung und Schliefsung jedes Thorflügels zwei sich genau gegenüberliegende Cylinder vorhanden sind, von denen abwechselnd der eine der Druckcylinder ist, während der andere als Gegencylinder dient, so kann durch das Ziehen eines und desselben Hebels von der Oberfläche der Schleusenmauern aus immer gleichzeitig der betreffende Druckcylinder entlastet und der Gegencylinder gefüllt werden. Die Druckrohre zweigen sich von jedem Hauptstrange ab und gehen innerhalb der aus dem Querschnitt F. 14, T. V ersichtlichen, von oben durch Lichtöffnungen erhellten Kanäle von 2 m Weite und Höhe erst nach den Ventilkasten und von dort nach ihren betreffenden Cylindern. Zwischen Ventilkasten und den Cylindern dienen dieselben Rohre sowohl als Druck- als auch als Rücklaufrohre.

Die Kolben je zweier zusammengehörigen Cylinder für die Bewegung der Thore sind durch einen kleinen Wagen mit dreirolligem Flaschenzug verbunden (ähnlich wie in Fig. 224 u. 225, S. 273). Die Ketten zum Öffnen der Thore gehen von diesem Flaschenzuge aus über eine feste, im Innern des Mauerwerks liegende Leitrolle, treten aus den in F. 12, T. V ersichtlichen grofsen Öffnungen der Thorkammernischen und fassen die Thore an der äufseren Seite, etwa auf $^1/_3$ ihrer Länge von der Schlagsäule. Die Ketten zum Schliefsen der Thore fassen diese an der inneren Seite und ganz unten, laufen über eine horizontale Rolle, welche auf den Thorkammerboden dicht vor dem 0,6 m hohen Drempelabsatz befestigt ist, gehen von hier über den Thorkammerboden nach einer vertikalen Rolle an der Seitenwand, dort in einem vertikalen Schlitz in der Mauer hinauf

Fig. 220. *Schleuse in den Jarrow-Docks (Tyne).*

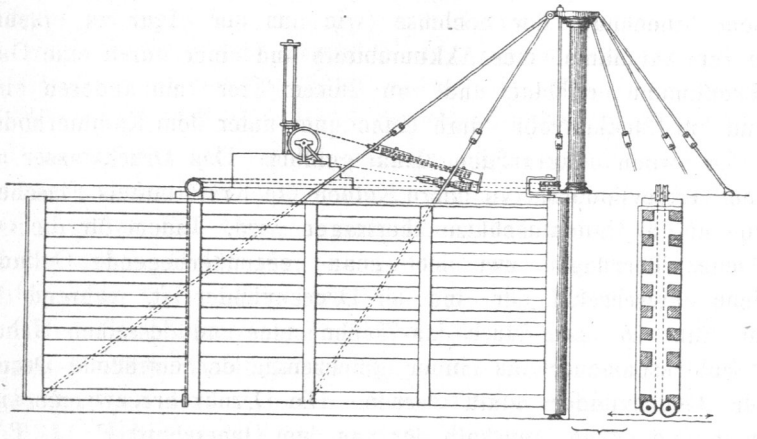


(s. F. 14, T. V) und endlich durch eine Öffnung über eine Leitrolle bis an den Flaschenzug der Cylinder. Sämtliche Leitrollen haben 0,4 m Durchmesser. Die Ketten sind mit Spann- und Regulierungsvorrichtungen versehen (ähnlich wie bei der Schleuse in Bordeaux).

In Fig. 220 (S. 271) ist die in den Jarrow-Docks an der Tyne im Jahre 1858 ausgeführte Anordnung dargestellt, wobei jedoch nur eine Hälfte der Schleuse gezeichnet ist und die andere gleiche Hälfte hinzugedacht werden mufs. Das für beide Seiten gemeinsame Druckrohr geht nach der punktierten Linie unter dem Schleusenboden hindurch und treibt auf jeder Seite die auf der rechten Seite der Figur angegebenen drei Cylinderkolben, von denen die Bewegung auf eine parallel zur Schleusenaxe liegende Welle übertragen wird. Die auf dieser Welle sitzenden Triebräder können nach Belieben in die grofsen Zahnräder der liegenden Windetrommeln ein- oder ausgerückt werden. Von den letzteren gehen die Zugketten über Leitrollen durch geeignete Kanäle und Schächte nach den Vorder- und Hinterseiten der Thorflügel. Vgl. Engineer 1873, April.

Fig. 221 bis 223. *Schleuse zu Keokuk.*

Fig. 221. Ansicht und Schnitt durch das Thor. M. 0,005 (1 : 200).



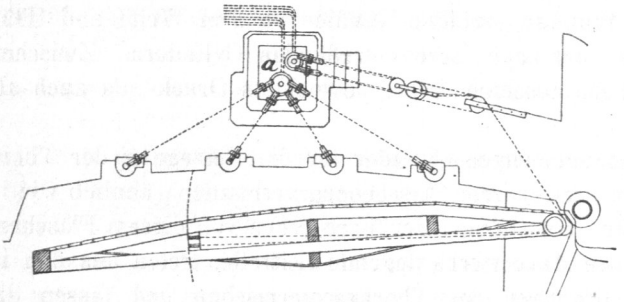
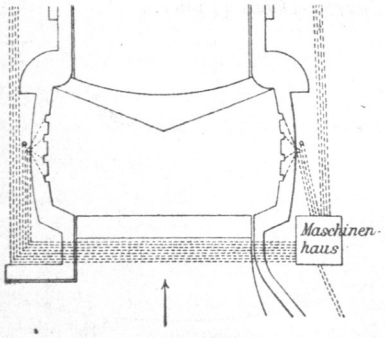


Fig. 222. Grundrifs einer Thornische.

Fig. 223. Grundrifs des Oberhaupts. M. 0,001.



Bei der Schleuse zu Keokuk im Kanale des Moines[95]) ist zwar auch ein Düker vorhanden, die gesamte Bedienung erfolgt aber vom Maschinenhause aus. Hinter dem Treibcylinder *a* der Umlaufschütze steht, wie aus Fig. 222 hervorgeht, der in Fig. 221 erkennbare Treibcylinder für die Bewegung der Thorflügel, während in dieser Figur der Treibapparat der Schützen nicht gezeichnet ist. Es sei ferner darauf aufmerksam gemacht, dafs die in Fig. 221 neben dem Treibcylinder sichtbare Rolle eine ebensolche, im Grundrifs Fig. 222 erkennbare verdeckt, andererseits ist in dieser Figur nur ein Flaschenzug gezeichnet, während nach Fig. 221 zwei derselben übereinander befindlich sind. Die untere Hälfte dieser Flaschenzüge liegt fest, die obere ist beweglich, wobei jedoch ihr Gewicht durch kleine, auf einer geneigten festen Bahn laufende Räder aufgenommen wird. Diese Räder nebst den Bahnen sind ebenfalls nicht gezeichnet. Von den beiden siebenfachen Flaschenzügen geht jedes lose Seilende (s. Fig. 222) zunächst nach je einer horizontal und genau über der Drehaxe des Thorflügels liegenden Rolle (siehe Fig. 221), von dort nach je einer auf dem Oberrahmstück des Thores befindlichen vertikalen Rolle, dann hinab nach den am Unterrahmstück befindlichen beiderseitigen Rollen, von wo aus beide Seile ganz verschiedene Richtungen annehmen, indem das eine unten an der Thornische, das andere am Drempel befestigt ist. Wird nun der

[95]) Zeitschr. f. Bauw. 1877.

obere bewegliche Teil einer der beiden Flaschenzüge nach dem Treibcylinder hingezogen, so entsteht in diesem Flaschenzuge eine Zugkraft, welche das von ihm nach dem Thorflügel gehende Seil nach dem Flaschenzuge hinzieht. Dadurch wird aber die Länge des zwischen einem der beiden Befestigungspunkte und dem festen Teile des betreffenden Flaschenzuges befindlichen Seiles verkürzt, folglich der Thorflügel nach jenem Befestigungspunkte hingedrängt. Ist z. B. derjenige Flaschenzug, dessen Seilende an der Thornische befestigt ist, der nach dem Treibcylinder hingezogene, so öffnet sich das Thor, ist es der andere, so geht das Thor zum Drempel und schliefst sich. Selbstverständlich mufs der eine Flaschenzug passiv sein, während der andere aktiv ist. Zu diesem Zwecke und um jeden Flaschenzug nach dem Treibcylinder hinzuziehen, ist wieder zwischen jedem Flaschenzuge und der Verlängerung des Treibkolbens eine Verbindung mit je einem Drahtseile angebracht. Es ist nämlich das eine Seil an einem unteren Punkte der Kolbenverlängerung befestigt, geht aufwärts über eine der in Fig. 221 u. 222 sichtbaren Rollen, umschlingt diese, geht von dort über eine kleine am beweglichen Teile des einen Flaschenzuges sitzende Rolle, von dort zurück über die andere neben dem Treibcylinder befindliche Rolle, umschlingt diese und ist endlich wieder am unteren Punkte der Kolbenverlängerung befestigt. Das andere Seil geht umgekehrt von dem obersten Punkte derselben aus, macht einen ähnlichen Weg nach dem anderen Flaschenzug und kehrt nach dem oberen Teile der Kolbenverlängerung zurück. Macht nun der Treibkolben im Treibcylinder einen Weg von 1,83 **m** aufwärts oder abwärts, so zieht das betreffende Seil den beweglichen Teil des einen Flaschenzuges heran und läfst den des anderen auf seiner Bahn herabgleiten, wobei der Thorflügel mit seinen unteren Seilrollen einen Kreisbogen von 12,81 **m** Länge beschreibt, d. h. geöffnet oder geschlossen wird.

In Fig. 223 sind nun 18 von dem Maschinenhause ausgehende, 5 **cm** weite Druckrohre punktiert angedeutet, indem nach jedem Treibcylinder zwei gehen, eins nach unten, eins nach oben und die eine Hälfte derselben unter dem Oberhaupt der Schleuse hindurchgeführt ist. Zwei Druckrohre (s. Fig. 223 unten rechts) gehen nach dem Schütz eines neben der Schleuse liegenden Freigerinnes. Dieser ganze, anscheinend weitläufige Mechanismus wird in einfachster Weise von einem einzigen, in dem Maschinenhause befindlichen Maschinisten bedient. Derselbe öffnet, sobald er ein Schiff am Oberhaupte ankommen sieht, durch einen mit dem Wort „Oberthor“ versehenen Steuerungshändel die Oberthore, läfst das Schiff einfahren, schliefst ebenso die Oberthore, öffnet die Umläufe des Unterhauptes u. s. w., wobei jedesmal nur e i n e Bewegung von ihm zu machen ist. Über den weiteren maschinellen Apparat, insbesondere die Steuerungsvorrichtungen, mufs auf die oben bezeichnete Quelle verwiesen werden. —

Die Unbequemlichkeit der Untertunnelung des Schleusenhauptes zur Überführung der Druckwasserleitung suchte man zum erstenmale bei den Schleusen zu Bordeaux (T. VII, F. 4—6) zu vermeiden. Die Anlage, welche 1879 gebaut wurde, hat sich dort sehr gut bewährt und ist aufserordentlich billig; sie kostete nämlich für jedes Thor nur 5200 M.

Nach den Figuren 224 bis 228 besteht der Apparat aus dem Motor, der Transmission und dem Regulator oder Gegengewicht.

Der Motor besitzt die übliche Anordnung von zwei gleichen horizontalen, sich gegenüberliegenden Cylindern, deren Kolbenenden auf einer gemeinschaftlichen Axe je zwei in einem Rahmen liegende lose Rollen tragen. Dieser Rahmen bewegt sich zwischen zwei seitlichen Führungen. Am hinteren Ende jedes Cylinders sitzen zwei feste Rollen. Zwei Ketten, welche mit einem ihrer Enden an je einen Cylinder befestigt sind, gehen über die vier Räder eines Cylinders und bilden somit je zwei getrennte Flaschenzüge, deren Bewegung jedoch durch jenen Rahmen gemeinsam gemacht ist, sodafs sich die eine Kette um ebensoviel Länge aufwickelt als die andere frei wird, wobei der eine Cylinder für das Öffnen, der andere zum Schliefsen des Thores dient.

Fig. 224 bis 228. *Bordeaux.*

Fig. 224 u. 225. Längenschnitt und Ansicht. Grundrifs.

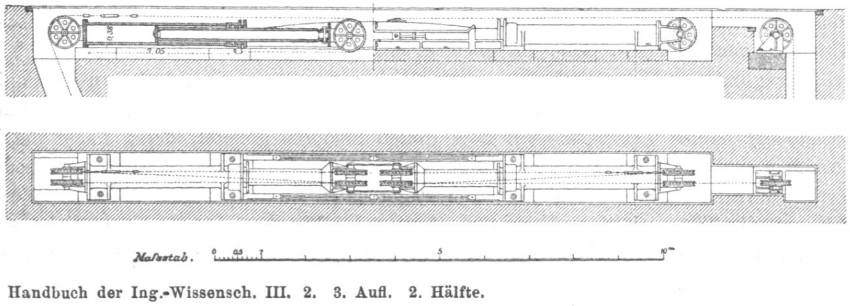


Fig. 226. Gegengewicht.

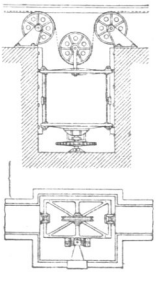
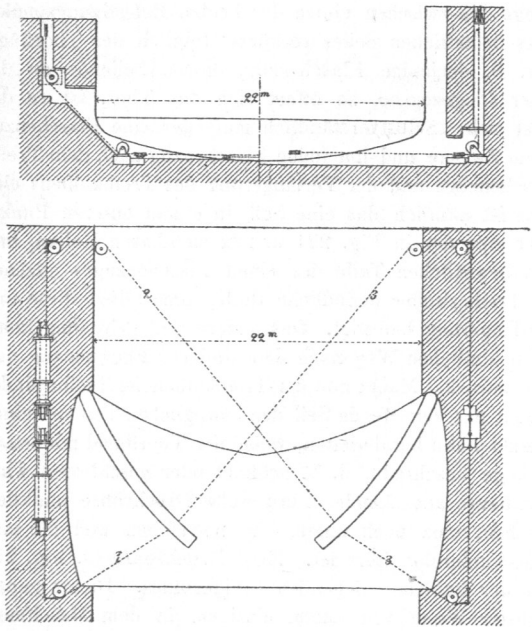


Fig. 227 u. 228. Schnitt durch Kammer und Thorkammer. Grundrifs.



Die Übertragung der Bewegung geschieht durch Ketten und Räder, wobei drei verschiedene Kettenstränge zu unterscheiden sind, zunächst nach Fig. 224 die beiden ersten Stränge, welche bereits erwähnt sind und je einen Flügel aufsen bezw. innen fassen und öffnen bezw. schliefsen; der dritte Strang faſst mit seinen beiden Enden genau an den Punkten der beiden Thorflügel an, welche nur durch die Dicke der letzteren von den beiden Angriffspunkten der anderen Kettenstränge getrennt sind und geht von dort über Leitrollen durch zwei vertikale Schächte hindurch nach der Oberfläche der anderen Schleusenmauer. Hier, gegenüber dem auf der anderen Mauer befindlichen Motor, trägt diese dritte Kette nach Fig. 226 eine zwischen zwei festen Rollen hängende lose Rolle, an welcher ein Gegengewicht als Regulator hängt. Dieses besteht aus zwei horizontalen Gufseisenplatten, welche durch vier Stangen verbunden sind. Seitlich ist das Gegengewicht mittels Gleitrollen in einen mit Gleitschienen versehenen Mauerschacht sicher geführt und unten durch ein genau stellbares Auflager unterstützt, sobald die Spannung in der Kette es nicht gehoben hat.

Verfolgt man nun in Fig. 227 die Thätigkeit der drei Ketten, so ergiebt sich, dafs die erste und zweite stets abwechselnd aktiv oder passiv sich verhalten, und dafs die zeitweilig aktive auch die dritte Kette so in Thätigkeit setzt, dafs die beiden Thorflügel genau dieselbe Bewegung erhalten. Die dabei in der dritten Kette entstehende Spannung hebt das regulierende Gegengewicht um ein geringes, aber in der Kettenrichtung sich verdoppelndes Mafs; hört aber die Spannung in der Kette auf, so sinkt das Gegengewicht auf sein Auflager.

Die Befestigungspunkte der Ketten müssen offenbar niedrig liegen, damit bei geöffneter Schleuse die ungespannten Ketten (also namentlich die Ketten 2 u. 3) sich mit geringer Senkung sofort auf den Boden legen; ferner müssen diese Punkte an den beiden Thürflügeln genau korrespondieren, weil die Bewegung der letzteren eine genau symmetrische sein soll. Weil die Thore mit Laufrollen versehen sind, wie im vorliegenden Falle, müssen die Ketten möglichst in der Nähe der Laufrollen befestigt sein, um die Zugkräfte dem Hauptwiderstande am nächsten zu bringen. Übrigens sollen die Ketten, sobald sie gespannt sind, frei und ohne Reibung über den Boden hinweggehen und sich bei ihrer Kreuzung nicht berühren. Endlich ist zu beachten, dafs die Spannung der Ketten je nach der Richtung ihres Angriffs, nach der Stellung der Flügel, wegen der gekrümmten Bahn des Befestigungspunktes, sowie nach der Geschwindigkeit der Bewegung veränderlich ist. Hierfür sind mit Rücksicht auf die unvermeidliche Verlängerung der Kolben, Spannvorrichtungen in Kette 1 und 2 anzubringen, während für Kette 3 die Regulierung des Auflagers am Gegengewicht ausreicht.

Bei dieser Anlage hat sich durch die Erfahrung ergeben, dafs der eigentliche Apparat fast mathematisch genau arbeitet, dafs er jedoch durch den starken Schlickfall zu leiden hat, indem der auf dem Boden liegende Schlick zuweilen die Ketten in ihrer regelrechten Bewegung hindert und die Thorflügel nicht voll in die Nischen treten läfst. Eine gute Spüleinrichtung des Thorkammerbodens und des von den Ketten berührten Teiles des Kammerbodens scheint in solchen Fällen besonders empfehlenswert. Näheres in einer Mitteilung von Boutan. Ann. des ponts et chaussées 1881, S. 540. —

Um mit zwei Bewegungsmaschinen und zwei Ketten auskommen zu können, hat man im Poplar-Dock die Kettenarme für ein Thor in der in Fig. 229 angedeuteten Weise im Mauerwerke fest verankert, sie dann etwas unterhalb der halben Thorhöhe unter zwei Rollen hindurch geleitet, deren Lager um lotrechte hohle Axen drehbar sind (Fig. 230); die Ketten sind durch die Höhlungen dieser Axen, sodann nach Rollen am oberen Thorrande geführt, von hier nach wagerechten Führungsrollen über der Wendesäule und schliefslich auf die Trommel einer Handwinde hinter der Wendesäule, wo sie vereinigt sind; die eine Drehrichtung der Trommel ergiebt Öffnung, die andere den Schlufs der Thore. Die für je zwei

vereinigten Arme etwas zu lange Kette ermöglicht das Schlaffhängen in den geöffneten Thoren durch den infolge zu grofser Kettenlänge entstehenden toten Gang der Winde.

Fig. 229 u. 230. *Kettenführung für das Poplar-Dock.*

Fig. 229. Grundrifs.

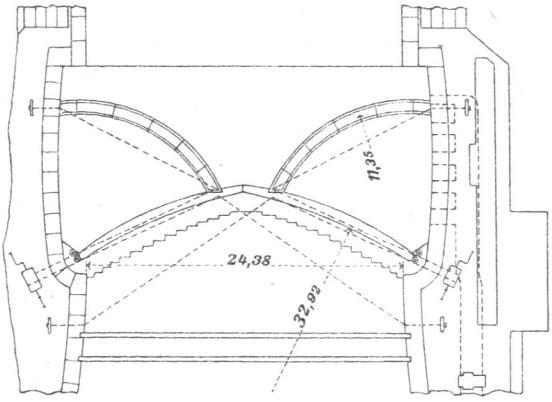
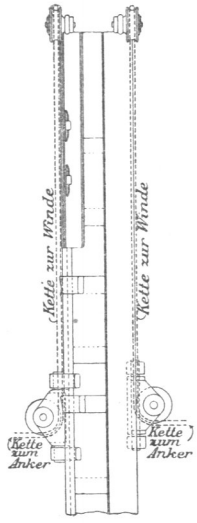


Fig. 230. Lotrechter Schnitt durch die Rollennische. M. 1:100.



Ähnlich ist die Anordnung für die Unterthore der Schleuse bei Wernsdorf des Oder-Spree-Kanales (T. X, F. 20). Es sind hier allerdings für jedes Thor zwei gesonderte Ketten vorhanden, die aber zusammen so wirken, wie bei der vorigen Anordnung eine Kette. Die eine der beiden Ketten ist bei h in der Thornische an Haken befestigt und dient zum Öffnen, die andere bei h_{I} am Drempel und dient zum Schliefsen. Von diesen Punkten gehen dieselben über an den Thoren angebrachte Rollen und zwar:

a. Zum Öffnen von h nach einer Rolle VIII am Untertramen des Thores, von da durch ein in das Thor eingefügtes wasserdichtes Rohr (vergl. die Abbildung) hinauf zu einer Rolle VII am Obertramen, von dort längs des Obertramen zu einer Rolle VI, welche über der Drehaxe des Thores angebracht ist und endlich über eine weitere Zahl Leitungsrollen V bis I, welche am Kolben bezw. am Druckcylinder befestigt sind, zu diesem letzteren, um an demselben befestigt zu werden;

b. zum Schliefsen vom Drempel bei h_{I} ebenfalls nach einer Rolle 8 am Untertramen, von dort ebenfalls durch ein wasserdichtes Rohr nach oben und auf einem ähnlichen Wege zum Cylinder S, wo sie wiederum befestigt wird.

Bei der Bewegung der Kolben in den beiden Druckcylindern werden nunmehr die Ketten, da die Rollen an der Spitze der Kolben in einem diese verbindenden Schlitten sitzen, nach der einen oder anderen Richtung hin angezogen bezw. nachgelassen, und die flaschenzugartige Anordnung der Rollen vergröfsert die nur geringe Bewegung der Kolben; hierdurch wird die Länge des Kreisbogens erreicht, welchen derjenige Punkt des Thores bei der Bewegung beschreibt, an dem die Kette durch dasselbe hindurchgeht.

Um den an dem Thore befestigten Seitenrollen die Möglichkeit zu gewähren, sich stets in die Richtung der ab- und aufrollenden Kette, d. h. also in die jedesmalige Tangente des Kreisbogens der Thorbewegung zu stellen, sind diese um eine senkrechte Axe drehbar angeordnet, sodafs sie durch den Kettenzug selbst in die richtige Lage eingestellt werden.[96])

In der angeführten Quelle sind noch weitere Einzelheiten namentlich auch über den Maschinenbetrieb angegeben. Als Arbeitsmaschine ist eine Turbine angewendet, die durch das Oberwasser getrieben wird. Da auf beiden Seiten Druckcylinder vorhanden

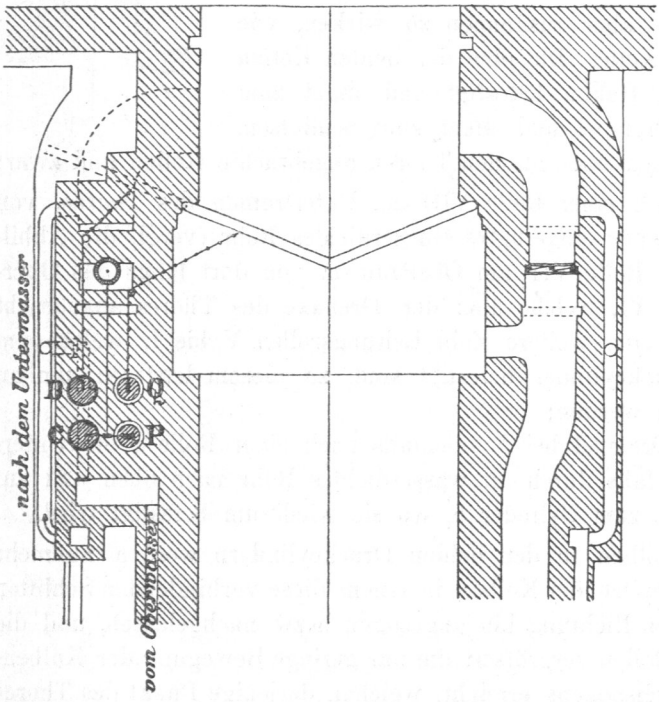
[96]) Mohr. Der Oder-Spree-Kanal und seine Bauten. Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 369 u. f. (Bewegung der Unterthore der Wernsdorfer Schleuse. S. 389.)

sind, so ist auch bei dieser Anlage die Überführung des Druckwassers von der einen zur anderen Seite erforderlich; dieselbe erfolgt über eine feste Brücke, welche einen Weg über das Unterhaupt der Schleuse leitet, bereitet also hier keine Schwierigkeit.

Alle Anordnungen mit Ketten haben den Vorzug, dafs, weil die Ketten infolge ihres Gewichtes stets mehr oder weniger durchhängen, die Verbindung zwischen dem Thore und der treibenden Maschine stets eine elastische ist. Stöfse gegen das Thor werden also die maschinelle Einrichtung nicht unmittelbar gefährden, und zwar um so weniger, je mehr die Kette durchhängt, also je schwerer sie ist. Für grofse Stemmthore müssen daher die Bewegungsvorrichtungen, bei welchen Ketten verwendet sind, als die zweckmäfsigsten angesehen werden.

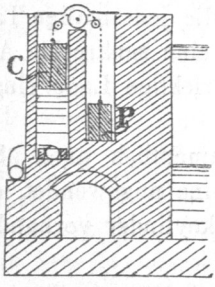
Der Übelstand, dafs man bei Ketten entweder die Kreuzung derselben über der Sohle des Hauptes bei offenem Thore oder aber die Untertunnelung des Hauptes behufs Überführung der Kraftquelle mit in den Kauf nehmen mufs, wird als solcher nur noch so lange vorhanden sein, wie ausschliefslich Druckwasser als Kraftträger Verwendung findet. Sobald dagegen — was wohl nur noch eine Frage der Zeit ist — die Elektricität als Kraftträger angewendet und die Dynamomaschine die hydraulische Dreicylindermaschine verdrängt haben wird, macht weder die Kraftüberführung, noch die Bedienung von einem Punkte aus irgend welche Schwierigkeiten.

Fig. 231.



Es sei hier ferner auf einen sehr sinnreichen Vorschlag von Tolkmitt aufmerksam gemacht, der zum Öffnen der Stemmthore des Unterhauptes eine Kette und zum Schliefsen einen Drehbaum an demselben Thore benutzen, für beide Bewegungen aber die treibende Kraft unmittelbar aus dem Schleusengefälle ohne Vermittelung von Maschinen gewinnen will.[97]) Er richtet zu dem Ende (Fig. 231 u. 232) auf jeder Seite des Hauptes zwei verbundene Schächte für Schwimmer *C* und *D* ein, die beliebig mit dem Ober- oder Unterwasser in Verbindung gesetzt werden können und zwei stets wasserfreie Schächte für Gegengewichte *P* und *Q*. Von dem Schwimmer *C*, welcher zur Bewegung eines Drehschützes mit senkrechter Axe dient, führt eine Kette zu einer auf wagerechter Welle festsitzenden Scheibe und nach einer vollen Umdrehung zu dem Gegengewichte *P*. Letzteres ist so schwer, als der aus vollem Holze (nicht hohl) hergestellte Schwimmer, wenn er zur Hälfte eintaucht, sodafs bei gefülltem Schwimmerschachte die Welle nach der Richtung des Gegengewichtes, bei entleertem nach der Richtung des Schwimmers gedreht wird. Zwei Kegelräder übertragen diese Drehung auf die Axe des Drehschützes derartig, dafs im ersten Falle das Schütz geöffnet, im zweiten geschlossen wird.

Fig. 232. Schnitt durch die Schleusenmauer bei Schacht *C*.

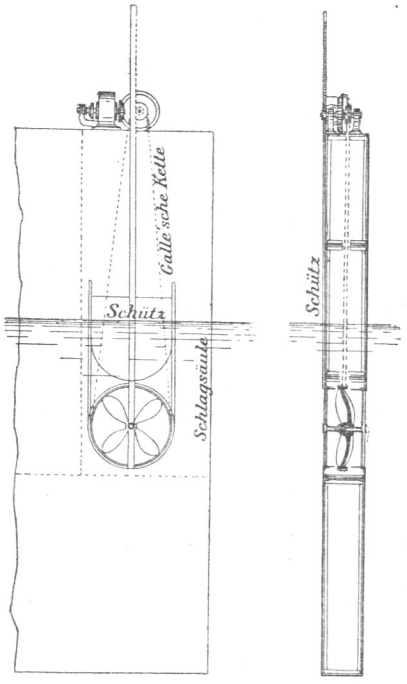


[97]) Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 237 und 1886, S. 92.

In ähnlicher Weise erfolgt die Bewegung der Thorflügel dadurch, dafs der Zug der Schwimmer *D* an dem Drehbaume und der Zug des halb so schweren Gegengewichtes an dem Oberriegel des Thores vermittels der Kette angreift, sodafs bei gefülltem Schachte das letztere die Oberhand hat und den Thorflügel sofort nach erfolgter Ausspiegelung zwischen Kammer und Unterwasser öffnet, während bei entleertem Schachte der herabsinkende Schwimmer, an dem Drehbaume angreifend, den Thorflügel schliefst. Die ebenso wirkende Vorrichtung für das Oberthor wird weiter unten beschrieben. Wenn die Schwimmerschächte durch einen Kanal in der Sohle des Hauptes miteinander verbunden sind, hat der Wärter bei Entleerung der Schleuse nur nötig, das Ventil *u* zum Unterwasser zu schliefsen und das vom Oberwasser *o* zu öffnen, um sofort die Schwimmer zu entlasten, sodafs die Gegengewichte die beiden Drehschützen und nach erfolgter Ausspiegelung auch die beiden Thore öffnen. Das Öffnen des Ober- wie des Unterhauptes folgt stets unmittelbar auf das Füllen bezw. Leeren der Kammer und das Schliefsen der Thore hat stets zugleich das Schliefsen der Umläufe zur Folge. Für sehr geringe Gefälle eignet sich die Vorrichtung nicht.

Endlich möge noch auf ein Bewegungsmittel aufmerksam gemacht werden, welches allerdings für Schleusendrehthore bisher noch nicht angewendet wurde, sich im übrigen aber bereits seit lange bewährt hat, nämlich die Schiffsschraube. Die erste Idee dieser Anwendung geht von Ziegler aus, der eine Schiffsschraube nahe der Schlagsäule an einer Seite eines Thorflügels anbringen wollte. Wenn auch in dieser Lage die Wirksamkeit der Schraube wegen der ungünstigen Wasserzu- und Abführung leicht eine mangelhafte sein würde, so kann dieselbe in anderer Anordnung (Fig. 233) wohl empfohlen werden. Man müfste dieselbe nämlich an der Schlagsäule in einer cylinderförmigen Öffnung im Thore einbauen, sodafs das Wasser von der einen Seite zufliefsen und nach der anderen abströmen könnte. Die runde Thoröffnung wäre durch ein Schütz verschliefsbar zu machen und diente gleichzeitig zum Füllen und Leeren der Kammer. Die Bewegung der Schraube erfolgte am zweckmäfsigsten durch eine auf dem Thore über derselben aufgestellte Dynamomaschine mittels Galle'scher Kette, deren unteres Kettenrad an den Enden der Schraubenflügel befestigt wäre, sodafs diese gleichsam die Radspeichen bildeten. Die Vorzüge dieser Anordnung wären folgende:

Fig. 233.



1. Aufserordentlich bequeme Kraftübertragung durch ein einfach auf das Thor geleitetes Kabel ohne alle baulichen Unbequemlichkeiten, als Tunnel, Schächte u. dergl.;
2. die Schraube kann schon in Thätigkeit gesetzt werden, bevor die volle Ausspiegelung erfolgte, wodurch die letztere wesentlich beschleunigt würde;
3. die Schraube bewirkt in der Thornische, wenn das Thor sich derselben nähert, eine Senkung des Wasserspiegels. Es fällt also die bei anderen Bewegungsvorrichtungen dann eintretende Erschwerung der Bewegung durch Aufstau fort;
4. der Bewegungsapparat ist aufserordentlich einfach und liegt vollkommen geschützt.

Ein Nachteil der Schraube bestände in der Bewegung, welche sie dem Wasser in der Schleuse und damit den darin liegenden Schiffen erteilt, die aber auch bei allen Thorschützen vorhanden ist und bei sehr tiefer Lage derselben weniger fühlbar wird. Anstatt einer Schraube liefse sich auch eine Reaktions-Turbine in der angegebenen Lage verwenden; zur Bewegung von Schiffen werden dieselben wieder versuchsweise angewendet und wie es scheint, mit gutem Erfolg.[98])

2. Einflügelige Drehthore. Fächerthore. Klappthore. Schiebethore. Pontons.

Die einflügeligen Thore mit senkrechter Drehaxe, sowie die Doppelthore und die Fächerthore werden in derselben Weise bewegt, wie die gewöhnlichen Stemmthore. So haben die einflügeligen Thore der Schleusen des Kanals von St. Denis

[98]) Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure 1894, 6. Jan.

Zahnradquadranten erhalten[99]), welche aus Schmiedeeisen zusammengenietet sind, und die Fächerthore der Schleuse zu Rendsburg, welche den Nord-Ostsee-Kanal mit der Untereider verbindet, werden in gleicher Weise bewegt, wobei der Quadrant in bequemer Weise über der Zwischenkonstruktion der beiden Flügel und die Winde an der Vorderkante der Überdeckung der Nische für den Seitenflügel Platz gefunden hat, s. T. XI, F. 3. Die beim Öffnen und Schliefsen der einflügeligen Thore zu überwindenden Widerstände sind genau dieselben, welche bei den Stemmthoren auftreten, sodafs die für diese gegebenen Formeln ohne weiteres Anwendung finden können. Der Kraftverbrauch zum Bewegen von Doppel- und Fächerthoren dagegen hängt zu sehr von den Konstruktionsverhältnissen (der Weite der Umläufe u. s. w.) ab, um durch eine genügend einfache Formel wiedergegeben werden zu können. Es mufs daher hiervon Abstand genommen werden, was um so mehr statthaft erscheint, als diese Thorarten sehr selten angewendet werden.

Klappthore. Auf die Bewegungsvorrichtungen der Klappthore mit wagerechter Drehaxe, welche in neuerer Zeit mehr in Aufnahme zu kommen scheinen, möge etwas näher eingegangen werden.

In der Regel wird das Gewicht dieser Thore so ausgeglichen, dafs das Thor, wenn es ganz in Wasser eingetaucht ist, sich von selbst auf den Grund legt. In diesem Zustande wird das Gewicht des Thores am geringsten sein, weil es den gröfsten Auftrieb erfährt. Tritt das Thor teilweise aus dem Wasser heraus, so vermindert sich zwar der Auftrieb und das Gewicht desselben G_1 nimmt infolge dessen zu. Da aber die Stellung des Thores mit zunehmendem Auftauchen immer steiler wird, so wird das Mehrgewicht des Thores meist nur den Druck auf die Zapfen und nicht den Zug der Ketten vermehren. Die durch den gröfseren Zapfendruck vermehrte Zapfenreibung vermehrt zwar wieder die Widerstände, welche der Aufzugapparat zu überwinden hat, aber doch nicht in dem Mafse, wie das unmittelbar zu hebende Gewicht abnimmt.

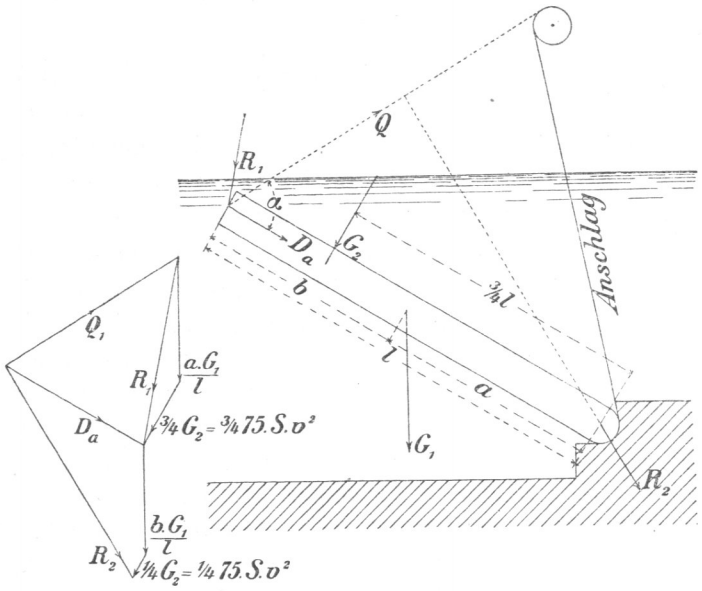
Betrachtet man nun ein Klappthor in der schrägen Lage, welche Fig. 234 zeigt, so setzt sich der Zug, welcher in der Kette wirkt, aus folgenden Teilen zusammen: erstens aus dem Zuge, welcher dadurch entsteht, dafs das Gewicht des Thores G_1 (abzüglich des Auftriebes) teilweise von der Kette zu halten ist und zweitens aus dem Widerstande, welchen das Wasser der Bewegung des Thores entgegenstellt; dieser Widerstand wirkt teilweise auf die Kette, teilweise auf den Zapfen. Das Gewicht G_1 verteilt sich mit dem Teile $\frac{a \cdot G_1}{l}$ auf das Ende des Thores, an welchem die Kette angreift, und mit dem Teile $\frac{b \cdot G_1}{l}$ auf das andere Ende, wenn a den Abstand des Angriffspunktes des Gewichtes, von der Drehaxe in der Thorrichtung gemessen, bedeutet, siehe die Figur. Der Widerstand, welchen das Wasser dem Bewegen des Thores entgegensetzt, ist nach den Untersuchungen von Landsberg $G_2 = 75 S \cdot v^2$, worin S die eingetauchte Fläche des Thores (in unserem Falle die ganze) und v die mittlere Geschwindigkeit, mit welcher das Thor bewegt wird, bedeutet. Der Angriffspunkt dieser senkrecht zur Thorfläche wirkenden Kraft liegt im Abstande $^3/_4 l$ von der Drehaxe, sodafs auf die Ketten $^3/_4$ derselben, auf die Drehaxe dagegen nur $^1/_4$ entfiele.

Aufserdem wird noch ein hydrostatischer Druck auf das Thor zur Wirkung kommen können, falls sich durch das Heben über dem Thore eine Erhebung des Wassers

[99]) Ann. des ponts et chaussées 1886. Auch Zeitschr. f. Bauw. 1890. Neuerungen an Schiffahrtsschleusen von Janssen.

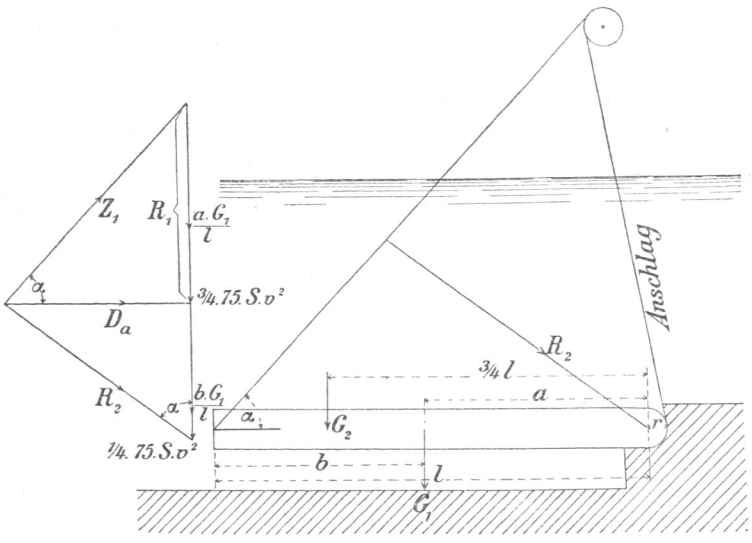
bemerkbar machen sollte. Eine solche wird aber nur eintreten während der Zeit kurz vor dem Auftauchen des Thores aus dem Wasser bis zum erfolgten Schlusse. Da aber dann die anderen Widerstände für die Kette sich bereits wesentlich verringert haben, so soll der durch den hydrostatischen Druck auf die obere Thorfläche entstehende Widerstand aufser Betracht bleiben.

Fig. 234.



Setzt man nun die Teile von G_1 und G_2, welche auf das obere Thorende entfallen, also $\frac{a \cdot G_1}{l}$ und $^3/_4\, 75\, S \cdot v^2$, zeichnerisch zur Mittelkraft R_1 zusammen, wie in Fig. 234 links geschehen, und zerlegt R_1 wieder in der Richtung der Kette und des Thores in Q_1 und D_a, setzt dann ferner die von G_1 und G_2 auf die Drehschwelle bezw. die Zapfen entfallenden Teile $\frac{b \cdot G_1}{l}$ und $^1/_4\, G_2 = {}^1/_4 75 \cdot S \cdot v^2$ mit D_a zu der Resultante R_2 zusammen, so liefert R_2 den Zapfendruck nach Gröfse und Richtung. Das Reibungsmoment desselben bildet den dritten Widerstand und ist $r \cdot R_2 \cdot \mu$, wenn r den Zapfen bezw. Wendeschwellen-Halbmesser und μ den Reibungskoefficient der Zapfenreibung bezw. der Reibung zwischen dem Material der Wendeschwelle und dem der horizontalen Wendenische bedeutet; hierbei ist angenommen, dafs keine eigentliche Zapfenausbildung vorhanden ist, sondern dafs die ganze Wendeschwelle bei der Drehung anliegt, eine Konstruktion, die übrigens nicht zu empfehlen ist.

Fig. 235.



Der Zug, welcher durch die Zapfenreibung in den Ketten erzeugt wird, ist genau genug $Q_2 = \frac{r \cdot R_2 \cdot \mu}{l \cdot \sin \alpha}$, wenn α den Winkel zwischen der jeweiligen Ketten- und der Thorrichtung bedeutet.

Der ganze Kettenzug ist also genau genug:

$$Q = Q_1 + Q_2 = Q_1 + \frac{r \cdot R_2 \cdot \mu}{l \cdot \sin\alpha}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 51.$$

worin Q_1 und R_2 aus dem Kräfteplan abzugreifen sind.

Für den Anfang des Schliefsens wird wohl ausnahmslos Q am gröfsten werden. Dann ist, wie Fig. 235 zeigt:

$$Q = \frac{\frac{a \cdot G_1}{l} + {}^3/_4 \cdot 75 S \cdot v^2}{\sin\alpha} + \frac{\left(\frac{b \cdot G_1}{l} + {}^1/_4 \cdot 75 S \cdot v^2\right) \mu \cdot r}{l \cdot \sin\alpha \cdot \cos\alpha}. \quad \ldots \ldots \quad 52.$$

μ ist bei Zapfenreibung (Eisen auf Eisen mit Wasser geschmiert) etwa $= 0{,}3$, bei Reibung der ganzen Schwelle in der Nische aber bis 0,7 zu nehmen. Q ist der Gesamtzug für die Ketten auf beiden Seiten des Thores.

Als Beispiel einer Bewegungsvorrichtung für Klappthore möge diejenige des Oberthores der Schleuse bei Fürstenberg des Oder-Spree-Kanales dienen, welche für hydraulischen und für Handbetrieb eingerichtet ist.

Für den maschinellen Betrieb sind zwei Wasserdruckcylinder O und S (F. 21—23, T. X) vorhanden, von denen der erstere das Öffnen, der zweite das Schliefsen des Thores besorgt. Die Ketten für beide Bewegungen greifen am Zapfen des Thores an und zwar geht die zum Öffnen benutzte Kette über die Rollen 5, 4, 3, 2, 1 nach dem Punkte f am Cylinder O, die zum Schliefsen dagegen über die Rollen V, IV, III, II, I nach dem am Cylinder S gelegenen Punkte f'. Wird bei dem Cylinder S die Kolbenstange durch das Druckwasser hervorgetrieben, so wird dadurch gleichzeitig infolge der Kettenverbindung der Kolben in den Cylinder O hineingedrückt und umgekehrt. Die Ketten werden also immer in Spannung gehalten.

Soll das Thor mit Handbetrieb bewegt werden, so wird ein Teil der beiden Ketten ausgeschäkelt, alsdann werden die Enden derselben miteinander verbunden, nachdem man sie als Kette ohne Ende vom Zapfen am Thor über die Rolle a, oben am Mauerwerk über die Trommel der Winde d, über die Spannrolle e, über die Rolle 5 am Thorkammerboden zurück zum Zapfen am Thore geführt hat, wie die strichpunktierte Linie in F. 21 andeutet. Die Spannrolle ist hier erforderlich, um die beim Bewegen des Thores eintretenden Längenunterschiede der Kette auszugleichen. Am Zapfen ist die Kette in einer solchen Weise befestigt, dafs man dieselbe schnell losnehmen kann, ohne den Zapfen selbst zu entfernen.

Weiter auf die Einzelheiten der Ausführung, namentlich auch auf die hydraulischen Maschinen einzugehen, würde hier zu weit führen. Es mufs dieserhalb auf die Quelle in der Zeitschrift für Bauwesen 1891: Der Oder-Spree-Kanal und seine Bauten von Mohr verwiesen werden.

Schiebethore. Es erübrigt noch, etwas über die Vorrichtungen zur Bewegung von Schiebethoren zu sagen.

Was zunächst den Bewegungswiderstand bei denselben betrifft, so setzt sich derselbe zusammen:

1. aus dem Widerstande, den die Reibung, welche durch das Pontongewicht erzeugt wird, verursacht;
2. aus dem Widerstande, welchen das Fortbewegen im Wasser verursacht, und
3. aus dem zufälligen Reibungswiderstande, welcher an den Seitenwänden der Pontonkammer entstehen kann, wenn das Ponton während der Fortbewegung sich eckt.

Der Widerstand unter 1. wird verschieden grofs ausfallen, je nachdem das Ponton unten einfach gleitet oder auf Rollen bewegt wird.

Bezeichnet G das Gewicht des Pontons abzüglich des Auftriebs, so ist der Reibungswiderstand für das einfache Gleitponton

$$Q_1 = \mu . G, \quad \ldots \quad 53.$$

worin der Reibungskoefficient μ je nach den aufeinander gleitenden Materialien verschieden ist, bei Eisen auf Stein etwa 0,4, bei Holz auf Stein etwa 0,6, bei Eisen auf Holz etwa 0,65.

Für Pontons, welche auf Rollen gleiten, ist der Reibungswiderstand

$$Q_1' = \frac{G}{R} [f + \mu_1 r] \quad \ldots \quad 54.$$

worin
- R der Rollenhalbmesser in mm,
- r der Halbmesser der Rollenzapfen in mm,
- f den Hebelarm der rollenden Reibung (für eiserne Rollen auf Eisen = 0,48 bis 0,87 mm, für den Zustand der Bewegung = 0,5 mm),
- μ_1 der Reibungskoefficient für Zapfenreibung, etwa = 0,28.

Der Widerstand des Wassers bei der Bewegung ist nach Mafsgabe des bei den Drehthoren Gesagten

$$Q_2 = 75 S . v^2 + 1000 S' . \Delta, \quad \ldots \quad 55.$$

worin S die Summe der Flächen in qm bedeutet, welche der Bewegung Widerstand entgegensetzen, v die Geschwindigkeit und Δ der Aufstau des Wassers vor dem bewegten Ponton, d. h. die Differenz zwischen dem Wasserstande vor und hinter dem Ponton. Wo das Wasser bei Pontons mit doppelten Blechwänden, aber offenen Stirnen, der Hauptsache nach durch das Ponton selbst abgeführt wird, empfiehlt es sich, mindestens für den ersten Teil der Gleichung 55 unter S die Vertikalprojektion aller während der Bewegung des Pontons im Wasser liegenden Teile zu rechnen, also bei dem Vorhandensein einer gröfseren Anzahl gleichartiger Ständer die Vertikalprojektionen derselben zu summieren, auch wenn sie sich in der Zeichnung decken sollten. Man sieht auch aus Gl. 55, dafs es zweckmäfsig ist, alle Aussteifungen möglichst so anzuordnen, dafs S recht klein ausfällt, also das Durchflufsprofil möglichst frei sei.

Für den zweiten Teil der Gl. 55 genügt es, wenn man für S' nur die Vertikalprojektion einer Stirnwand, soweit dieselbe eingetaucht ist, rechnet, weil der Aufstau Δ überhaupt sehr klein ausfällt, wenn man vorsichtig konstruiert, sodafs man ihn vernachlässigen kann, und weil unter Δ die Gesamtdifferenz verstanden ist.

Der dritte Reibungswiderstand an den Seitenwänden entzieht sich der Berechnung. Man mufs dafür Sorge tragen, dafs er nur unbedeutend werden kann und zu dem Ende glatte seitliche Gleitschienen oder auch Rollen anbringen, und kann ihn dadurch berücksichtigen, dafs man die unter 1. und 2. bezeichneten Widerstände der Sicherheit halber mit 1,5 bis 2 multipliziert.

Der Gesamtwiderstand würde sich also ausdrücken

für ein Gleitponton:

$$Q = Q_1 + Q_2 = (\mu . G + 75 S . v^2 + 1000 S' . \Delta) \text{ (1,5 bis 2)} \quad \ldots \quad 56.$$

und für ein Rollenponton:

$$Q = \left(\frac{G}{R} (f + \mu_1 r) + 75 S . v^2 + 1000 S' . \Delta\right) \text{ (1,5 bis 2)} \quad \ldots \quad 57.$$

Der Angriffspunkt der Reibung liegt bei Gleitpontons an der Unterkante, bei Rollenpontons entweder ebenfalls dort oder oben, wenn die Rollen sich auf einer Brücke

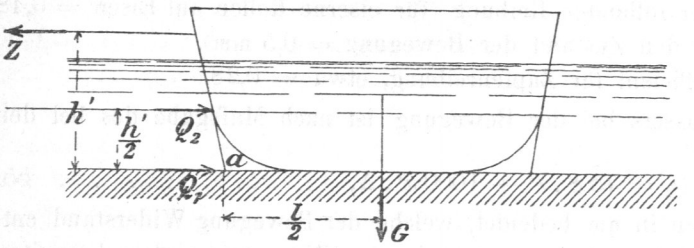
bewegen. Der Angriffspunkt von Q_2 liegt genau genug im Schwerpunkte der Flächen S des ersten Gliedes von Q_2.

Bei Gleitpontons mit hoch liegendem Angriffspunkte der Zugvorrichtung, und Pontons, die unten auf Rollen laufen, wäre es möglich, dafs ein Kanten des Pontons um die Ecke a in Fig. 236 eintreten könnte, wenn v, Δ und G nicht richtig bemessen wären. Damit nun ein Kanten nicht vorkommen kann, mufs folgendes Verhältnis erfüllt sein:

$$Z \,.\, h < (75\, S \,.\, v^2 + 1000\, S' \Delta)\, h' + G \,.\, \frac{l}{2}, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 58.$$

worin die Gewichte und Kräfte in Kilogramm, die Flächen und Längen in Meter zu verstehen sind. Die Bedeutung von l und h' ist aus der Figur ersichtlich. Z ist die Zugkraft, welche die Bewegungsvorrichtung entwickeln kann. Es sei hier bemerkt, dafs für die durchschnittlichen Verhältnisse neuerer Schleusen (etwa 24 m Weite und rund 9 m Fahrtiefe) die Vorgelege der Bewegungsvorrichtungen für Kinipple'sche Thore solche Übersetzungsverhältnisse erhalten, dafs 75 t Zugkraft zum Öffnen des Thores in 15 Minuten, 25 zum Öffnen in 5 und 15 zum Öffnen in 3 Minuten, je nach den augenblicklichen Widerständen geleistet werden können.[100])

Fig. 236.

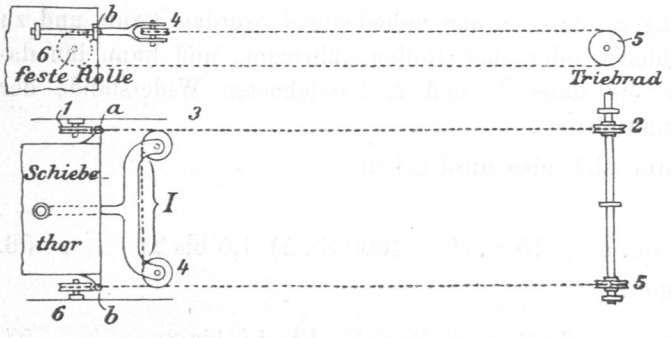


Was nun die Bewegungsvorrichtungen der Schiebethore in konstruktiver Beziehung anbetrifft, so hat Kinipple anfangs hierfür zwei endlose Ketten verwendet, von denen je eine zu jeder Seite der Pontonkammer angebracht und mit einem Punkte an konsolartig vorspringende Teile des Pontons befestigt war. Beide Ketten gingen am Ende der Pontonkammer über Triebräder, welche auf einer gemeinschaftlichen Welle der hydraulisch betriebenen Antriebsmaschine safsen. Je nachdem die Umdrehung dieser Welle in dem einen oder anderen Sinne erfolgte, wurde das Ponton in die Pontonkammer hineingezogen oder aus derselben hinausgeschoben.

Fig. 237.

Kinipple's Bewegungsvorrichtung für Schiebethore.

Aufrifs und Grundrifs.



Diese Anordnung mit zwei getrennten Ketten hat den Übelstand, dafs bei den unvermeidlichen etwas ungleichen Streckungen und Abnutzungen der Ketten das Ponton sich eckt, wodurch die Bewegung erschwert wird. Jenen Übelstand hat Kinipple bei seinen neueren Thoren dadurch vermieden, dafs der Zug beim Öffnen des Thores durch einen Balancier in der Axe des Thores angreift, und

[100]) Barkhausen. Über einige neuere englische Seeschleusen. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1888, S. 438.

dafs nur eine einzige Kette ohne Ende zur Anwendung kommt, bei welcher die ungleichen Dehnungen sich ausgleichen. Fig. 237 zeigt diese Anordnung; der Lauf der Kette ist folgendermafsen zu denken.[101])

Um mit dem Laufe bei der an der einen Thorseite festsitzenden Konsole a, an welcher das eine Ende der Kette festgelegt ist, zu beginnen, so geht dieselbe von hier zunächst zur festen Rolle 1, über dieselbe in der unteren Ebene zum Triebrade 2, über dieses hinweg in der oberen Lage nach der Rolle 3 am Balancier, um diese zur Rolle 4 und immer noch in der oberen Lage zum zweiten Triebrad 5, steigt um diese herum zur unteren Lage hinab, läuft zur festen Rolle 6 und um diese endlich wieder nach oben zur zweiten Konsole b, an welcher sie endet. Die Kette macht, wie man sieht, wagerechte und senkrechte Biegungen, sie kann also keine Galle'sche, mufs vielmehr eine gewöhnliche sein. Der Zug der Maschine wirkt auf das Ponton durch den Balancier, wenn dasselbe in die Pontonkammer gezogen wird, dagegen unmittelbar durch die Konsolen a und b, wenn dasselbe aus der Kammer geschoben wird. Um Verlängerungen der Kette wieder ausgleichen zu können und ein zu grofses Durchhängen des losen Trums zu vermeiden, kann in dem Teile I eine Spannvorrichtung eingeschaltet oder auch die Befestigung an den Knaggen a und b zum Nachziehen eingerichtet werden.

Für ein neues Dock in Kiel soll das Ponton ebenfalls durch einen Balancier bewegt werden, der aber sowohl bei der Rückwärts-, als auch bei der Vorwärtsbewegung die Kraft auf das Ponton überträgt, s. Fig. 238 (S. 284). Es sind hier zwei Galle'sche Ketten ohne Ende zu beiden Seiten der Thorkammer angebracht, deren etwaige ungleiche Längungen durch Verstellbarkeit der festen Rollen und Spannvorrichtungen an den Stellen, an welchen der Balancier angreift, ausgeglichen werden können. Die Gallesche Kette wurde vorgezogen, weil diese für die Kraftübertragung und den Raumbedarf viel bequemer ist, als die gewöhnliche.

Als Maschine wird gegenwärtig auch bei Schiebepontons wohl ausschliefslich die hydraulische benutzt. Da indessen grofse Seeschleusen, für welche die Schiebethore ganz besonders geeignet sind, fast stets mit elektrischer Beleuchtung ausgestattet zu werden pflegen, so ist es bei den grofsen Fortschritten, welche die elektrische Kraftübertragung gegenwärtig macht, wohl nicht zweifelhaft, dafs in naher Zukunft auch bei diesen Thoren die Dynamomaschine an Stelle der hydraulischen treten wird.

Die Bewegungsvorrichtung des in Fig. 201 bis 203, S. 255 dargestellten Gleitpontons zu Portsmouth zeigt doppelte Windetrommeln auf jeder Seite des Pontons. Die Ketten wickeln sich auf einer Trommel auf, während sie von der anderen in gleicher Länge ablaufen. Eine Spannvorrichtung ist nicht erkennbar.

Als Bewegungsvorrichtung für doppelteilige Schiebethore an Schleusen von geringer Durchfahrtshöhe (Schiffe ohne Mast), bei denen eine obere Rollenführung ausführbar ist, sei der Mechanismus der Schleuse mitgeteilt, welche den Sandthorhafen in Hamburg mit den oberhalb liegenden Hafenteilen verbindet. Bei diesem Bauwerke kam es besonders auf einen möglichst schnellen Betrieb an und dieser Zweck ist auch vollkommen erreicht. Die Bewegung beider Thorhälften geschieht gleichzeitig und zwar in etwa 15—20 Sekunden durch einen in dem Wärterhause angebrachten hydraulischen Flaschenzug von der in Fig. 239 skizzierten Anordnung. Die sich um die losen Rollen a und festen Rollen b des Flaschenzuges dreimal schlingende Kette ohne Ende geht in einem kastenförmigen Träger (Fig. 195, S. 248) von der linken Seite der Schleuse

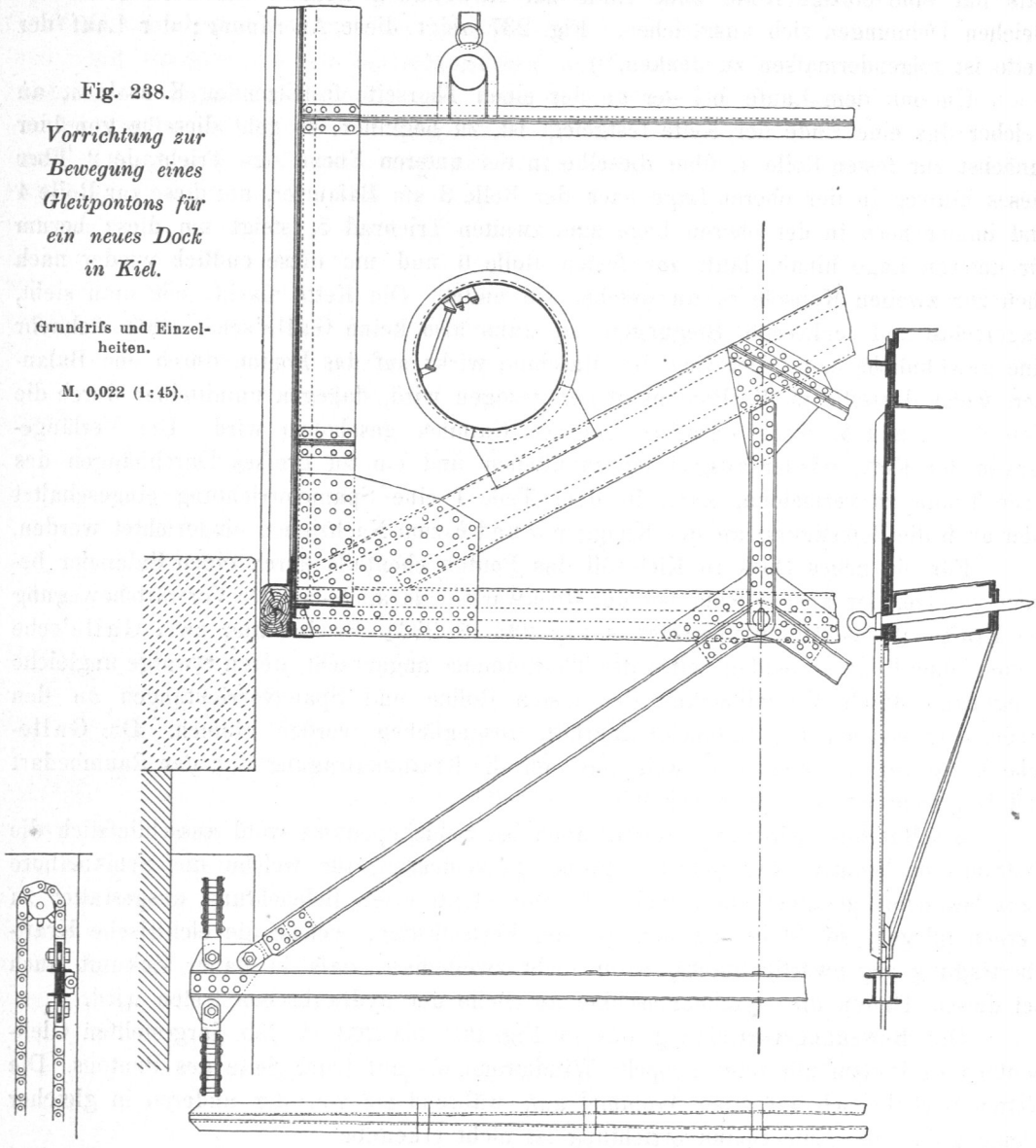
[101]) Die Quelle, der diese Skizze entlehnt ist, nämlich die erwähnte Arbeit von Barkhausen, läfst den Lauf der Kette nicht sicher erkennen. Derselbe dürfte aber in obigem richtig beschrieben sein.

Fig. 238.

Vorrichtung zur Bewegung eines Gleitpontons für ein neues Dock in Kiel.

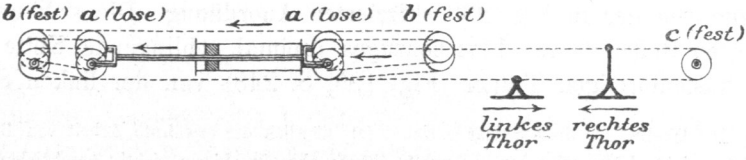
Grundrifs und Einzelheiten.

M. 0,022 (1:45).



doppelt nach der rechten Seite über eine festliegende Leitrolle *c*. An ihrer unteren Hälfte ist der eine, an der oberen Hälfte der andere Thorflügel befestigt. Sobald sich die losen Rollen *a* nach rechts fortbewegen, wickelt sich die untere Kettenhälfte auf, die obere aber ab und die beiden Thorhälften entfernen sich voneinander. Im umgekehrten Falle schliefsen sie sich ebenso gleichmäfsig.

Fig. 239.



Schützenthore. Bei den Schiebethoren, welche in senkrechter Richtung bewegt werden, wird man ihr Gewicht durch Gegengewichte ausgleichen, sodafs nur die Reibung zu überwinden ist. Für derartige Thore, welche zum Öffnen der Schleuse über den Wasserspiegel gehoben werden (vergl. § 13), ergiebt sich der Kraftbedarf nach der in § 23 für Cylinderventile gegebenen Formel. Bei denjenigen dagegen, welche beim Öffnen in einen Schlitz des Hauptes versenkt werden, ist beim Schliefsen aufser dem Übergewicht über den Auftrieb der Widerstand des zu verdrängenden Wassers zu überwinden. Für die Gröfse dieses Widerstandes geben sowohl die Betrachtungen über die Bewegung der übrigen Thorarten, als auch diejenige über das Hineinziehen der Schiffe in die Schleusen (§ 14) einen Anhalt.

Tolkmitt hat zur Bewegung solcher Thore für das Oberhaupt einer Schleuse die nachfolgende Anordnung vorgeschlagen, welche der oben für Stemmthore beschriebenen ähnlich und wie diese in Abhängigkeit mit dem Schliefsen und Öffnen der zugehörigen Cylinderschützen steht.

Fig. 240 u. 241.

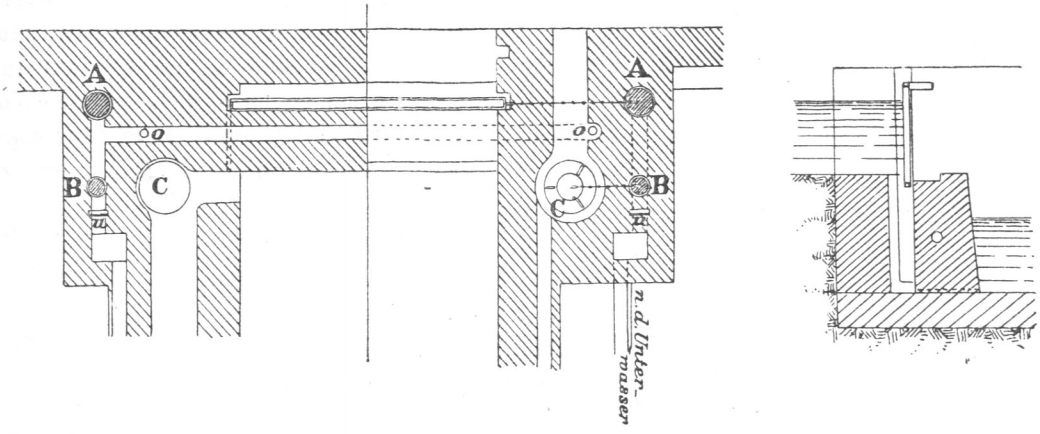
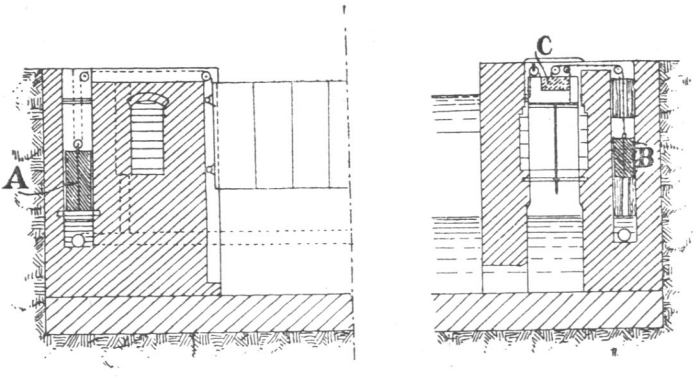


Fig. 242 u. 243.



Das Oberhaupt hat auf jeder Seite einen Schacht A (Fig. 240) für die Bewegung des Thores und einen Schacht B für die Bewegung des Cylinderschützes. Jeder Schwimmer A hängt vermittels einer losen Rolle an einer Kette, deren eines Ende über dem Schacht unwandelbar befestigt ist und welche weiterhin über zwei feste Rollen laufend an die das Oberthor bildende Schütztafel (Fig. 242) angreift. Der Zug der Schwimmer B wirkt an den Gegengewichten der Cylinderventile C (Fig. 243). Das Thor wird etwa um das halbe Schwimmergewicht A schwerer hergestellt, als das verdrängte Wasser ist; jedes Cylinderventil ist um das halbe Schwimmergewicht B leichter als sein Gegengewicht. Sämtliche vier Schächte sind vermittels eines durch den Drempel hindurch geführten Kanals miteinander verbunden. Werden sie gefüllt, so verlieren die aus massivem Holz mit Eisenbeschlag gedachten Schwimmer fast ihr ganzes Gewicht, die Cylinderventile, sowie die Schwimmer B werden durch die Gegengewichte hochgezogen und die Kammer wird gefüllt. Unmittelbar nach erfolgter Ausspiegelung zwischen Oberwasser und Schleusenkammer sinkt das Thor, die Schwimmer A hochziehend, in den Drempelschlitz hinab und das Oberhaupt ist geöffnet. Bringt man nun durch Schliefsen des Ventils o und Öffnen des Ventils u (Fig. 240) die

Schwimmerschächte mit dem Unterhaupte in Verbindung, so kommt alsbald das Gewicht der Schwimmer zur Geltung, die Schwimmer A erlangen das Übergewicht und ziehen, hinuntersinkend, das Thor hoch, während gleichzeitig die Cylinderventile schwerer als ihre durch den Zug der Schwimmer entlasteten Gegengewichte werden und, auf ihren Sitz hinabsinkend, den Verschluſs der Umläufe bewirken.[102])

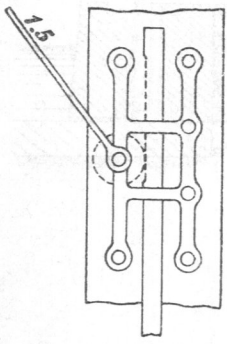
§ 23. Konstruktion der Verschluſsvorrichtungen. Die Verschluſsvorrichtungen, welche bei Thorschützen, sowie bei Umläufen zur Anwendung gebracht sind, können nach drei Hauptarten unterschieden werden, in Zugschütze, Drehschütze und Ventile.

1. Zugschützen.

Bei den Zugschützen liegt die Öffnung in einer vertikalen Ebene und wird durch eine Tafel, die Schütztafel oder auch nur das Schütz genannt, verschlossen (siehe T. V, F. 1; T. VIII, F. 13, ferner Fig. 103 u. 129 im Text). Die Bewegung der Tafel geschieht parallel zu jener Ebene und zwar meistens in senkrechter, selten in geneigter Richtung. Es kann dabei das Schütz aus einer völlig einheitlichen oder aus einer durchbrochenen Tafel bestehen, ferner nur nach einer Richtung oder unter Umständen abwechselnd nach beiden Seiten (Fig. 246 u. 247) Druck erhalten und den Verschluſs bewirken.

Als Widerstand gegen die Bewegung ist bei allen Schütztafeln das Produkt aus dem Druck auf die Schützfläche mit dem Reibungskoefficienten anzusehen, zu welchem noch das Eigengewicht der Schütztafel hinzutritt. Bezeichnet man die zum Aufziehen des Schützes erforderliche Zugkraft mit Z, so ist:

Fig. 244.



$$Z \geqq \mu . 1000 . h . F + G, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 59.$$

worin

μ den Reibungskoefficient,
F die Fläche des Schützes,
h das Schleusengefälle und
G das Gewicht des Schützes

bedeutet.

Nach Landsberg, „Die eisernen Stemmthore der Schiffsschleusen“ lassen sich guſseiserne und schmiedeeiserne Schützen von 300 bezw. 200 kg f. d. qcm Gewicht noch durch einfaches Hebelumlegen (Fig. 244) bei einem Umsetzungsverhältnisse des Hebels von 1:10 von zwei Arbeitern mit zusammen 60 kg Arbeitsdruck öffnen, wenn folgende Verhältnisse vorhanden sind:

Umsetzungsverhältnis des Hebels	Schleusenstau h m	Guſseisenschütz		Schmiedeeisenschütz	
		Z pro qm Schützfläche	Gröfste Schützfläche qm	Z pro qm Schützfläche	Gröfste Schützfläche qm
1:10	1	600	1,0	500	1,2
1:10	1,5	750	0,8	650	0,92
1:10	2	900	0,67	800	0,75
1:10	2,5	1050	0,57	950	0,63
1:10	3	1200	0,50	1100	0,55
1:10	3,5	1350	0,44	1250	0,48

Werden gröfsere Schützöffnungen, als in der Tabelle angegeben, erforderlich, so sind Vorgelege oder Schrauben nötig, vergl. T. VIII, F. 5 u. 7, sowie Fig. 110, S. 197 und Fig. 245.[103])

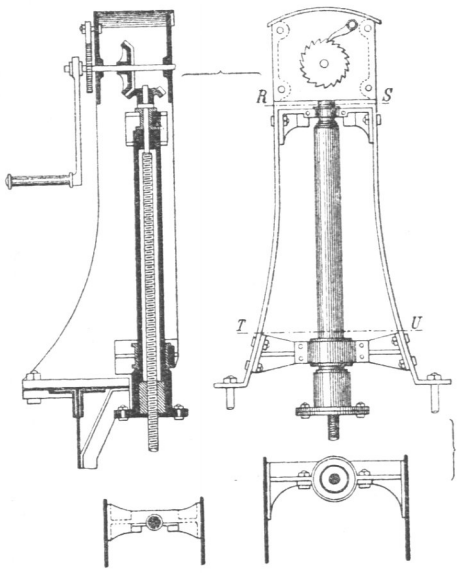
[102]) Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 92.

[103]) Vergl. auch den vierten Band dieses Handbuchs (Baumaschinen), Kap. XIII, S. 65 (Schützenwinden).

Die konstruktiven Einzelheiten sind aus folgenden Beispielen näher zu ersehen.

In Fig. 110 ist ein grofses hölzernes Thorschütz der Papenburger Schleuse von reichlich 0,9 qm Weite dargestellt. Bei derartigen Schützen werden zwischen zwei unter dem Unterwasser oder Niedrigwasser liegenden Riegeln zunächst zwei Schützständer von gleicher Dicke wie die der Riegel eingezapft sowohl zur Unterstützung der Schütztafel als der abgeschnittenen Bekleidungsbohlen. Damit das Schütz seine Führung erhalte, werden die sogenannten Schützgeleitständer oder Schützleisten aufsen auf der Fläche der Bekleidung aufgeschraubt von einer solchen Höhe, dafs aufser der nötigen Führung das Schütz hoch genug für etwaige Reparaturen u. s. w. hinaufgezogen werden kann. Diese Ständer sind entweder von Holz oder wie in Fig. 122, S. 203 von Gufseisen und enthalten einen Falz von einigen Centimeter Breite. Zwischen den Ständern liegt unten mit der Oberkante des Riegels in einer Höhe die Schützschwelle, auf welche das Schütz sich aufsetzt. Um in dem vorliegenden Falle die Schütztafel über das schräge Zugband hinüberziehen zu können, liegt eine etwas dickere Leiste an der oberen Kante der Schützöffnung; aufserdem ist der Falz in den Geleitständern um die gleiche Dicke von der Bekleidungsfläche entfernt. Die Schütztafel besteht aus gespundeten Querbohlen, welche durch zwei vertikale Leisten zusammengehalten werden. Auf letzteren liegt die Gabel der oben gezahnten Schützstange, welche beide mit einem Gelenk verbunden sind, um bequem getrennt werden zu können. Damit der Reibungswiderstand möglichst klein werde, sind die Schütztafeln und die Geleitflächen der Ständer mit gehobelten Eisenschienen eingefafst, sodafs die Reibung nur etwa ein Viertel so grofs bleibt, als wenn die Holzschützen sich auf den hölzernen Leisten hätten bewegen müssen.

Fig. 245. M. 0,05.



Schnitt *R S*. Schnitt *T U*.

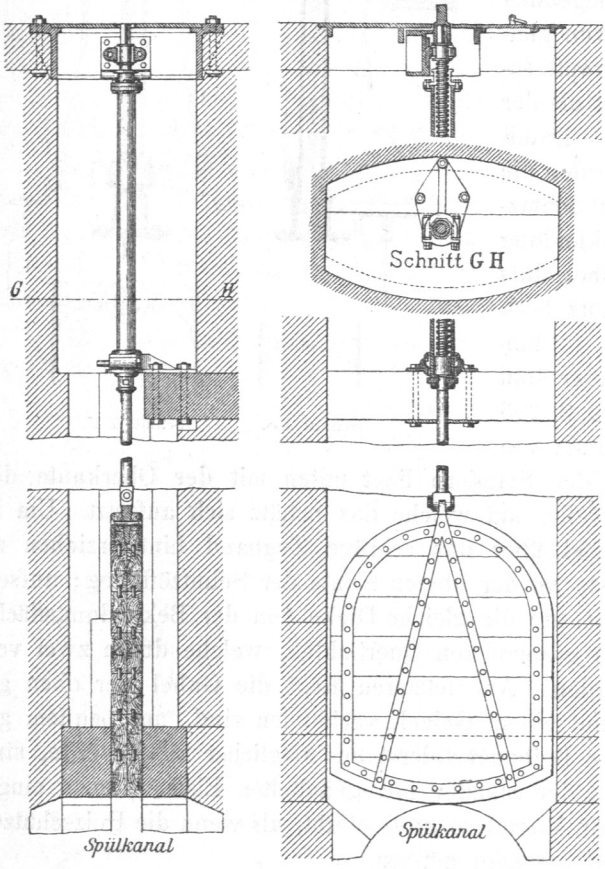
Wenn es auch im allgemeinen zu empfehlen ist, die Schützen aus Eisen zu konstruieren, um Abnutzung und Formveränderung zu verringern, so mufste doch bei den Papenburger Schleusenthoren wegen des grofsen Gewichtes davon Abstand genommen werden. Um nämlich bei geschlossenen Ebbethoren die nötige Abwässerung des Binnenlandes nicht zu unterbrechen, sind die Ebbethorflügel je mit zwei Schützen von obiger Weite, im ganzen also mit 3,7 qm Öffnung versehen. Die Ebbethore selbst zur gewöhnlichen Abwässerung zu benutzen verbot sich durch die Schwierigkeit, die Thore während starker Ausströmung sicher und rechtzeitig zu schliefsen. Jene Weite der Schützöffnungen hätte aber sehr schwere gufseiserne Schützen und Leisten bedingt und die ohnehin ungünstig geformten Ebbethore zur Versackung veranlafst. Die Schützen der Flutthore wurden der Gleichmäfsigkeit wegen nun ebenfalls aus Holz konstruiert; ihre grofse Öffnung war durch die grofse Kammer bedingt.

Beachtenswert ist das Schütz der Schleuse in Breslau F. 6, T. VIII, weil die Abrundung der unteren Kante desselben in Verein mit der Abrundung der Schützschwelle eine namhafte Vergröfserung des Ausflufskoefficienten im Gefolge hat.

Das ebenfalls aus Holz konstruierte Schütz in den Spülkanälen der Dockschleuse zu Leer ist bereits in § 7 erwähnt und dient als Beispiel eines nach beiden Seiten hin kehrenden Holzschützes. Wie die Figuren 246 und 247 ergeben, wird dies Zugschütz durch horizontale Umdrehung einer Schraubenspindel gehoben und gesenkt. Die Drehung geschieht mittels eines aufgesetzten Schlüssels, welcher in bequemer Höhe für zwei Mann einen horizontalen Querstock trägt. Die Spindel, welche dicht unter ihrem Kopf durch ein Halslager gehalten und getragen wird, wirkt auf eine bewegliche Mutter, die in der Zeichnung ihren höchsten Stand zeigt. An dieser sitzt eine die Spindel umgebende Hülse, welche unten durch eine feste Führung geht und zugleich in ihrem Inneren für das untere Ende der Spindel die nötige Führung giebt. An der Hülse hängt endlich die Schützstange. Der gröfste Druck auf das Schütz beträgt 6400 kg und verursacht mit dem Gewicht des Schützes einen Widerstand, der bei 12 mm Steigung der Schraube mit dem etwa 0,7 m langen Querstock am Schlüssel durch 30 kg Druck überwunden werden kann. Das Schütz ist in diesem Falle der gröfseren Leichtigkeit wegen aus Holz konstruiert und läuft mit etwa 12 cm Anschlag zwischen Sandsteinquadern. Eine weit geringere Reibung des Schützes würde unzweifelhaft durch Verwendung von Eisen zum Schütz, sowie zum Rahmen gewonnen werden können.

Fig. 246 u. 247. *Leer.* M. 0,02 (1 : 50).

Spülschütz nebst Winde.

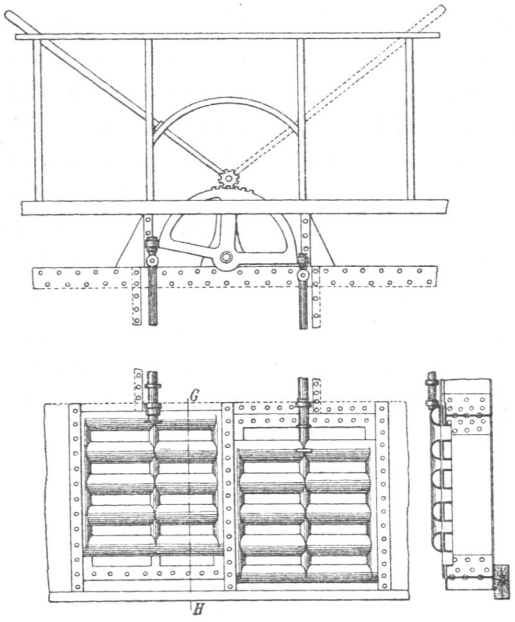


Für die mechanische Arbeit des Aufziehens von erheblichem Gewinn ist die Zerteilung der Schützfläche in einzelne übereinanderliegende Streifen. Von diesen Schützen, welche Register- oder Coulissenschütze heifsen, geben die Figuren 248 u. 249 ein Beispiel. Es liegen dabei fünf Öffnungen übereinander und zwar sowohl in der Schütztafel, als in dem festen Rahmen des Schützes. Die Zwischenräume zwischen den Öffnungen haben genau dieselbe Höhe als diese. Sobald also die Schütztafel nur um die Höhe einer Öffnung aufgezogen oder niedergedrückt wird, sind alle Öffnungen für das Durchströmen des Wassers frei. Eine wesentliche Vervollkommnung dieser Art von Schützen liegt ferner darin, dafs die zwischen den Öffnungen der Schütztafel liegenden Streifen im Querschnitt nach Halbkreisen gekrümmt sind, sodafs je zwei benachbarte von ihnen mit den festen Zwischenstreifen des Rahmens zusammen annähernd die Form des kontrahierten Wasserstrahles bilden. Hierdurch wird die Kontraktion sehr verringert

und der Ausflufskoefficient erheblich vergröfsert. Denn bei den gewöhnlichen, mit scharfen Kanten in der senkrechten Wand liegenden Schützöffnungen mittlerer Gröfse (etwa 0,5 qm) mufs der Ausflufskoefficient nur zu 0,6 angenommen werden, wogegen er bei einem solchen Coulissenschütz vielleicht gleich 0,9 gesetzt werden darf. Endlich ist bei dem dargestellten Beispiele die Anbringung zweier Schützen nebeneinander zu beachten, wodurch mit Hilfe der geeigneten Bewegungsvorrichtung das gleichzeitige Öffnen beider erreicht und das Eigengewicht G derselben (vergl. Gl. 59) ausgeglichen wird. Diese Einrichtung ist auch bei anderen ungeteilten Schützen getroffen, so z. B. bei dem in F. 6, T. VIII dargestellten, doch wird sie bei Registerschützen erst besonders vorteilhaft.

Fig. 248 u. 249. *Saar-Kohlen-Kanal.*

Registerschütze. Ansicht und Schnitt GH. M. 0,025.



Für derartige Doppelschützen lautet die Gleichung zur Ermittelung der erforderlichen Zugkraft also nur:

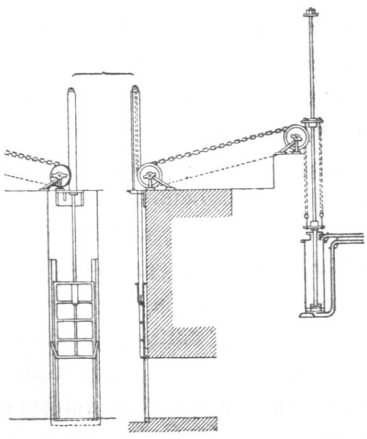
$$Z \geqq \mu . 1000 . h . F \quad . \quad . \quad . \quad 60.$$

Registerschützen haben eine gröfsere Anzahl Fugen und sind infolge dessen naturgemäfs schwerer dicht zu bekommen. Auch ist es wegen der engen Durchflufsöffnungen leichter möglich, dafs ein durch die Strömung mitgerissener fester Körper in der Öffnung hängen bleibt und zu Betriebsstörungen Veranlassung giebt, als bei einem gewöhnlichen grofsen Zugschützen. Man hat daher bei Schleusen, deren Thore mit hydraulischer Kraft bewegt wurden, auch neuerdings noch häufig statt der Registerschützen einfache in Anwendung gebracht und diese dann mit Hilfe des Wasserdruckes geöffnet.

Ein Beispiel hierfür bieten die Umlaufschützen der bereits in § 22 erwähnten Schleuse zu Keokuk, s. Fig. 250. Jedes Schütz hängt dort an einer Kette, die über die zwei aus der Figur ersichtlichen Rollen geht und bei deren Drehung von links nach rechts sich aufwickelt. Die Bewegung der beiden Rollen erfolgt mittels doppelter Drahtseile, welche um sie geschlungen und sowohl an dem Kopfe der Kolbenstange, als auch an dem Kopfe der in einer halbcylindrischen Führung sich bewegenden Schützstange befestigt sind. Geht nun der Treibkolben aufwärts, so gehen die beiden Rollen von rechts nach links, die Kette wickelt sich ab, die an der Schützstange befestigten Drahtseile gehen herab und ziehen die Stange mit sich. Bei umgekehrter, abwärts gerichteter Bewegung des Kolbens gehen die Drahtseile an der Kolbenstange ebenfalls abwärts, die Rollen von links nach rechts und die Schützstange mit dem Schütz aufwärts. In Fig. 250 sind nur zwei Drahtseile rechts und links von der Kolbenstange gezeichnet, während thatsächlich vier Paare und zwar je eins für jedes Schütz und das zugehörige Rollenpaar vorhanden sind. Selbstverständlich liegen zwischen dem Kopf der Kolbenstange und den nächstliegenden Rollen kleine, nicht weiter gezeichnete Leitrollen.

Fig. 250. *Keokuk.*

Schütz für die Umläufe. M. 0,005.

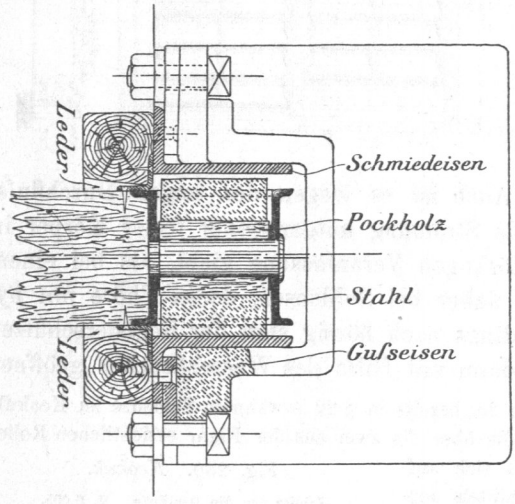


Um indessen an Kraft zu sparen, ist man bestrebt gewesen, die gleitende Reibung bei grofsen Zugschützen in rollende oder Zapfenreibung umzuwandeln.

Eine solche Konstruktion erhielten z. B. die Umlaufschützen der Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals, welche im Prinzip den Schützen der Sperrthore F. 8—12, T. XII gleichen. Die Schütztafel (vergl. F. 6, 8 u. 11 daselbst) besteht aus Holz und zwar sind die einzelnen Bohlen auf beiden Seiten genutet und durch eingelegte Federn miteinander verbunden. Es wechseln immer eine breitere und eine schmalere Bohle miteinander ab. An den Enden der etwas kürzeren, breiteren Bohlen befinden sich die Lagerstühle der Rollen, welche je durch vier kräftige Holzschrauben an den Bohlen befestigt sind. Jedes Rollenlager ist von den beiden benachbarten vollkommen unabhängig, kann also durch Lösen der vier Befestigungsschrauben mit seiner Rolle vom Schütz losgenommen werden; allerdings ist dazu ein Herausheben des Schützes erforderlich. Die schmaleren Bohlen greifen mit zapfenartigen Enden in die Hülsen ein, welche zwei benachbarte Rollenlager miteinander bilden. Starke Anker, sowie Flacheisenlaschen, welche auf beiden Seiten der Schütztafel angebracht sind, sichern die Verbindung der einzelnen Bohlen.

An den Laschen, welche in der senkrechten Axe der Tafeln befestigt sind, befindet sich auf der einen Seite die Zahnstange, welche zur Bewegung des Schützes dient. Dem eingreifenden Trieb gegenüber sitzt eine Führungsrolle, welche die Lage des Schützes sichert. Oben über dem Schütz befindet sich eine gufseiserne Haube, in welche die Zahnstange bei beendetem Hube noch ein wenig hineinragt. An dieser Haube ist ein Zeigerwerk angebracht, an dem man zu jeder Zeit die Stellung des Schützes erkennen kann. Die Dichtung an den Längsseiten und oben ist in der durch Fig. 251 dargestellten Weise ausgeführt. Ein im Winkel gebogener Lederstreifen ist mit dem einen Schenkel am Schütz festgenagelt und legt sich mit dem anderen gegen die Schenkel der U-Eisen, welche als Rollenbahn dienen. Der freie Schenkel des Lederstreifens ist durch eine Holzleiste versteift, welche beim Aufziehen des Schützes durch Knaggen am unteren Rande der Tafel beim Herablassen desselben durch einen eisernen Querbalken oben am Schütz mitgenommen wird. Die obere Dichtungsleiste mufs wegen der Führungsrolle und des Triebrades über den beiderseitigen Laschen in der Mitte des Schützes fehlen. Unten ist eine besondere Dichtungsleiste überhaupt nicht vorgesehen. Da das Schütz nach beiden Seiten kehren soll, so sind auch auf beiden Seiten Dichtungsleisten vorhanden. Ein wirklich dichter Abschlufs wird durch dies Schütz nicht erreicht, ist aber unter den vorliegenden Verhältnissen auch nicht erforderlich. Wollte man dieselbe Konstruktion auch bei Schleusen anwenden, bei denen man auf möglichste Wasserersparnis bedacht sein müfste, so dürfte vor allen Dingen die Zahnstange sich nicht wie bei den beschriebenen bis auf die eigentliche Schütztafel erstrecken, um die obere Dichtungsleiste nicht in der Mitte zu unterbrechen. Die zum Aufziehen dieser Schützkonstruktion erforderliche Zugkraft ist (genau genug):

Fig. 251.



$$Z \geqq 1000\,h\left(\frac{F}{R}(t+\mu_1 r)+f.\mu\right)+G \quad \ldots\ldots\ldots \quad 61.$$

Darin ist wie früher F die Fläche des Schützes, h das Schleusengefälle und G das zu hebende Gewicht des Schützes mit allem Zubehör. Es ist ferner R der Halbmesser der Rollen und r der Halbmesser der Rollenzapfen, f die Dichtungsfläche der Lederstreifen, alles in m, qm und kg. t ist der Hebelarm der rollenden Reibung, der für Rollen aus hartem Holze oder Eisen auf eben solchen Unterlagen = 0,00048 bis 0,00087 m zu setzen ist, für den Zustand der Bewegung = 0,0005 m. μ_1 ist der Reibungskoefficient für Zapfenreibung bei Wasserschmierung (je nach dem Material bis 0,3 wachsend), μ endlich der Koefficient für gleitende Reibung (hier Leder auf Eisen etwa = 0,38).

Im allgemeinen ist die obige Konstruktion ziemlich kompliziert und etwaige Ausbesserungen sind schwierig. Die nachstehend zu beschreibende, in England für sehr grofse Schützen vielfach angewendete ist in dieser Beziehung zweckmäfsiger und erfordert auch weniger Kraft, weil bei ihr die Zapfenreibung fortfällt.

Fig. 252. Wagerechter Schnitt.

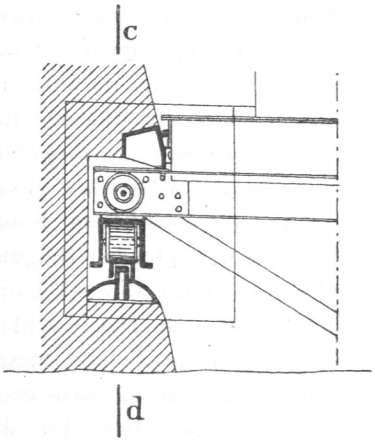


Fig. 253. Ansicht.

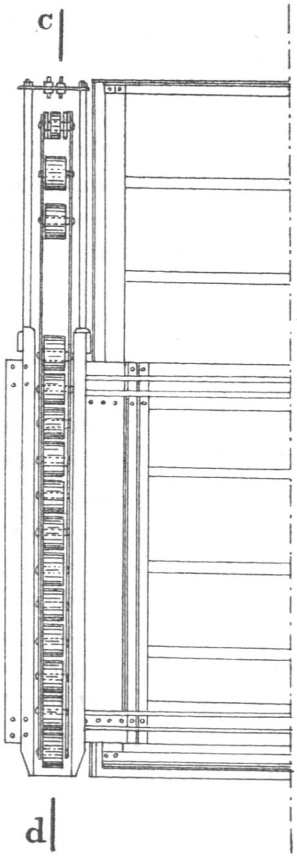
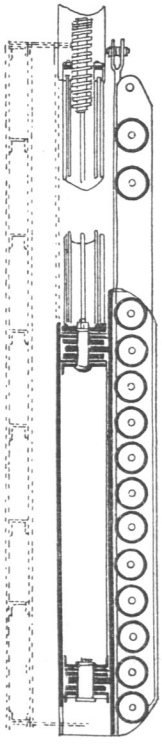


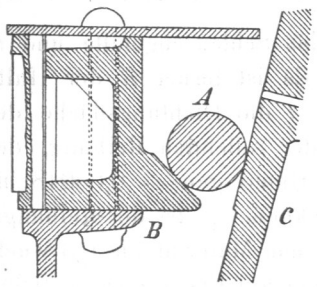
Fig. 254. Schnitt *CD*.



Bei dieser Konstruktion sind die Rollen in einem beweglichen Rahmen vereinigt, s. Fig. 252 bis 254. Wird nun das Schütz gezogen, so rollt es dabei auf den Rollen, ohne deren Zapfen zu belasten und nimmt dieselben samt dem Rahmen mit nach oben, wobei jedoch die Rollenaxen nur den halben Weg des Schützes durchlaufen. Damit letzteres auch weiter oben Rollen vorfinde, ist der Rahmen entsprechend länger als die Höhe des Schützes und trägt oben noch einige Rollen, gegen welche das Schütz sich nur während des Aufziehens stützt. Durch geeignete Vorkehrungen am Schütz kann der Rollenrahmen, wenn das Schütz gesenkt wird, mit nach unten genommen werden. Der Rollenrahmen ist ganz unabhängig vom Schütz und kann, wenn er entlastet ist, leicht herausgenommen und nachgesehen werden.

Die Dichtung kann bei diesem Schütz in verschiedener Weise geschehen; der Erfinder desselben, Stoney, hat mehrfach die in Fig. 255 dargestellte mit gutem Erfolge angewendet. Ein rund abgedrehter Eisenstab A wird durch den Wasserdruck in die Fuge zwischen der am Schütz befestigten Leiste B und der am Mauerwerk befestigten eisernen Platte C gedrückt und versperrt dieselbe. Die Berührungsflächen

Fig. 255.



für die Stange A an den Leisten B und C sind selbstverständlich gehobelt. Diese Dichtungsstangen kann man entweder vor dem Anheben des Schützes entfernen, oder ähnlich den Dichtungen an den Schützen des Nord-Ostsee-Kanals so mit dem Schütz verbinden, dafs sie von demselben mitgenommen werden.

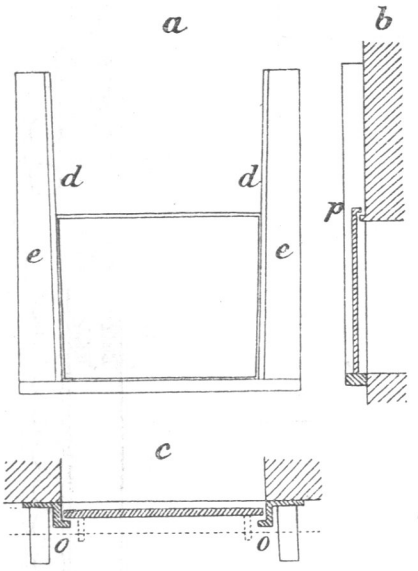
Die zum Aufziehen eines solchen Schützes erforderliche Kraft ist genau genug:

$$Z \geqq 1000\,h\left(\frac{F}{R}.t+\mu.f\right)+g\left(\frac{\mu_1 r}{R}+\frac{1}{2}\right)+G \quad . \quad 62.$$

worin g das Gewicht des Rollenrahmens mit den Rollen bedeutet, während die übrigen Buchstaben denselben Sinn haben, wie bei Gl. 61. Werden die Dichtungsstangen vorher entfernt, so fällt $\mu.f$ fort. Ist das Gewicht des Rollenrahmens durch Gegengewichte ausgeglichen, so fällt auch $g\left(\frac{\mu_1 r}{R}+\frac{1}{2}\right)$ aus.

Eine weitere zweckmäfsige Neuerung an Zugschützen zeigt die von Tolkmitt an der Schleuse in Woltersdorf getroffene Anordnung[104]), welche in Fig. 256 in ihren Grundzügen dargestellt ist. Die Schützöffnung ist unten und an beiden Seiten mit einem Rahmen eingefafst, dessen Innenflächen d die Berührungsflächen mit den entsprechenden Randflächen der Schütztafel bilden, die ebenso wie jene sorgfältig abgehobelt sind. Die Schütztafel ist oben etwas breiter als unten, sodafs ihre seitlichen Randflächen geneigt sind. Genau in gleicher Neigung gegen die Lotrechte stehen auch die seitlichen Berührungsflächen d des Rahmens. Das geschlossene Schütz liegt unten und an beiden Seiten dicht an dem Rahmen, von dem es sich beim Öffnen sogleich überall abhebt. Der auf die Schütztafel wirkende Wasserdruck wird von Rollen aufgenommen, welche auf den lotrechten breiten Vorderflächen e des Rahmens laufen und an deren Axen die Tafel etwas beweglich aufgehängt ist. Oben erfolgt der dichte Abschlufs in der aus Fig. 256 b ersichtlichen Weise durch eine auf der oberen Randfläche der Schütztafel befestigte Platte p von Leder oder Gummi, deren überstehender Streifen durch den Wasserdruck gegen eine auf dem Schützrahmen angebrachte Anschlagsleiste gepreſst wird. Das Hinausfallen der Schütztafel aus dem Rahmen wird durch die aus Fig. 256 c ersichtlichen Knaggen o, welche in Fig. 256 a fortgelassen sind, verhindert.

Fig. 256.



Derartige Schützen hat die Schleuse sowohl in den Umläufen, als in den Thoren erhalten. Bei den Umläufen ist das Gewicht der Schützen durch Gegengewichte ausgeglichen. Bei den Thoren sind in jedem zwei kleinere Schützen angeordnet, von denen das eine nach oben, das andere nach unten geöffnet wird und die beide an den Endpunkten eines gleicharmigen Schwinghebels (Balanciers) befestigt sind. Dadurch heben sich die Eigengewichte der Schützen gegenseitig auf.

[104]) Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 413.

Die zum Öffnen eines solchen Schützes erforderliche Zugkraft mufs sein:

$$Z \geqq 1000\, h \left(\frac{F}{R} (t + \mu_1 r) + f \right) + G, \quad \ldots \ldots \ldots \quad 63.$$

worin unter f nur die Anschlagsfläche der Dichtungslasche aus Leder oder Gummi zu verstehen ist.

Ist das Eigengewicht durch Gegengewicht aufgehoben, so fällt G fort. Genau genommen würde dafür, so wie in den früheren Formeln, wenn Gegengewichte angenommen wurden, ein Glied treten müssen, welches die Widerstände berücksichtigt, die an den Rollen für das Gegengewicht entstehen. Meistens werden dieselben aber dem Übrigen gegenüber, wie bisher geschehen, vernachlässigt werden können.

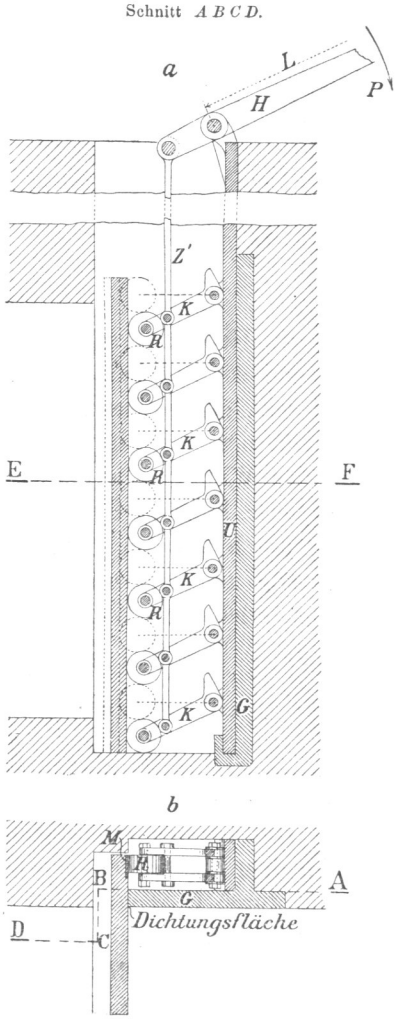
Man wird übrigens gut thun, bei der Bemessung von Z für die besprochene Schützkonstruktion darauf Rücksicht zu nehmen, dafs das erste Lösen der beim Schliefsen in den Rahmen vielleicht etwas fest eingelassenen Schütztafel einen etwas gröfseren Kraftbedarf erfordern kann.

Endlich sei noch die in Fig. 257 dargestellte Anordnung erwähnt, welche in etwas anderer Gestalt von Ehlers im Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 228 vorgeschlagen ist. Dieselbe verwandelt ebenfalls die gleitende Reibung in rollende und zeichnet sich dadurch aus, dafs sie in bequemer Weise einen vollkommen dichten Abschlufs ermöglicht.

Die beiden senkrechten Seiten der Schütztafel sind um ein genügendes Stück über die Dichtungsfläche hinaus verlängert und tragen hier gehobelte Eisenschienen M (Fig. 257 b), welche als Laufflächen der Rollen R dienen. Diese Rollen sitzen an den Enden der Kniehebel K (Fig. 257 a), deren andere Enden an der Leiste U um wagerechte Axen drehbar befestigt sind. Heben und Senken der Kniehebel und damit der Rollen R erfolgt gemeinsam an der Zugstange Z' vermittels des Hebels H. Haben die Kniehebel die in Fig. 257 a dargestellte, nach unten geneigte Lage, so liegt das Schütz auf der Anschlagsfläche, werden die Hebel in die wagerechte Lage (in der Darstellung punktiert) gehoben, so wird das Schütz von der Anschlagsfläche abgehoben, und damit ist die gleitende Reibung beseitigt. Während das Schütz aufgezogen wird, ist der Hebel H so fest zu stellen, dafs die Kniehebel K und Rollen R in der punktierten Lage bleiben. Auch hier läfst sich leicht die Anordnung treffen, dafs die Leiste U mit allen Rollen und Kniehebeln jederzeit herausgezogen und nachgesehen werden kann.

Fig. 257.

Schnitt $A\,B\,C\,D$.



Schnitt $E\,F$.

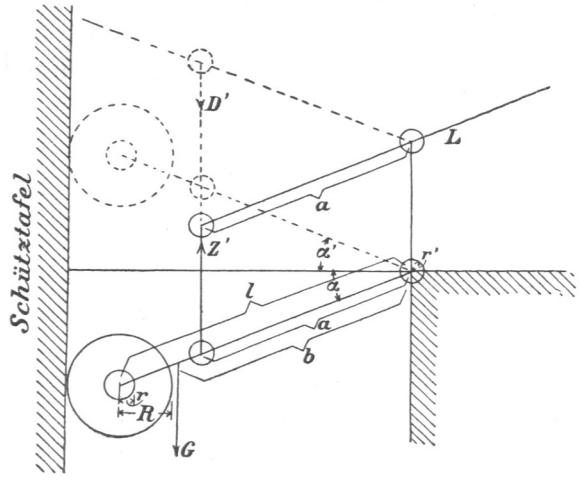
Für die Berechnung der zum Öffnen aufzuwendenden Kraft ergiebt sich Folgendes: Zunächst ist das Schütz vom Anschlage abzurücken durch Anziehen der Kniehebel K. Hierfür ist an der Zugstange Z' ein gleichnamiger Zug auszuüben, der sein mufs:

$$Z' \geqq \frac{1000 \,.\, h F'}{2} \left(tang\,\alpha + \frac{\mu_1 r'}{a \,.\, cos\,\alpha} + \frac{l}{a \,.\, R} (t + \mu_1 r) \right) + \frac{G' \,.\, b}{a} \quad \ldots \ldots \quad 64.$$

F' ist die Fläche der Schütztafel und zwar genau genommen nach Abzug der über den Anschlag vorspringenden Ränder, h wie früher das Schleusengefälle, α der Winkel, welchen die Kniehebel beim Beginn des Abhebens mit der Horizontalen bilden (Fig. 258),

R ist der Halbmesser der Rollen, r derjenige der Rollenzapfen, r' der Halbmesser des Zapfens der Kniehebel am Drehpunkte derselben, l ist die Länge des Kniehebels, a der Teil desselben zwischen dem Angriffspunkte der Stange Z' und dem Drehpunkte, t und μ_1 haben die früher angegebenen Werte. G' ist das Gewicht der Rollen, Kniehebel und der Zugstange Z' für die eine Schützenseite, welches im Abstande b vom Drehpunkte der Kniehebel angreift. Vernachlässigt ist die Reibung in den Zapfen der Zugstange Z' selbst, weil zur Berechnung derselben die Kraft Z' erst bekannt sein mufs, sowie der Widerstand, den das Wasser der Bewegung entgegensetzt, der nicht bedeutend wird, weil die Bewegung eine sehr langsame ist.

Fig. 258.



Der Druck, welcher am Ende des Hebels H auszuüben ist, ergiebt sich alsdann:

$$P = \frac{Z' \cdot a}{L}, \quad \ldots \quad 65.$$

worin L die Länge des freien Armes ist (s. Fig. 257). Da der Arbeiter am Hebel mit seinem Gewichte wirkt, so kann $D = 50$ bis 60 kg genommen werden, und es wird bei einem einigermafsen grofsen Umsetzungsverhältnisse des Hebels H leicht sein, ein grofses Schütz durch einen Arbeiter vom Anschlage abzuheben.

Trifft man die Einrichtung so, dafs die Rollen von der Horizontalen nach oben hin um den Winkel α' ausgerückt werden, wenn das Schütz geschlossen sein soll, wie die punktierte Lage in Fig. 258 zeigt, so werden zum Abdrücken des Schützes vom Anschlag die Rollen um α' nach unten gesenkt. Das Gewicht derselben wirkt in diesem Falle günstig und der Druck, welcher durch die Verbindungsstange der Kniehebel auszuüben ist, erhält den Wert:

$$D' \geqq \frac{1000\, h\, F'}{2} \left(tang\, \alpha + \frac{\mu_1\, r'}{a \cdot cos\, \alpha} + \frac{l}{a \cdot R} (t + \mu_1\, r) \right) - \frac{G' \cdot b}{a} \quad \ldots \quad 66.$$

Die zum Aufziehen des Schützes selbst in beiden Fällen erforderliche Kraft ist:

$$Z \geqq \frac{1000\, h\, F}{R} (t + \mu_1\, r) + G \quad \ldots \quad 67.$$

Unter F kann der Sicherheit halber die ganze Schützfläche in qm verstanden werden. Die anderen Buchstaben haben die früher angegebene Bedeutung.

An dem Werte von Z wird G den gröfsten Anteil haben; es ist daher zweckmäfsig, G durch Gegengewichte auszugleichen.

Als eine Vervollkommnung sämtlicher Schützkonstruktionen für Umläufe kann empfohlen werden, den Rahmen für das Schütz nicht einzumauern, sondern zum Herausheben einzurichten, ähnlich wie dies bei dem Klappschütz für einen Umlauf der Bromberger Stadtschleuse weiter unten beschrieben werden wird.

2. Drehschützen.

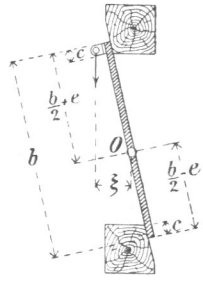
Die Drehschützen oder Drehklappen bewegen sich um eine vertikale oder um eine horizontale Axe, ersteres vorzüglich nur in den Umläufen. In der Regel teilt die Axe die ganze Klappe in zwei ungleiche Flächen im Verhältnis von etwa 8 bis 9 : 10,

wobei der Überdruck der gröfseren Fläche den dichten Anschluſs der Klappenränder an den festen Rahmen bewirken muſs. Bei der Öffnung muſs die Klappe dem durchströmenden Wasser möglichst wenig Widerstand entgegensetzen, dazu an den der Strömung entgegenliegenden Kanten thunlichst schmal sein und sich genau in die Richtung des ausfliefsenden Wassers stellen lassen. Der Widerstand gegen die Bewegung wird zu Anfang derselben durch hydrostatischen Druck erzeugt, im weiteren Verlauf dagegen durch hydraulischen, zu welchen beiden noch die Reibungswiderstände hinzutreten.

Das ganze Moment, welches zu Anfang dem Öffnen entgegenwirkt (in Bezug auf die Drehaxe), ist unter Vernachlässigung einiger kleinen Gröfsen genügend genau:

$$M = \frac{\gamma . a . b . h}{2} (2\,e + c + \mu . d), \quad . \; . \; . \; . \quad 68.$$

Fig. 259.



worin

γ das Gewicht von 1 cbm Wasser = 1000 kg,
h das Schleusengefälle,
a die Breite, b die Höhe } des Schützes, normal zur Drehaxe gemessen,
e die Excentricität (positiv, wenn die Dichtigkeit befördernd, sonst negativ),
c die Anschlagsbreite der Tafel,
d den Zapfendurchmesser

bedeuten, vergl. Fig. 259.

Führt man den hydrostatischen Druck D auf die ganze Klappe ein, welcher gleich $\gamma . a . b . h$ ist, so ergiebt sich:

$$M = D\left(e + \frac{c}{2} + \mu . \frac{d}{2}\right) \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 69.$$

Bezeichnet man ferner mit ξ den Hebelarm der Kraft P, welche beim Öffnen auf die Klappe übertragen wird und mit G das Gewicht des Gestänges, so muſs sein:

$$P \geqq \frac{D}{\xi}\left(e + \frac{c}{2} + \mu . \frac{d}{2}\right) - G \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 70.$$

Wird das Übersetzungsverhältnis am Hebel zum Öffnen des Drehschützes mit $n:1$ bezeichnet und die am Druckhebel bezw. an der Kurbel ausgeübte Kraft K genannt, endlich mit η eine Konstante bezeichnet, welche die Widerstände des Bewegungsmechanismus berücksichtigt und die je nach der Konstruktion der Geradführung gleich 1,1 bis 1,2 genommen werden kann, so ist:

$$K = \frac{P . \eta}{n} + \frac{\eta}{n}\left[\frac{D}{\xi}\left(e + \frac{c}{2} + \frac{\mu . d}{2}\right) - G\right] . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad 71.$$

μ wird meist = 0,3, G im Mittel etwa 50 kg sein. K ist für einen Arbeiter = 30 kg, für zwei = 55 bis 60 kg.[105])

Für den zweiten Teil der Drehung berechnet Lieckfeld in der Zeitschrift für Bauwesen 1892, S. 385 folgendes: Während der Drehung ist das gröfste Moment der hydraulischen Widerstände proportional der Klappenbreite a und dem Quadrate der Klappenhöhe b, wobei die Höhe immer (wie auch oben) die Abmessung senkrecht zur Drehaxe ist, also bei { wagerechter / lotrechter } Drehaxe ist b { lotrecht. / wagerecht.

[105]) Zeitschr. f. Bauw. 1878, S. 374 und Th. Landsberg. Die eisernen Stemmthore der Schiffsschleusen.

Bezeichnet wieder D den auf die geschlossene Klappe wirkenden hydrostatischen Gesamtdruck (ohne Abzug des Anschlages), so ist der gröfste Wert des Momentes der Widerstände, bezogen auf die Drehaxe:

$$M' = 0{,}9\, D\, (0{,}075\, b \pm e + 0{,}15\, d) \quad \ldots \ldots \ldots \quad 72.$$

Das erste Glied der Klammer giebt den Einfluſs der hydraulischen Widerstände, das zweite den der Excentricität (positiv, wenn den Schluſs befördernd wie oben), das dritte endlich denjenigen der Zapfenreibung.

Die hydraulischen Widerstände entstehen erst durch die Strömung; bei plötzlichem Öffnen der Klappe ist aber die spätere Geschwindigkeit des Wassers nicht sofort vorhanden, vielmehr ist eine gewisse Zeit zur Erreichung derselben nötig, welche Zeit um so gröfser ist, je gröfser die Masse des in Bewegung zu setzenden Wassers. Daraus erklärt sich, daſs der Widerstand bei schnellem Umlegen des Hebels oft geringer ist, als bei langsamem. Gegen Ende der Bewegung nehmen die Widerstände ziemlich plötzlich ab und es tritt eine starke Zunahme des Wirkungsgrades des Druckhebels auf. Auch unterstützt dann das Gewicht des Hebelarmes die Bewegung des Öffnens. Dadurch erklärt sich der am Schluſs der Bewegung im Sinne des Öffnens auftretende Stoſs.

Die gröfste Kraft, welche beim Öffnen zur Überwindung der Widerstände erforderlich wird, ist:

$$K' = \frac{P \cdot \eta}{n} = \frac{\eta}{n}\left[\frac{0{,}9\, D}{\xi}\left(0{,}075\, b \pm e + \frac{\mu \cdot d}{2}\right) - G\right] \quad \ldots \ldots \quad 73.$$

ξ ist hier der Hebelarm der Kraft P gegen die Drehaxe bei einer Stellung der Klappe von etwa 67° gegen die Lotrechte (für Klappen mit wagerechter Axe). Für Handbetrieb der Drehschützen muſs man die Klappenmaſse in den Gleichungen 69 bis 73 so bestimmen, daſs K nicht gröfser als 30 kg wird.

Was die vielfach zur Unterstützung des Öffnens angewendete negative Excentricität der Drehaxe anbelangt, so ist deren Wirkung, da sie höchstens gleich der Hälfte der Anschlagbreite bemessen werden darf, wenn nicht ein selbstthätiges Öffnen der Klappe stattfinden soll[106]) und deshalb wohl selten über 5 mm beträgt, nach Lieckfeld nur verschwindend klein. Jedenfalls ist der durch solche negative Excentricität der Drehaxe vermehrte Übelstand der Undichtigkeit viel erheblicher, als der durch die geringe Kraftverminderung erreichte Vorteil. Es empfiehlt sich deshalb, entweder gar keine oder eine auf Schliefsen wirkende, positive Excentricität der Drehaxe anzuwenden.

Von den Drehschützen oder Drehklappen ist zunächst in Fig. 260 u. 261 ein Beispiel für den Abschluſs eines Umlaufkanals gegeben. In der Ansicht ist das Schütz zur Hälfte rechts mit den beiderseitigen Holzbohlen bekleidet, links dagegen unbekleidet nur im eisernen Gerippe dargestellt. Auſser dieser Konstruktion giebt es namentlich für kleinere Klappen reine Eisenkonstruktionen in Blech oder Guſseisen. Aus den Zahlen im Schnitt $A\,B$ geht hervor, daſs die linke Hälfte 1,22 m, die rechte 1,12 m breit ist, erstere also den Überdruck hat. Zum Öffnen und Schliefsen dient das wegen seiner vielen kleinen Zahnräder wohl nicht besonders zweckmäſsige Windewerk. Drehschützen mit senkrechten Axen besitzen auch die Schiebethore der Schleuse zu Davis Island, vergl. F. 20—23, T. IX.

In der Anordnung sehr ähnlich sind die in Fig. 262 u. 263 gegebenen Beispiele von Spülthoren, wovon bei Besprechung der Seehäfen eingehender die Rede ist.

In den Stemmthoren würde für den gewöhnlichen Gebrauch zum Füllen und Leeren der Kammer eine Drehklappe mit vertikaler Axe nicht zweckmäſsig sein, weil

[106]) Vergl. weiter unten die Schützen der Stadtschleuse zu Bromberg mit hölzernem Anschlage.

Fig. 260 u. 261.
Drehschütz in einem Umlaufkanal.
Ansicht, Schnitt *A B*, Grundrifs. M. 0,015.

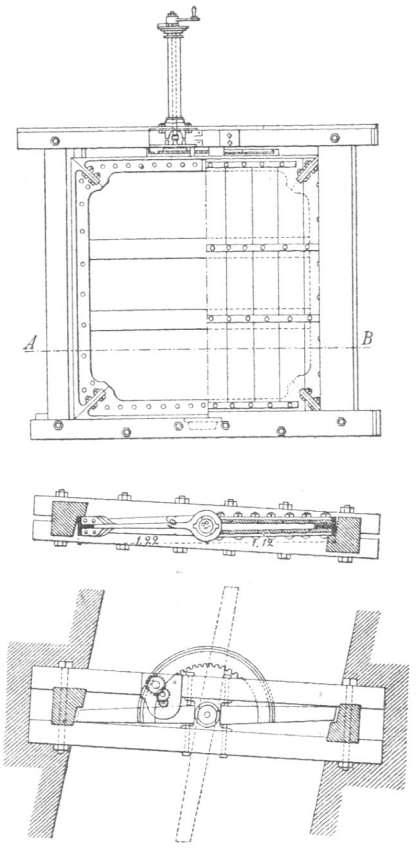


Fig. 262. *Spülthor.*
Grundrifs.

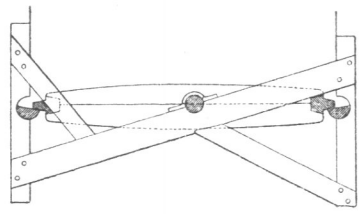
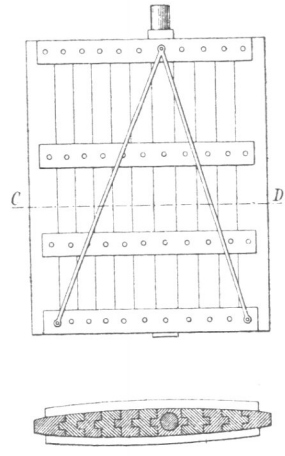


Fig. 263. *Spülflügel.*
Ansicht.



Schnitt *C D.*

sie am Thore nicht so bequem zu bedienen ist, als eine Klappe mit horizontaler Axe, vorausgesetzt, dafs dabei eine mäfsige Gröfse nicht überschritten wird. Es bedarf nämlich bei den horizontalen Klappen nur einer etwas schrägen Stellung während des Verschlusses und eines abwärts gerichteten Drucks gegen die gröfsere obere Hälfte der Klappe, um diese zur Öffnung zu bringen. Diese Bewegung wird besonders leicht durch einen auf der Laufbrücke liegenden Winkelhebel hervorgebracht, dessen langer Schenkel etwa 10 mal so grofs als der kurze ist und, um 180° gedreht, eine an dem kurzen Arm hängende Lenkstange um die doppelte Länge des letzteren hinabdrückt. Die Lenkstange ist durch ein Gelenk mit einer senkrechten Führungsstange verbunden und diese wieder mit der oberen Kante der Drehklappe. Bei dieser Einrichtung lassen sich nahezu 1 qm grofse Klappen in einigen Sekunden Zeit öffnen, während zum Öffnen eines etwa gleich grofsen einfachen Zugschützes etwa 2 Minuten erforderlich sind.

Ähnlich ist die Anordnung bei der Mehrzahl der Drehschützen für die Umläufe der Stadtschleuse in Bromberg ausgeführt (Fig. 264, S. 298). Man hatte hier versucht, die Excentricität der Drehaxe so zu bemessen, dafs die Kraft K' in Gl. 73, welche erforderlich ist, um die vom bewegten Wasser herrührenden Widerstände zu überwinden, soweit sie nicht durch einen Arbeiter ausgeübt werden konnte, durch den Überdruck des Wassers auf die gröfsere Seite der Klappe hergegeben würde. Man fand aber,

dafs dann in geschlossener Stellung ein selbstthätiges Öffnen des Schützes eintreten mufste, weil der hydrostatische Druck auf die gröfsere Hälfte zu grofs wurde. Ein annähernd dichter Schlufs war also bei dieser Anordnung unmöglich. Da nun zum Öffnen des Schützes bei vollem Drucke drei Mann am Druckhebel kaum ausreichten, ist nachträglich die untere Seite desselben über den Anschlag hinaus um 14 cm verlängert worden. Eine solche Verlängerung ist bei geschlossenem Schütz ohne Wirkung, bei dem Öffnen aber wird sie von dem Stofse des Wassers getroffen und unterstützt das Öffnen in der wirksamsten Weise. Diese Anordnung hat sich gut bewährt, und ein Mann ist im stande, bei vollem Wasserdrucke von 3,2 m zu öffnen. Dem Schliefsen bei diesem Drucke, wenn solches nötig werden sollte, setzen sich indessen erhebliche Widerstände entgegen.[107])

Fig. 264 u. 265. *Neue Stadtschleuse, Bromberg.*

Fig. 264.
Drehschütz mit Druckhebel im Trennungspfeiler.

M. 0,02 (1:50).

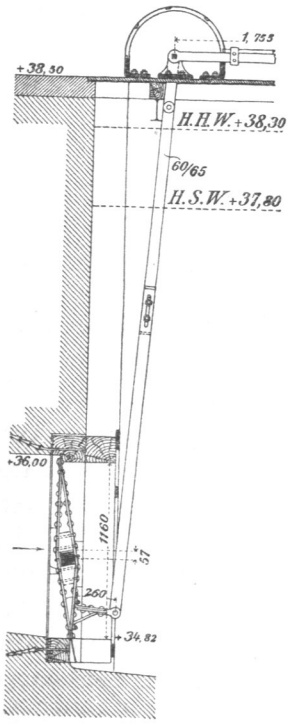
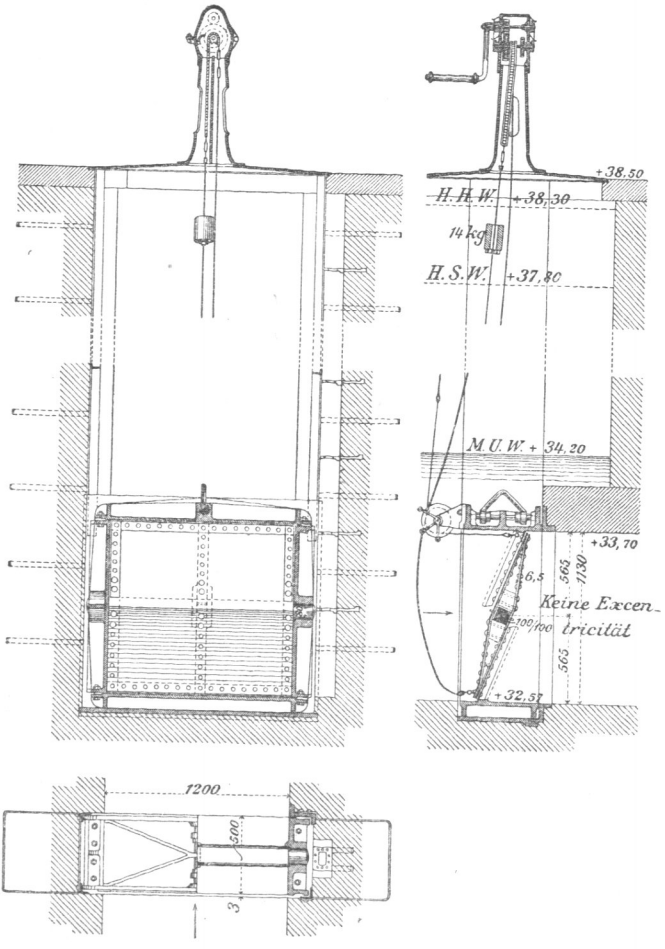


Fig. 265.
Drehschütz mit Kurbelbetrieb an der östlichen Seite des Unterhauptes. M. 0,02 (1:50).



Bei so bedeutenden Druckhöhen wie in Bromberg ist ein Druckhebel nicht sonderlich empfehlenswert, es ist zweckmäfsiger, die Bewegungen durch auf Zug beanspruchte Teile auszuführen. Eine solche Anordnung zeigt das Drehschütz Fig. 265 von derselben

[107]) Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 56.

Schleuse, welches aufserdem den noch wichtigen Vorzug hat, dafs das ganze Schütz mit Rahmen herausgenommen und nachgesehen werden kann, ohne dafs es nötig wäre, das Wasser abzudämmen. Die ebenso wie die vorigen 1,2 m im Geviert grofse schmiedeeiserne Schütztafel ist nämlich in einem gufseisernen Rahmen befestigt, in welchem sie sich gleichfalls um eine horizontale Axe dreht. Dieser Schützrahmen, welcher in einem in den Ecken mit Winkeleisen besetzten Schlitze frei in die Höhe gezogen werden kann, setzt sich unten auf eine Platte und wird von dem Wasserdrucke gegen einen lotrecht vermauerten gufseisernen Rahmen fest angepreſst. Da die Berührungsflächen gehobelt sind, so entsteht ein dichter Schluſs.

Die Drehung des Schützes erfolgt durch zwei Ketten, welche mittels eines Stückes Gliederkette über eine durch Kurbel gedrehte Kettentrommel geführt werden. Je nachdem die Trommel rechts oder links herum gedreht wird, wird das Schütz geöffnet oder geschlossen. Die Ketten werden unten über eine am Schützenrahmen befestigte Doppelrolle geführt, deren beide Scheiben sich unabhängig voneinander frei auf ihrer gemeinsamen Welle bewegen.

Um das Schütz nebst Rahmen herauszunehmen, hat man nur nötig, in einen an dem Rahmen zu diesem Zwecke befestigten aufrecht stehenden Bügel den Haken eines Flaschenzuges zu führen und letzteren an einen über dem Schacht aufgestellten Bock zu befestigen.

Der harte Anschlag der Klappe an dem gufseisernen Rahmen hat sich weder als Übelstand, noch überhaupt bemerkbar gemacht, zumal die Kettentrommel des Getriebes durch eine Sperrklinke gehalten wird, ein selbstthätiges Zuschlagen des Schützes also nicht stattfinden kann. Derselbe ermöglicht aber einen weit dichteren Abschluſs als der Holzanschlag und gewährleistet denselben namentlich auf längere Zeit. Das Schütz wird in sechs Umdrehungen der Kurbel geöffnet, erfordert aber bei vollem Wasserdrucke von 3,2 m und halber Öffnung der Klappe eine gröfste Kraft von 45 kg an der Kurbel, sodafs dann zwei Mann erforderlich sind. Es würde sich daher empfehlen, durch Erhöhung des Umsetzungsverhältnisses auf 10 Umdrehungen die erforderliche Kraft an der Kurbel soweit zu vermindern, dafs ein Mann zur Bedienung genügt.

In horizontaler Lage kommen die Drehschützen hauptsächlich bei Klappthoren vor. So bei den Schleusen des Erie-Kanals in Nordamerika (Fig. 189 bis 192, S. 246) und bei den Oberthoren der Schleusen des Oder-Spree-Kanals, vergl. F. 21—23, T. X.

Wie bei Beschreibung der Drehschützen alter Konstruktion mit hölzernem Anschlagrahmen erwähnt wurde, hat man, um die hydraulischen Widerstände während des Öffnens zu vermindern, die untere Klappenhälfte um 14 cm verlängert. Den gleichen Zweck wird man offenbar erreichen, wenn man nach Lieckfeld's Vorschlag in der oberen Klappenhälfte eine Klappe anbringt, die vor dem Öffnen des Drehschützes aufgemacht wird, sodafs dadurch die Druckfläche der oberen Klappenhälfte verkleinert wird, s. Fig. 266.

Fig. 266.

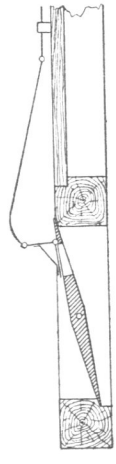
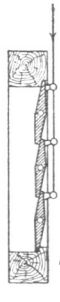


Fig. 267.

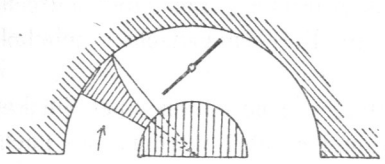


Als ferneres Mittel zur Verringerung des Kraftverbrauchs empfiehlt Lieckfeld die Zerlegung des Schützes in eine Anzahl kleinerer, s. Fig. 267. Da der hydraulische Widerstand, wie oben erwähnt, im Verhältnis zum Quadrat der Höhe des Schützes wächst, so wird, wenn der Widerstand für ein Schütz von der Höhe h einem Ausdrucke $A\,h^2$ entspricht, der Widerstand von n Schützen von je $\frac{h}{n}$ Höhe nur $n\,.\left(\frac{h}{n}\right)^2\,.\,A$ betragen, also nur den $n$ten Teil des grofsen.

Ein Jalousieschütz mit zwei eisernen Klappen und eisernen Anschlagsrahmen hat eine Schleuse zu Hansweerd in Holland in ihren Thoren erhalten.[108]) Derartige Jalousieschütze haben allerdings dieselben Übelstände wie das Jalousie-Zugschütz (viele Fugen und leichteres Festsetzen von Fremdkörpern).

Bei Klappschützen mit lotrechter Drehaxe, wie sie in Umläufen Verwendung finden können, kann die Führung des Kanals zur Unterstützung des Öffnens benutzt werden. Bei einem Kanal, wie ihn Fig. 268 im Grundrifs darstellt, verteilt sich die Geschwindigkeit und nach dem Quadrate der letzteren die Stofswirkung des Wassers in dem Kanalquerschnitte etwa nach der schraffierten Fläche. Bei der gezeichneten Anordnung der Klappe wird deren Öffnen daher unterstützt; bei entgegengesetztem Anschlagen derselben würde das Öffnen der Klappe durch den Stofs des Wassers erschwert werden.

Fig. 268.



Im allgemeinen empfiehlt es sich, die Anwendung von Drehschützen auf geringe Druckhöhen oder kleine Abmessungen zu beschränken, sofern nicht mechanische Betriebskräfte vorhanden sind. Zur Anwendung in Schleusenthoren, bei denen eine leichte Handhabung besonders erwünscht ist, erscheint daher anstatt des einfachen Drehschützes das Jalousie-Drehschütz um so mehr geeignet, weil es gleichzeitig in geöffnetem Zustande weniger vor die Thorfläche vortritt, also geschützter liegt, als das gleich grofse einfache. Übrigens werden die hydraulischen Widerstände bei Drehschützen in Thoren kaum dieselbe Höhe erreichen, wie in Umläufen, weil das Thor die Richtung der durch das nur teilweise geöffnete Schütz strömenden Wasserstrahlen weniger einschränkt als ein geschlossener Umlaufkanal.

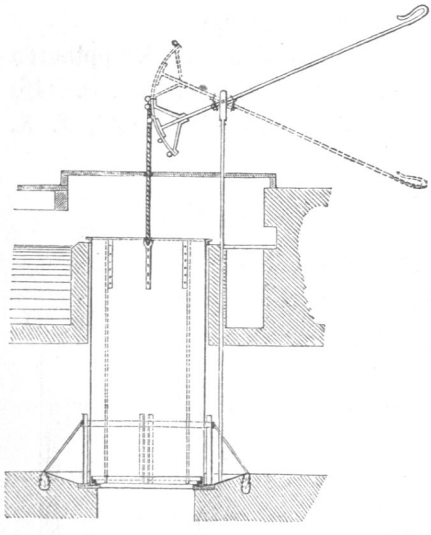
Bei gröfseren Druckhöhen ist jedenfalls ein eiserner Rahmen und Anschlag dem hölzernen vorzuziehen.

Eine besondere Art von Drehklappen bildet das sogenannte Kreis- oder Segmentschütz, wobei die Drehaxe aufserhalb der verschliefsenden Klappe liegt und diese eine Segmentform erhält. Der Widerstand wird hierbei sehr gering, aber in gleichem Mafse auch die Dichtigkeit.

3. Ventile.

Die Ventilverschlüsse können als einfache Klappenventile, Kegel- und Glockenventile oder als Cylinderventile gebildet sein. Das wesentliche bei ihnen ist, dafs von der verschlossenen Öffnung ein den vorstehenden Namen entsprechender Körper abgehoben und für den Verschlufs wieder darauf niedergelassen wird. Der Form dieser Körper gemäfs ist bei dem Anheben ein grofser oder kleiner Widerstand zu überwinden, je nachdem der Wasserdruck auf die Oberfläche des Körpers unmittelbar zu überwinden ist, oder nur die diesem Druck entsprechende Reibung oder gar nur die Reibung des Wassers an dem Körper. In letzterem Falle, namentlich bei den Cylinderventilen, ist die zur Hebung notwendige Kraft besonders klein. Während der Öffnung erhalten die Ventile einen hydraulischen Druck, welcher bei geeigneter Form ebenfalls sehr klein ausfällt.

Fig. 269.



Von den Ventilverschlüssen sind die Klappen- und Kegelventile nach einigen Anwendungen als unzweckmäfsig verlassen, dagegen verdienen die in den Figuren 1—4, T. VIII dargestellten und auch bei dem Caligny'schen Apparat (s. § 24) benutzten Cylinderventile für Umläufe besondere Beachtung. Dieselben kommen u. a. auch bei Verschlüssen von Einlaufrohren für Wasserleitungen vor und haben den bereits oben erwähnten Vorteil, dafs die zu ihrer Bewegung

[108]) Tijdschr. van het kon. Inst. van ingenieurs 1886/87, S. 22 und Tafel 9.

erforderliche Kraft und Zeit verhältnismäfsig am kleinsten ist. Sie bestehen nach Fig. 269, sowie nach F. 3, T. VIII im wesentlichen aus einem über das Oberwasser reichenden Blechcylinder, welcher unten entweder mit einer konischen Ringfläche (Sitz) oder einfacher mit einem schweren Zinkwulst auf einem Gummiringe an dem Rande einer festen Öffnung aufsteht und oben an einer Kette (am besten einer Galle'schen wegen Drehung) hängt. Die Kette selbst ist entweder an einem Kreissegment oder an einer Zahnstange befestigt, sodafs bezw. ein einfaches Niederdrücken des Hebels oder ein entsprechendes Aufziehen der Zahnstange mittels eines Vorgeleges zur Hebung des unten in einer ringförmigen Führung stehenden Cylinders genügt, wobei die Hubkraft nur etwas mehr als das Gewicht desselben beträgt, wenn nicht gar letzteres durch ein Gegengewicht ganz oder zum Teil ausgeglichen wird. Ein besonderer Vorteil liegt bei diesen Cylindern unter Umständen darin, dafs ohne Gefahr einer Stofswirkung die Öffnung plötzlich geschlossen werden kann.

Der Ventilverschlufs in den Umläufen der Schleuse zu Breslau, F. 1—4, T. VIII, besitzt in der Einströmungsöffnung ein konoidisch erweitertes gufseisernes Mundstück, in welches das aus 6 mm starkem Eisenblech bestehende Cylinderventil mit dem unteren gufseisernen und nach einer Kugelzone abgedrehten Rande hineinfafst. Der dichte Verschlufs wird durch die letztere Form von der übrigens noch durch schmiedeeiserne Arme bewirkten Führung (s. F. 3) unabhängig. Der 3,75 m hohe, auch oben offene Cylinder ist nur bis zur Höhe des höchsten schiffbaren Oberwassers geführt, und wird bei noch höherem Wasser zur Verhütung der Durchströmung mit einem Deckel geschlossen. Das Gewicht des Ventils (etwa 750 kg) wird durch ein hufeisenförmiges Gegengewicht (F. 2 u. 3, T. VIII) so ausgeglichen, dafs nur die Reibung zu überwinden ist. Die Bewegung geschieht mittels einer kleinen Winde und einer bis zum oberen Rand des Ventils hinabreichenden gezahnten Stange durch einen Arbeiter in fünf Sekunden. Der Hub des Ventils wird rechtzeitig begrenzt dadurch, dafs sich das Gegengewicht auf einen Mauervorsprung der Nische legt. Näheres s. Zeitschr. f. Bauw. 1880.

Auch die mehrfach erwähnte Stadtschleuse in Bromberg besitzt Cylinderventile von 1,2 m Durchmesser und 6 mm Wandstärke. Der Ventilsitz ist aus Gufseisen und schliefst sich wie in Breslau möglichst der Gestalt des zusammengezogenen Wasserstrahles an. Rings um den Blechcylinder ist in Höhe des Zuleitungskanales eine Aussparung des Mauerwerks von 35 cm Weite vorgenommen, um dem Wasser von allen Seiten ungehinderten Eintritt in den Schacht des Abführungskanals zu gewähren.

Der Blechcylinder ist auch hier durch ein Gegengewicht aus Gufseisen entlastet, das aber beim Anheben des Cylinders sich in denselben hineinsenkt. Die Führung des Ventils bei der Bewegung bewirkt eine die Cylinderaxe bildende und mit diesem fest verbundene schmiedeeiserne Stange von 60 mm Durchmesser, welche unterhalb des Cylinders durch einen von drei vermauerten Armen getragenen Führungsring gesteckt ist und oberhalb das Gegengewicht durchdringt. Dieser Führungsring ist indessen später zerstört und hat sich auch als überflüssig erwiesen. Die Führungsstange trägt oben eine Zahnstange, welche ohne weitere Übersetzung durch ein Triebrad mittels Kurbel bewegt wird. Fünf Umdrehungen der Kurbel genügen zu einem vollständigen Hub.

Der gufseiserne Deckel des Schachtes ist durchbrochen; die darin befindlichen Öffnungen lassen bei plötzlichem Schliefsen des Ventils die Luft und teilweise auch das aufspritzende Wasser entweichen.[109])

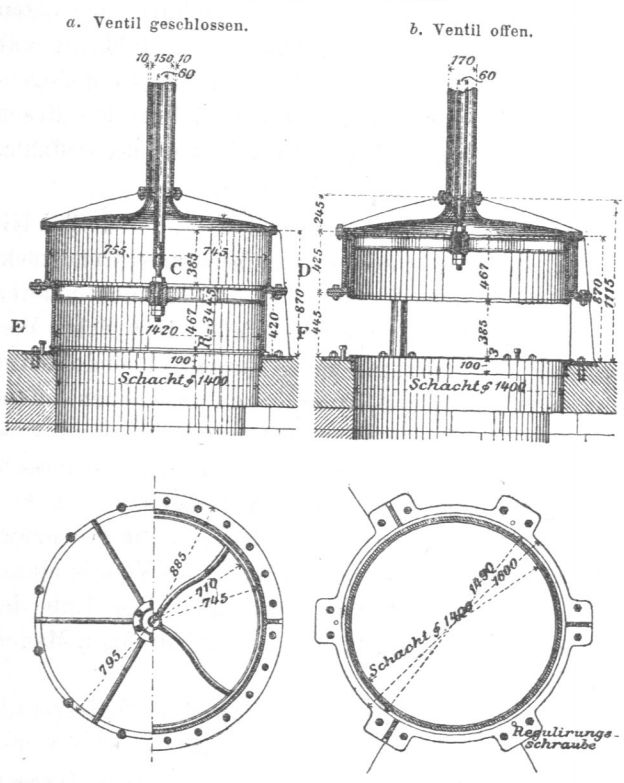
---

[109]) Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 53.

Es leuchtet ohne weiteres ein, dafs ein Cylinderventil ebenso gut anwendbar ist, wenn der höhere Wasserspiegel im Innern des Cylinders sich befindet, als wenn derselbe das Ventil aufsen umgiebt.

Neuerdings wird in Frankreich unter dem Namen „niedrige Cylinderventile“ vielfach die in Fig. 270 dargestellte Abart angewendet, so namentlich bei den Schleusenumbauten des Kanals St. Denis. Das Ventil besteht im wesentlichen aus zwei Cylindern, einem beweglichen, oben und unten offenen, welcher die Durchlafsöffnung seitlich abschliefst, und einem festen, in den der bewegliche Cylinder beim Öffnen hinaufgezogen wird, s. Fig. 270 *b*. Der feste Cylinder ist oben durch einen Deckel abgeschlossen, an den sich ein Rohr anschliefst, welches in der verlängerten Axe der beiden Cylinder nach oben führt bis über den höchsten Wasserstand. Durch dieses Rohr führt ein entsprechend engeres nach unten, welches als Zug- und Druckstange zum Heben und Senken des beweglichen Cylinders dient. Die Arbeitsleiste aufsen am oberen Rande des beweglichen Cylinders ist genau nach demselben Durchmesser abgedreht, wie eine entsprechende Arbeitsleiste am inneren unteren Rande des festen, sodafs, wenn das Ventil geschlossen ist (Fig. 270 *a*), beide Arbeitsleisten genau ineinander passen und einen wasserdichten Abschluſs herstellen. Eine abgedrehte Fase am unteren Rande des beweglichen Cylinders greift in eine entsprechende Nut des Ventilsitzes und bildet dadurch den unteren Verschluſs. Bei geschlossenem Ventil steht also der Innenraum desselben, wie bei der älteren Konstruktion der Innenraum des grofsen Cylinders, mit dem Unterwasser in offener Verbindung.

Fig. 270. *Kanal St. Denis. Cylinderventil.*
M. 0,04 (1 : 25). Vertikalschnitte.



Um die richtige Stellung der beiden Cylinder gegeneinander zu sichern, ist der feste Cylinder mit dem eingemauerten Ventilsitz am Rande des Schachtes durch drei gufseiserne Stützen verbunden, ferner sind drei Stellschrauben (Fig. 270 *d*) angebracht, welche ein genaues Montieren ermöglichen sollen.

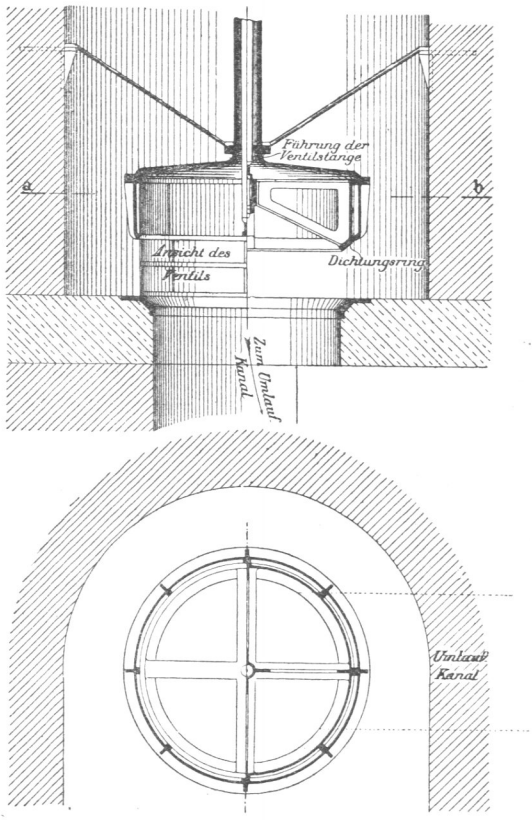
Die oben beschriebene Gestalt des Ventilsitzes hat man wohl der genaueren Einstellung wegen gewählt; für das Einströmen des Wassers in den Schacht ist dieselbe nicht günstig, da sie eine bedeutende Kontraktion des Strahles bewirkt. Ferner werden auch die drei Stützen des festen Cylinders den Einlauf ungünstiger gestalten, als bei den hohen Cylindern älterer Konstruktion. Dagegen ist die Wasserzuführung bei diesem Ventil wesentlich günstiger, als bei jenen, denn das Wasser kann hier nicht

nur an den Seiten, sondern auch über dem Ventil zufliefsen. Ohne weiteres dürfte daher der einen oder der anderen der beiden Arten der Vorzug nicht unbedingt zuzusprechen sein.

Übrigens lassen sich die Nachteile der französischen Konstruktion leicht beseitigen. Man hat nur nötig, den festen Cylinder nicht mit dem Ventilsitz durch Stützen zu verbinden, sondern aufzuhängen, und zwar um eine geringe Beweglichkeit zu ermöglichen, nicht den Cylinder selbst, sondern diesen mittelbar durch das Rohr an seiner Decke (s. Fig. 271). Wenn man dann die Dichtung zwischen dem unteren Rande des beweglichen Cylinders und dem Ventilsitz nicht durch passend gedrehte Metallteile, sondern durch einen elastischen Dichtungsring am unteren Rande des Cylinders bewirkt, kann man auch den Ventilsitz wieder entsprechend der Gestalt des einfliefsenden Wasserstrahles abschrägen. Die Einziehung des unteren Randes des Ventils bewirkt ferner, dafs der hydraulische Druck des einströmenden Wassers, sobald das Ventil vom Sitze gelüftet ist, das Ventilgewicht teilweise aufhebt, also die Bewegung erleichtert. Damit ein selbstthätiges unbeabsichtigtes Abheben des Ventils vom Sitze nicht vorkommen kann, falls das Ventil nicht vollkommen schliefst, darf die Abschrägung nicht zu grofs genommen werden. Die Führung des Ventils in der Axe des Gehäuses geschieht aufser in diesem selbst zweckmäfsig auch noch an zwei Stellen des Rohres.

Fig. 271. *Verbessertes niedriges Cylinderventil.*

Vertikalschnitt und Schnitt *a b*.



Auch diese niedrigen Cylinderventile lassen sich für inneren und äufseren Wasserüberdruck verwenden, man hat aber dabei zu bedenken, dafs bei innerem Überdrucke, wenn das Ventil schnell geschlossen wird, ein heftiger Stofs gegen den Deckel des festen Cylinders eintreten kann. Dies befürchtend hat man bei den Ventilen der Sparbassins der Schachtschleuse im Kanal St. Denis (vergl. § 25), welche bald von innen, bald von aufsen Überdruck erhalten, für die festen Cylinder keine Deckel angewendet, sondern unter Verzicht auf die oben erwähnte bequeme Wasserzuführung dieselben in vollem Durchmesser bis über Wasser geführt.[110])

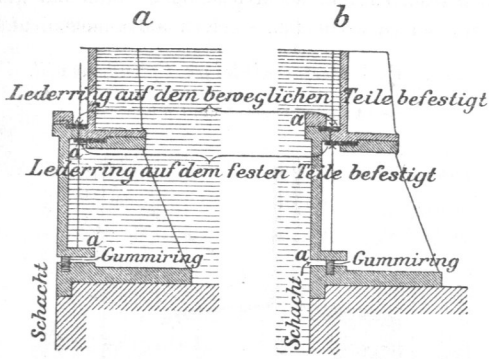
Die Ventilkörper, welche früher aus Gufseisen waren, sollen übrigens durch solche aus Stahlblech ausgewechselt werden, weil erstere bei dem grofsen Durchmesser von 1,6 m nicht sicher genug schienen.

Für diese doppeltwirkenden, sowie für die neuesten niederen Cylinderventile überhaupt ist als Dichtung eine solche von Leder für die obere Fuge zwischen beweglichem und festem Cylinder vorgesehen. Dieselbe besteht nach Fig. 272 (S. 304) aus zwei Lederringen, von denen der obere am beweglichen Cylinder befestigt ist und bei innerem Überdrucke die Dichtung besorgt, während der andere am festen Cylinder sitzt und bei äufserem Überdrucke dichtet. Die Fuge zwischen dem beweglichen Cylinder

[110]) Ann. des ponts et chaussées 1893, II, S. 82.

und dem Ventilsitz ist bei der Schachtschleuse durch einen Gummiring gedichtet, der in den Sitz eingelassen ist. Die Lage dieses Ringes mufs sich nach der Wirkungsweise des Ventils richten. Kehrt dasselbe nur gegen äufseren Überdruck, so mufs der Ring möglichst nahe an dem Innenrande der Ventilsitzplatte angebracht werden (Fig. 272 *a*), weil dann möglichst jede einseitige Pressung auf die untere Flantsche *a* fortfällt, die das Abheben des Ventils erschweren würde. Würde das Ventil stets nur inneren Druck erhalten, so müfste der Gummiwulst so weit vom Rande des Ventilsitzes entfernt angebracht werden, dafs der von oben nach unten gerichtete Wasserdruck auf den oberen Flantsch *a* (Fig. 272 *b*) durch den umgekehrt gerichteten gegen den unteren Flantsch *a* aufgehoben wird. Bei doppeltwirkenden niedrigen Cylinderschützen ist der Ring so anzuordnen, dafs der Überschufs des dem Abheben des Ventils entgegenwirkenden Wasserdruckes in beiden Fällen möglichst gleich grofs werde. Bei den Schützen für die Sparbassins der Schachtschleuse von 20 m Gefälle (§ 25) ist der Wasserüberdruck in beiden Fällen $W = 190$ kg, Schützöffnung 1,7 m. Ist G das Gewicht des Schützes, μ' der Koefficient der Zapfenreibung, r der Halbmesser der Rollenzapfen, R der Halbmesser der Rollen, r' der Teilkreishalbmesser des Triebrades und L die Länge der Handkurbel, so ist ohne Rücksicht auf die Reibung des Wassers und die Steifigkeit der Ketten für Schütze, deren Gewicht durch Gegengewichte vollkommen ausgeglichen ist, die zum Heben nötige Kraft:

Fig. 272.



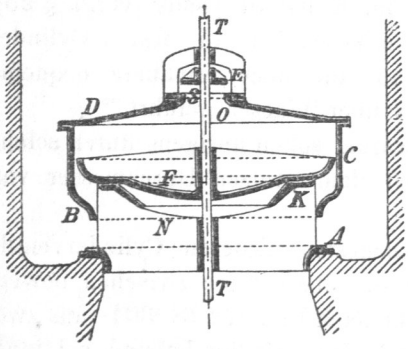
$$= \frac{2\,(W+G)\,\mu' r \,.\, r'}{R \,.\, L} + W \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad 74.$$

μ' ist hier grofs zu nehmen.

Ein Ventil für grofse Druckhöhen zeigt Fig. 273. Bei demselben wird das grofse Ventil durch den Wasserdruck selbst abgehoben, wenn zuvor ein kleines Ventil geöffnet wird.

Das Ventil besteht aus dem Hohlcylinder C, dessen beweglicher Boden F auf dem Gufsstück ANK ruht. Letzteres besteht aus dem ringförmigen Ventilsitze A, von welchem vier senkrechte Rippen zu dem oberen Ringe K gehen, der den Boden F trägt. Der Cylinder C hat unten eine kegelförmige Verjüngung, welche das Abheben des Ventils durch das Wasser ermöglicht, und ist oben durch den dichten Deckel D geschlossen, dessen mittlere Öffnung O durch ein kleines Ventil S gedeckt wird. S ist durch einen Stift an der Hubstange T befestigt, die in dem Gufsstück ANK geführt wird. Oben an der Stange greift die Hebevorrichtung an, welche entweder aus Zahnrad mit Kurbel oder aus einem einfachen Hebel bestehen kann. Der äufsere Durchmesser des Bodens F pafst genau in den Cylinder C, indem der Rand von F und die Innenfläche von C abgedreht werden. Zwischen beiden sind die Wasserverluste daher so klein, dafs sie mit Rücksicht auf das durch das Ventil S einströmende Wasser vernachlässigt werden können.

Fig. 273.



Bezeichnet H das Schleusengefälle und h den Abstand des Kreises D vom Binnenwasser, indem angenommen wird, D liege bei geschlossenem Ventil über dem Binnenwasser, und ist ferner R der Halbmesser des Deckels D, r der Halbmesser des eingezogenen Ventilrandes bei B, und G das Ventilgewicht, so ist der Wasserdruck, welcher das geschlossene Ventil auf seinen Sitz niederhält, genau genug (da h gegen H sehr klein sein wird) $= \gamma \,.\, \pi\, r^2 \,.\, H + G$, oder wenn das Gewicht des Kubikmeter Wasser $\gamma = 1$ t

gesetzt wird, $= \pi r^2 H + G$ in Tonnen und Metern. Um das kleine Ventil S anzuheben, ist erforderlich ein Zug:

$$Z = \pi (r_1^2 - \rho)(H - h) + p, \quad \ldots \quad 75.$$

worin r_1 den Halbmesser des Ventils, ρ den Halbmesser der Zugstange, T und p das Gewicht des Ventils und der Stange bedeuten. Ist das Ventil S gehoben, so tritt das Oberwasser zwischen den Deckel D und den Boden F und hebt das Ventil vom Sitze ab, bis der Hub durch den Boden F begrenzt wird.

Nach der Quelle, welcher wir diese Mitteilung entnehmen, ist der hydraulische Druck, welcher gegen den Deckel D wirkt und das Ventil zu heben strebt, genau genug auszudrücken durch:

$$P = \pi (R^2 - r^2) \left[H - \left(\frac{f}{\pi (r_1^2 - \rho^2)} \right)^2 \frac{H}{r^2} \right] \text{ Tonnen}, \quad \ldots \quad 76.$$

worin f die Fläche des Zwischenraumes zwischen dem Boden F und dem Cylinder C bedeutet (in qm). Der Druckhöhenverlust, gegenüber der hydrostatischen Druckhöhe H, welcher durch das negative Glied der grofsen Klammer näherungsweise ausgedrückt wird, ist nach einem berechneten Beispiele $= \frac{H}{20}$. Bei guter Konstruktion wird man also setzen können:

$$P = \frac{18 \text{ bis } 19}{2} H \,.\, \pi (R^2 - r^2) \quad \ldots \quad 77.$$

Da die Geschwindigkeit des einströmenden Wassers langsamer abnimmt, als die Druckhöhe H, weil die Strömung so lange anhalten wird, bis die lebendige Kraft des bewegten Wassers verbraucht ist, so folgert unsere Quelle, dafs das Ventil, sich selbst überlassen, sich erst schliefst, nachdem der Unterschied zwischen beiden Wasserständen bereits negativ geworden sei.[111]) Trotzdem wird es geraten sein, die Stange T so stark zu machen, dafs man das selbstthätig geöffnete Ventil daran offen halten und zur Not auch samt dem Boden F nach oben heben kann, um es nachzusehen.

Auch bei diesem Ventile ist die Einströmung des Wassers — und zwar hier wohl unabänderlich — durch die drei Rippen N beeinträchtigt.

Die letzteren Anordnungen entsprechen vollkommen den Verschlufsarten, wie sie in mannigfacher Form im Maschinenbau für Rohrleitungen gebräuchlich sind. Da es nun nicht unwahrscheinlich ist, dafs sich noch eine gröfsere Zahl der bei Wasserleitungen bereits bewährten entlasteten Ventile, Schieber, Drosselklappen u. dergl., wenn man sie zweckmäfsig vergröfsert, im Wasserbau für den Verschlufs von Umläufen verwerten lassen, so möge auch auf diese hingewiesen werden.

Wegen selbstthätiger Öffnung von Cylinderventilen durch Schwimmer vergl. den Schlufs des § 22, wo die von Tolkmitt ersonnene Anordnung in Verbindung mit der Bewegung der Thore beschrieben ist. Ferner möge noch auf eine ebenfalls durch den Wasserdruck sich öffnende Klappenkonstruktion von Rautenberg hingewiesen werden, die in der Deutschen Bauzeitung 1885, S. 255 mitgeteilt ist. Die viereckige Klappe dreht sich um ihre obere, horizontale Kante nach der Unterwasserseite zu. In geschlossenem Zustande legen sich Anschlagsleisten unten und seitlich gegen dieselbe, drücken sie gegen die Auflager und bewirken dadurch den dichten Abschlufs. Sobald man diese Leisten durch eine Vorrichtung von oben fortzieht, schlägt der Wasserdruck die Klappe auf, die dann in geöffneter Stellung durch ein Seil von oben gehalten wird.

Zum Schlufs mufs noch hervorgehoben werden, dafs alle Cylinderventile den Nachteil einer zweimaligen Änderung der Richtung des Wassers haben. Wenn man auch für möglichste Abrundungen Sorge trägt, so wird ein ziemlicher Druckhöhenverlust bei denselben dennoch nicht zu vermeiden sein. In dieser Beziehung ist das Zugschütz mit grofser Öffnung das vorteilhafteste, dem sich die zuletzt erwähnte Klappe und demnächst das einfache Drehschütz mit Drehaxe in der Mitte anschliefst.

§ 24. Besondere Einrichtungen zur Wasserersparnis und zur Erleichterung des Durchschleusens. Das Wasser für die Speisung von Schiffahrtskanälen ist oft schwer zu beschaffen und mitunter sind gewisse Kanallinien nur deshalb unausführbar, weil es ihnen an Speisewasser für ihre oberen Haltungen gebricht. Es ist deshalb eine

[111]) Tijdschr. van het koninkl. Inst. van ing. 1886/87, S. 48 und Revue industr. 1884, 23. Apr., S. 169.

wichtige Frage, wie die Kanalschleusen unter ungünstigen Wasserhältnissen als besonders sparsam im Wasserverbrauch eingerichtet werden können. Diese Frage kann anscheinend in sehr einfacher Weise dadurch umgangen werden, dafs man aus den unteren, genügend gespeisten Haltungen so viel in die oberen hineinschöpft, als diese zur Deckung ihrer Verluste erfordern. Man hat sogar versucht, die bei der Entleerung der Schleusenkammer in das Unterwasser fliefsende Wassermenge als Aufschlagwasser zum Betriebe von Wasserrädern zu benutzen, welche jenes Aufschöpfen besorgen sollten. Diese Versuche sind mifslungen und zwar grofsenteils deshalb, weil auf diese Weise ein kleinerer Teil des Wassers der Schleusenkammer wieder gewonnen wird, als dies durch weit einfachere Mittel möglich ist. Die abnehmende Druckhöhe des Schleusenwassers giebt nämlich bei den unvermeidlich schädlichen Widerständen einen zu ungünstigen Nutzeffekt für das die Schöpfmaschine treibende Wasserrad, sodafs es kaum möglich scheint, mehr als etwa 30 Prozent der ganzen mechanischen Arbeit des fallenden Wassers nutzbar zu machen, oder mehr als etwa ein Drittel dieses Wassers wieder zu gewinnen. Das unmittelbare Aufpumpen des gesamten fehlenden Speisewassers wird aber wohl in den meisten Fällen als zu kostspielig erscheinen, weil dieses Quantum Wasser ungleich gröfser ist, als die sich auf dem Kanal bewegenden Nutzlasten der Schiffe. Denn es ist sehr gering gerechnet das Gewicht jeder Schleusenfüllung mindestens doppelt so grofs, wie die Nutzlast eines vollen Schiffes, und da jedes durchgeschleuste Schiff nicht selten eine ganze, mindestens eine halbe Schleusenfüllung verbraucht, ferner aber das nötige Speisewasser nur zum Teil zur Füllung der Schleusen, zum grofsen Teil zur Deckung sonstiger Verluste dient, so würde durch das Aufpumpen des Speisewassers, zumal bei mehreren Haltungen hintereinander, der Betrieb des Kanals in vielen Fällen unverhältnismäfsig teuer werden. Unter besonders günstigen örtlichen Verhältnissen wird man vielleicht als billige Betriebskraft für Schöpfwerke auf den Wind rechnen können. Ferner steht zu hoffen, dafs die sich schnell entwickelnde Elektrotechnik uns demnächst die Mittel an die Hand giebt, fern gelegene billige Wasserkräfte zum Speisen der oberen wasserarmen Haltung eines Kanals aus der unteren zu benutzen.

Die bis jetzt versuchten Mittel zur Ersparung an Durchschleusungswasser beruhen auf verschiedenen Grundlagen. Bei den gewöhnlichen Seitenbecken, von welchen weiter unten eingehender die Rede ist, wird ein durch hydrostatische Ausspiegelung genau begrenztes Quantum Wasser aus der Kammer in ein oder mehrere Becken hineingelassen und aus diesen wieder in die Kammer zurückgeführt.

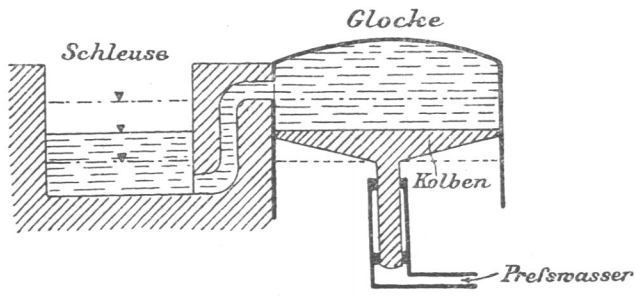
Bei den Seitenbecken mit Schwimmern nach dem System Girard wird die Füllmasse der Kammer bald in das feste Seitenbecken hinabgelassen, bald wieder aus diesem in die Kammer hinaufgedrückt, je nachdem ein dieses Seitenbecken nahezu ganz ausfüllendes bewegliches Becken oder ein Schwimmer aufsteigt oder niedersinkt und in letzterem Falle auf die in dem festen Becken enthaltene Füllmasse drückt. Es handelt sich hier um eine sehr sinnreiche Anordnung, welche noch heute Beachtung verdient, obwohl sie nicht zur Ausführung gelangt ist. Wegen der betreffenden Einzelheiten mufs indessen auf die 2. Auflage dieses Werks (Kap. XXI, S. 461) und auf die unten erwähnten Quellen verwiesen werden.[112])

Bei dem Seitenbecken mit Kolben von J. Nyssens-Hart besteht dasselbe aus einer oben und an den Seiten luftdicht abgeschlossenen Glocke Fig. 274, in welcher

[112]) Rapport et mémoire sur le nouveau système d'écluse à flotteur de M. D. Girard. Paris 1845. Über die Girard'sche Schiffsschleuse mit Schwimmer nach Poncelet, mit einigen Anmerkungen von Crelle. Berlin 1864.

ein Kolben durch Preſswasser bewegt werden kann. Je nachdem der Kolben gehoben oder gesenkt wird, strömt das Wasser aus der Glocke in die Schleusenkammer oder zurück.[113])

Fig. 274.



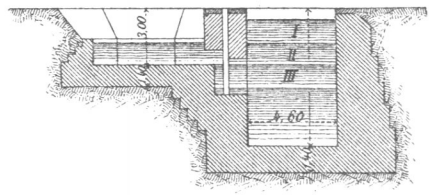
Als vierte Einrichtung zur Wasserersparnis sind die beweglichen Kammern zu betrachten, bei denen unter vollständiger Trennung des Oberwassers vom Unterwasser die mit Wasser gefüllte Schleusenkammer so vor die Haltungen geführt wird, daſs eine Verbindung eintreten kann und daſs ein voll hinabfahrendes Schiff, welches aus dem Oberwasser in die ohne Schiff vom Unterwasser nach oben gehobene Kammer fährt, einen groſsen Teil der Füllmasse derselben in das Oberwasser drückt.

Durch diese vier verschiedenen Anordnungen wird auf rein hydrostatischem Wege ein gewisses Quantum Oberwasser erspart oder Unterwasser gewonnen. Es ist auſserdem noch durch Caligny die Aufgabe glücklich gelöst worden, die lebendige Kraft der sich aus dem Oberwasser nach dem Unterwasser bewegenden Masse zu benutzen, um entweder möglichst viel Oberwasser zu sparen oder aber Unterwasser in das Oberwasser hinaufzuziehen.

Von den aufgeführten verschiedenen Einrichtungen zur Wasserersparnis haben die beweglichen Kammern die gröſste Bedeutung und werden daher im nächsten Paragraphen, der von den Vorrichtungen zur Überwindung groſser Gefälle handelt, eingehender besprochen werden. Von den übrigen erscheint es ihrer allgemeinen Bedeutung nach genügend, sie — ähnlich wie es oben mit der Nyssens-Hart'schen Einrichtung geschehen — nur an Skizzen zu erläutern. Von anderen vorgeschlagenen und sogar ausgeführten, aber nicht bewährten Einrichtungen soll dagegen gänzlich abgesehen werden.

Die einfachen festen Seitenbecken sind in ihren Grundzügen durch Fig. 275 dargestellt. Neben der Kammer liegt ein mit wasserdichten Wänden und Boden versehenes und durch einen abschützbaren Kanal mit der Kammer verbundenes Becken. Wird die oberste mit *I* bezeichnete Schicht der Kammer in das Becken gelassen, so kann nach entleerter Kammer, aber auch nur dann, diese Wassermenge wieder in eine tiefere Lage, als Schicht *III*, in die Kammer zurückgeführt werden. Es ist ohne weiteres klar, daſs, wenn alles in das Seitenbecken gelassene Wasser wieder in die Kammer zurückgeführt werden soll, die Oberfläche des Beckenwassers höchstens dem tiefsten Stande des aus der Kammer abzulassenden Wassers gleich kommen und daſs das in die Kammer zurückgeführte Wasser höchstens die Höhe des Bodens im Seitenbecken annehmen kann. Besitzt also das Seitenbecken eine gleiche horizontale Ausdehnung wie die Kammer, so kann offenbar nur höchstens ein Drittel der Kammerfüllung durch das Seitenbecken aufgenommen und der Kammer wieder-

Fig. 275.

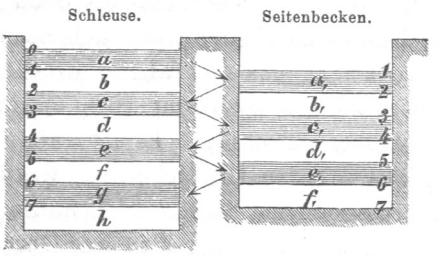


[113]) Annales des travaux publics de Belgique 1887, S. 301.

gegeben werden. Besäfse dagegen das Seitenbecken eine gegen die Oberfläche der Kammer unendlich grofse Ausdehnung, so würde in dem Becken nur eine unendlich kleine Höhe zur Anfüllung nötig sein, folglich auch bei der Wiederanfüllung der Kammer verloren gehen, d. h. es würde theoretisch fast die halbe Kammerfüllung in das Becken und wieder in die Kammer zurück gelangen können. Bei einem einzigen Seitenbecken wird also zwischen diesen beiden extremen Fällen die Wahl zu treffen sein, wobei leicht durch Rechnung zu finden ist, dafs schon bei mäfsiger Vermehrung (über ein Drittel) der zu ersparenden Wassermenge die Gröfse des Beckens erheblich wächst, dafs also dieses Mittel sehr kostbar wird.

Günstiger stellt sich die Kostenfrage und zugleich die Gröfse der Ersparnis, wenn man nicht eins, sondern mehrere Becken nebeneinander, etwa zu beiden Seiten der Schleuse, herrichtet, und dann nicht eine sehr hohe Wasserschicht der Kammer verhältnismäfsig tief hinabfallen läfst, sondern die Wassermenge der Kammer in viele dünne Schichten teilt, dieselben seitwärts mit möglichst kleinem Fallverlust ablagert und dann bei der Wiederfüllung der Kammer diese vielen seitwärts gelagerten Schichten ebenfalls mit kleinstem Gefälle in die Kammer zurückleitet. Bei zunächst angenommener gleicher Oberfläche der einzelnen Becken wie die der Kammer und bei gleicher Schichtenhöhe wird nach nebenstehender Fig. 276 die Schicht a durch a_1 nach c, die Schicht b durch b_1 nach d u. s. w. gelangen, sodafs bei n Seitenbecken $n + 2$ Schichten in der Kammer notwendig sind und daher die Ersparung des Kammerwassers $= \frac{n}{n+2}$ der ganzen Füllmasse ist. Es ist also die Ersparung bei 1 Becken $= 1/3$, bei 2 Becken $= 1/2$, bei 3 $= 3/5$, bei 4 $= 2/3$ u. s. w.

Fig. 276.



Will man aufser der gröfseren Zahl der Becken auch die Oberfläche derselben vergröfsern, so wird allerdings nach dem vorigen die Ersparung noch mehr zunehmen, jedoch nicht in dem Mafse, dafs der Nutzen dem gröfseren Aufwande entsprechen dürfte. Wenn die Fläche der Becken z. B. doppelt so grofs als die der Kammer, die Höhe also entsprechend kleiner genommen wird, so ergiebt sich bei einer Höheneinteilung, in der die Beckenhöhe als Einheit zu Grunde gelegt wird, leicht, dafs die gröfste Ersparung sein wird $\frac{2n}{2n+3}$, also bei 1 Becken $= 2/5$, bei 2 derselben $= 4/7$, bei 3 $= 2/3$, bei 4 $= 8/11$ u. s. w. Am gröfsten ist also in den beiden obigen Beispielen der Unterschied bei zwei Becken, derselbe wird aber bei zunehmender Zahl immer kleiner.

Man hat sich nun in den meisten Fällen mit einem oder zwei Becken der grofsen Kosten wegen begnügt und schon dabei nicht unerheblich an Wasser gespart. Trotzdem ist im ganzen nur wenig Gebrauch von den Seitenbecken gemacht, weil aufser den Kosten auch der Zeitverlust durch das langsame Füllen und Leeren in Betracht kommt. Will man aber die völlige Ausspiegelung nicht ganz abwarten, so tritt dadurch wieder eine geringere Ersparung als die theoretische ein. Um die Kosten einer grösseren Anzahl Becken möglichst klein zu erhalten, würde vorkommenden Falls statt der bislang üblichen massiven Konstruktion, die nicht gestattet, die Becken übereinander zu legen, es in Frage kommen, die Becken nur durch dünne Eisenblechböden voneinander zu trennen und in gröfserer Zahl übereinander zu schichten.

Eine unter Umständen praktische Anwendung von Seitenbecken läfst sich ohne merkliche Kostenvermehrung machen, wenn zwei Schleusen nebeneinander liegen, wie dies bei verkehrsreichen Kanälen zuweilen der Fall ist. Es kann dann durch blofse Verbindung beider Kammern und bei geeigneter Handhabung beider Schleusen fast die halbe Füllmasse der Kammern erspart werden, weil diese nur von der vollen Kammer in die leere gelassen und nicht wieder zurückgeführt zu werden braucht.

Bei einfachen Seitenbecken läfst sich endlich durch Benutzung der lebendigen Kraft des in Bewegung gesetzten Wassers das auf kurze Zeit in dem Seitenbecken

höher stehende Wasser abfangen. Um aber ein merkliches Maſs zu erhalten, muſs die in dem Verbindungskanale befindliche Masse möglichst groſs, der Kanal also weit und lang sein. Hierüber ist von Flamant eine theoretische Betrachtung angestellt.[114]) —

Auſser verschiedenen in Modellen versuchten oder nur vorgeschlagenen Einrichtungen, um mit Hilfe der lebendigen Kraft des flieſsenden Wassers entweder einen Teil des Kammerwassers für die nächste Füllung wieder nutzbar zu machen oder gar ein gewisses Wasserquantum aus dem Unterwasser aufzusaugen, hat sich der vor einer Reihe von Jahren an der Schleuse zu Aubois in dem Seitenkanal der Loire ausgeführte Umlaufapparat des Marquis de Caligny Beachtung erworben.[115])

Er beruht darauf, daſs eine in Bewegung gesetzte Wassermenge nicht eher zur Ruhe kommt, bis der letzte Rest der lebendigen Kraft sich entweder durch Aufsteigen des Wassers über seine hydrostatisch bestimmte Oberfläche oder durch Reibungswiderstände u. s. w. verzehrt hat. Nebenbei wird der Druck der Atmosphäre benutzt, um unter einer aufsteigenden, aber im Zuflufs begrenzten Wassersäule ein Aufsaugen aus dem Unterwasser zu bewirken. Da es nun, wie leicht nachweisbar, unmöglich ist, die Füllmasse der Kammer durch einmaliges ununterbrochenes Ablassen ganz oder auch nur zum gröſsten Teil vermöge ihrer lebendigen Kraft in einem Seitenbecken bis zur Höhe des Oberwassers wieder aufzufangen, so benutzt der Caligny'sche Umlauf nur auf kurze Zeit die gröſste Entwickelung der lebendigen Kraft, indem er mit mehrfachen Wiederholungen ruckweise arbeitet. Er ist in dieser Beziehung nahe verwandt mit dem hydraulischen Widder und arbeitet ähnlich wie ein solcher, wenngleich in seiner jetzigen Gestalt noch nicht selbstwirkend. Es wird durch Öffnung eines Ventils in einer recht langen Röhre zunächst aus dem hohen Wasser der Kammer nach einem niedrigeren Becken hin ein Strom erzeugt, das Ventil wird plötzlich geschlossen und das in Bewegung gesetzte Wasser durch seine lebendige Kraft gezwungen, einen höheren Ausweg nach dem Oberwasser hin zu suchen. Sobald die lebendige Kraft hierzu nicht mehr ausreicht, wird das Spiel erneuert.

Fig. 277 bis 279. *Caligny's Umlauf. Schleuse von Aubois.*

Fig. 277. Grundrifs. M. 0,0015.

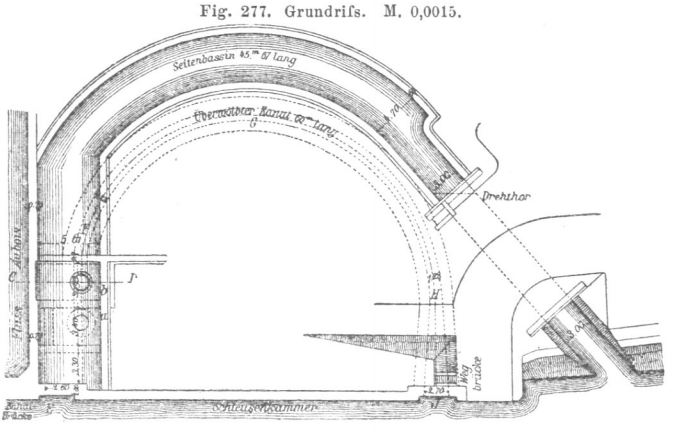
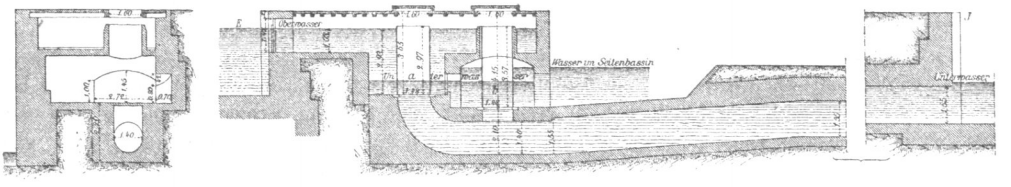


Fig. 278. Schnitt *C D*. M. 0,003. Fig. 279. Schnitt *E F G H*.



[114]) Flamant. Über die Ersparung von Wasser beim Durchschleusen unter Benutzung eines Hilfsreservoirs und der lebendigen Kraft des Wassers. Ann. des ponts et chaussées 1881, Jan., S. 81—92; deutsch bearbeitet und ergänzt von Keck. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1881, S. 677.

[115]) Vergl. Wochenschr. f. Arch. u. Ing. 1881, S. 132 u. 142. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1886, S. 39. — Ann. des ponts et chaussées 1886, II, S. 122.

Hierzu dienen die in Fig. 277 bis 279 dargestellten Einrichtungen.
Dieselben bestehen:

1. aus einem gemauerten, halbkreisförmig überdeckten Kanale von 1,2 m Weite und 1,55 m Höhe bis zum Scheitel; in der Thorkammer des Unterhauptes beginnt derselbe mit einer Sohlentiefe von 1,8 m unter dem Unterwasser zugleich mit einer horizontalen Erweiterung von 2,7 m; er fällt nach dem Oberhaupte hin auf seiner letzten Strecke bis auf etwa 3,8 m unter Unterwasserhöhe mit der Sohle hinab und endet neben dem Oberhaupte mit zwei durch Cylinderventile (s. Fig. 269, S. 300) verschliefsbaren Öffnungen *a* und *b* unter zwei besonderen, mit dem Oberwasser und mit einem grofsen Seitenbassin in Verbindung stehenden Räumen;
2. aus dem eben erwähnten Seitenbecken, auch Sparbecken genannt, welches unterhalb der Schleuse aus dem Unterwasser beginnt, bei einer passenden Stelle durch ein Drehthor abgeschlossen werden kann und sich, wie unter 1. erwähnt, am oberen Ende bis über die erste Öffnung *b* des genannten Kanals erstreckt;
3. aus den zwei über den Öffnungen *a* und *b* des gemauerten Kanals befindlichen, oben und unten offenen Cylinderventilen, welche an Ketten hängen und durch einen Hebel mit Leichtigkeit gehoben werden können. Sie stehen mit ihren unteren Rändern mit Hilfe von Gummi wasserdicht auf den Rändern der Öffnungen des gemauerten Kanals und verschliefsen als Ventile diese Öffnungen, falls nicht etwa ein Wasserstrahl durch sie selbst hindurch und oben aus ihnen heraustritt. Die beiden Ventile, von denen *a* das Oberventil, *b* das Unterventil genannt werden mag, haben nicht gleichen Durchmesser, sondern es mufs das Unterventil *b* etwas weiter sein als das Oberventil *a*.

Die Weiten sind bei der Schleuse zu Aubois 1,48 und 1,40 m. Weil die obere Kanalhaltung sehr kurz ist, so mufsten ungünstigerweise beide Cylinder um 10 cm über den normalen Oberwasserspiegel reichen. Die verschiedene Länge hat für die Wirkung der Ventile keine Bedeutung und entspringt aus der notwendigen Form des gemauerten und am Ende aufwärts gebogenen Kanals.

Es ist nun ersichtlich, dafs, wenn beide Ventile aufstehen, der Kanal am oberen Ende geschlossen ist; dafs, wenn man das Oberventil hebt, das Oberwasser in den Kanal und dadurch in die Kammer gelangt, dafs endlich durch Hebung des Unterventils das Kammerwasser mit dem Seitenbecken in Verbindung tritt. Demnach ergeben sich für den Gebrauch folgende Handlungen:

Soll die Schleuse entleert werden, so wird das Unterventil gehoben. Das Kammerwasser durchläuft den Kanal und tritt in das leere Seitenbecken; nach einigen Sekunden ist die Geschwindigkeit grofs genug, man läfst das Unterventil fallen und das in Bewegung gesetzte Wasser strömt vermöge seiner lebendigen Kraft durch beide Ventile in das Oberwasser. Sobald die lebendige Kraft hierzu nicht mehr ausreicht, wird das Spiel wiederholt, bis die Kammer so weit entleert ist, dafs sich keine genügende Geschwindigkeit im Kanale mehr bildet. Man kann alsdann entweder einfach durch Hebung des Unterventils den Rest des Kammerwassers in das Seitenbecken und durch dieses in das Unterwasser ablassen, oder aber man kann eine fernere Ersparung herbeiführen. Hierzu schliefst man das Drehthor zwischen Seitenbecken und Unterwasser und hebt dann das Unterventil. Das alsdann aus der Kammer in das Seitenbecken fliefsende Wasser nimmt in dem Kanal noch eine solche Geschwindigkeit an, dafs das Wasser in dem Seitenbecken für kurze Zeit höher steigt, als es in der Kammer fällt; es wird dann im richtigen Augenblick das Unterventil geschlossen, während gleichzeitig sich die Unterthore selbstwirkend öffnen und aus der unteren Haltung soviel Wasser in die Kammer lassen, als deren Stand unter der Höhe des Unterwassers gesunken ist. Das in dem Seitenbecken bis 15 cm über Unterwasserhöhe gestiegene Wasser wird später zur ersten Füllung der Kammer wieder verwandt.

Soll die Kammer gefüllt werden, so beginnt man mit dem Einlassen des zuletzt erwähnten Wassers aus dem Seitenbecken, wozu nur die Hebung des Unterventils notwendig ist. Es läuft jetzt das Wasser in umgekehrter Richtung wie vorhin in dem Kanal, reifst aber durch seine Geschwindigkeit ebenso wieder das Wasser des Beckens in die Kammer und erzeugt dort eine ähnliche Erhöhung und in dem Seitenbecken eine Erniedrigung, welche letztere ebenfalls mit Vorteil aus dem Unterwasser ersetzt wird. Sodann läfst man das Unterventil fallen, hebt dagegen das Oberventil; das Oberwasser strömt durch den Kanal in die Kammer, jedoch nur für einige Sekunden, weil nach diesen die Geschwindigkeit grofs genug ist, um mittels Senkung des Oberventils und Hebung des Unterventils das Wasser aus dem Seitenbecken aufzusaugen und mit in die Kammer zu führen. Das Seitenbecken befindet sich dabei in offener Verbindung mit dem Unterwasser. Die Kammer füllt sich also zum Teil aus dem Oberwasser, zum Teil aus dem Unterwasser. Auch dieses Spiel wird mehrfach wiederholt, bis wiederum die Fallhöhe hierzu nicht mehr

ausreicht. Alsdann wird das Oberventil dauernd gehoben und die Füllung aus dem Oberwasser vollendet, durch welche jedoch eine solche Überhöhung in der Kammer eintritt, dafs sich die Oberthore selbstthätig öffnen.

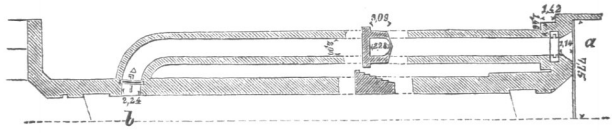
Zu Aubois geschahen 7 bis 8 einzelne Spiele für die Füllung und Leerung der Schleuse innerhalb 5 bis 6 Minuten. Aus zahlreichen Versuchen hat sich ergeben, dafs bei der Füllung, ohne Mitbenutzung der Ersparung durch das Seitenbecken, das aus dem Unterwasser gewonnene Wasser sich zu dem aus dem Oberwasser abgelassenen wie 0,41 zu 0,59 verhält, sodafs also hierbei die Ersparung etwa $^2/_5$ der ganzen Kammerfüllung ist. Bei der Entleerung gelangt dagegen nur 0,386 der ganzen Wassermenge in das Oberwasser und 0,614 desselben in das Unterwasser. Es wird also dabei etwas weniger als $^2/_5$ gespart, welche Differenz wohl der ungünstigen Überhöhung der beiden Ventile über den Stand des normalen Oberwassers zuzuschreiben ist. Während nun jene beiden Ersparungen zusammen 0,796 ausmachen, wird durch Mitbenutzung des Seitenbeckens die gesamte Ersparung bei einmaligem Füllen und Leeren auf 90 Prozent der ganzen Füllmasse gebracht.

Ein Hauptvorteil des Apparates ist aufser der Wasserersparung, dafs für etwaige kurze obere Haltungen sehr geringe Schwankungen und an engen Stellen keine heftigen Geschwindigkeiten bei dem Durchschleusen eintreten und dafs die Öffnung der Thore erleichtert wird. Übrigens dürfte sich empfehlen, noch gewöhnliche Thorschützen anzubringen, um den Betrieb zu sichern, und die bedeutenden Kosten würden sich durch Vereinfachung der Anlage des Seitenbeckens wohl etwas verringern lassen.[116])

Die lebendige Kraft des bewegten Wassers läfst sich, wie schon beiläufig erwähnt wurde, aufser zur Ersparung des Oberwassers auch für leichtere Bedienung der Schleuse und bequemeres Aus- und Einfahren der Schiffe verwenden.

Die erste gelungene Anwendung hiervon ist durch den Ingenieur Maus bei den Schleusen zu Herbières und Ath in Belgien gemacht. Die Veranlassung hierzu gab die Schwierigkeit, mit welcher die sehr voll gebauten, bis 250 Tonnen haltenden belgischen Kanalschiffe in die nur um ein sehr geringes Mafs weiteren Schleusen aus- und einfuhren, indem die beladenen Schiffe sich ähnlich wie der Kolben in einem Cylinder verhielten. Es kam zunächst also darauf an, dem Wasser bei der Einfahrt eines Schiffes einen leichten Ausweg und ebenso bei der Ausfahrt ihm einen Zuweg in den hinteren Teil der Kammer zu gestatten. Hierzu dient bei der Schleuse zu Herbières der in Fig. 280 skizzierte Seitenkanal *a b*, welcher 2 m breit und 2,22 m bis zum Scheitel seines halbkreisförmigen Gewölbes hoch ist. Die geradlinige Sohle befindet sich in der Höhe des Oberdrempels und der Scheitel etwas über dem Oberwasserspiegel. An seinem unteren Ende bei *b* befindet sich das in Fig. 260 u. 261 dargestellte Drehschütz, welches vom Wärter mit Hilfe einer Schraube bewegt werden kann. Bei der Füllung der Schleuse beginnt man mit der Öffnung der Thorschützen und öffnet das Drehthor des Seitenkanals erst dann, wenn die Spiegeldifferenz auf etwa 0,5 m herabgesunken ist. Es füllt sich alsdann nicht nur rasch die Kammer, sondern es öffnen sich durch die entstandene Überhöhung des Kammerwassers die Oberthore und das etwa in der Kammer befindliche Schiff wird sanft aus derselben in die obere Haltung getrieben. So notwendig die grofse Länge und Weite des Seitenkanals zur Erzeugung einer wirksamen lebendigen Kraft ist, so darf doch nicht bei einem gröfseren Gefälle als dem genannten von 0,5 m die Bewegung erfolgen, weil sonst eine zu heftige Bewegung in der Kammer entstehen und der Wärter nicht Herr über das Drehthor bleiben würde. Nach der Ansicht des Erfinders würde aber aufser einer etwas gröfseren Weite des Seitenkanals noch die Anbringung eines Schützes in dem gröfseren Flügel des Drehthores zweckmäfsig sein, um das Thor jederzeit mit Leichtigkeit beherrschen zu können.

Fig. 280.



Bei der Schleuse zu Ath, welche vorzugsweise von beladen zu Berg fahrenden Schiffen benutzt wird, kommt es umgekehrt darauf an, die aus dem Unterwasser kommenden Schiffe leicht in die Schleuse einfahren zu lassen. Zu dem Zwecke geht ein ähnlicher Seitenkanal von dem oberen Ende der Kammer nach dem Unterwasser, um nach seiner Öffnung das Wasser in der Kammer so zu erniedrigen, dafs das

---

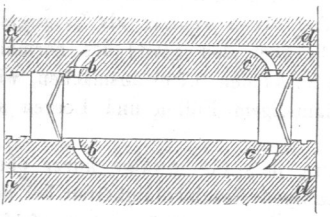
[116]) Näheres über die Einrichtung und die Theorie des Apparates s. Lagrené. Cours de navigation intérieure. III. Bd. — Ann. des ponts et chaussées (März 1869 u. Sept. 1880). — Journ. de mathématiques de Liouville. 1838. — Comptes rendus de l'Academie des sciences 1872/73.

Unterwasser die Unterthore öffnen und das Schiff in die Kammer hineindrängen mufs. Nach den Angaben Lagrené's[117]) hierüber scheint die Tiefe des Seitenkanals jedoch nicht zu genügen.

Von demselben Schriftsteller wird zur Erlangung der meisten Vorteile die folgende, in Fig. 281 dargestellte Anordnung empfohlen:

An jeder Seite der Schleuse geht ein Längskanal ganz vom Oberwasser bis zum Unterwasser. Dicht hinter dem Oberthore und vor dem Unterthore verbindet ein sanft gekrümmter Querkanal die Kammer mit den beiden Längskanälen. Sämtliche Querkanäle und Enden der Längskanäle müssen durch Schützen $a\,a$, $b\,b$, $c\,c$, $d\,d$ leicht abzusperren und zu öffnen sein. Um dann die leere Kammer zu füllen und ein von unten kommendes Schiff in die obere Haltung zu lassen, werden die Schützen $b\,b$ und $d\,d$ geschlossen, $a\,a$ und $c\,c$ geöffnet. Das Wasser der Kammer überhöht sich, öffnet die Oberthore und treibt das Schiff aus der Kammer. Um in die leere Kammer aus dem Unterwasser ein Schiff hineinzulassen, schliefst man zuerst die Querkanäle, läfst durch die offenen Längskanäle eine kurze Zeit lang den Strom vom Oberwasser nach dem Unterwasser laufen, schliefst dann rasch die Schützen $a\,a$ und öffnet $b\,b$; alsdann reifst der Strom im Längskanal durch Ansaugung das Wasser aus der Kammer, wodurch sich die Unterthore öffnen und das Schiff in die Kammer hineingezogen wird.

Fig. 281.



Um dagegen aus der vollen Kammer ein Schiff ins Unterwasser zu lassen, werden die Schützen $a\,a$ und $c\,c$ geschlossen; das Wasser in der Kammer erniedrigt sich unter dem Unterwasserspiegel und die Unterthore öffnen sich; es müssen dann aber die Schützen $b\,b$ geschlossen und die Schützen der Oberthore geöffnet werden, um nach dem Aufhören des Kreislaufs eine mäfsige Oberwasserströmung zum Hinausdrücken des Schiffes in das Unterwasser zu erzeugen. Ebenso kann durch Öffnen der Schützen in den Unterthoren nach Öffnung der Oberthore ein Schiff aus der oberen Haltung in die Kammer gezogen werden.

Damit alle diese Vorgänge gelingen, müssen die sämtlichen Kanäle lang und weit genug sein, um der bewegten Wassermenge die nötige lebendige Kraft zu geben. Aufserdem müssen sie mit ihrem Querschnitt unter dem Spiegel des Unterwassers liegen, und endlich müssen die betreffenden Schützen fast gleichzeitig bedient, z. B. $b\,b$ geöffnet und $a\,a$ geschlossen werden können. Es wird diese Forderung allerdings erschwert durch Anwendung symmetrischer Kanäle auf beiden Seiten der Schleuse, wogegen andererseits hierdurch die Regelmäfsigkeit der Strömungen in der Kammer zum Vorteil der Schiffe sehr vermehrt wird.

E. Vorrichtungen für grofse Gefälle. Nebenanlagen. Betrieb und Unterhaltung.

(14 Textfiguren.)

§ 25. Vorrichtungen zur Überwindung grofser Gefälle. Schachtschleuse, geneigte Ebenen und Schiffseisenbahnen, senkrechte Schiffshebewerke. Die Notwendigkeit, behufs weiterer Entwickelung des Verkehrs der Massengüter Verbindungen zwischen Wasserstrafsen auch dort herzustellen, wo es an Wasser gebricht oder wo die Höhenunterschiede der Spiegel zu bedeutende sind, um durch Schleusentreppen ohne unverhältnismäfsigen Kosten- und Zeitaufwand überwunden zu werden, hat in der Neuzeit dazu geführt, alte fast vergessene Schätze wieder auszugraben und den Fortschritten der Technik entsprechend neu zu gestalten. Die Grundgedanken der oben angeführten Schiffshebevorrichtungen entstammen nämlich gröfstenteils bereits dem vorigen und noch früheren Jahrhunderten.

1. Schachtschleusen.

Der erste Versuch zur Herstellung einer Schachtschleuse von Polhem in Schweden ist bereits in § 3 erwähnt. Zur Anwendung ist jedoch die Schachtschleuse und zwar

[117]) Lagrené. Cours de navigation intérieure. III. Bd., S. 126.

eine solche mit überwölbtem Unterhaupt zuerst in Frankreich, im Kanal St. Denis gekommen, s. T. XIII, F. 1—13. Sie ist eine Doppelschleuse, deren Kammern 5,2 × 38,5 bezw. 8,2 × 45 m breit und lang sind. Die Drempeltiefe beträgt 3,2 m. Die Schleuse ersetzt vier einfache Schleusen von geringem Gefälle, welche früher an dieser Stelle in zwei Gruppen, getrennt durch eine Haltung von 160,45 m Länge, vorhanden waren. Die beiden Kammern der neuen Schleuse liegen auf beiden Seiten der alten Schleusentreppe, sodafs diese mit kurzer Unterbrechung bis zur Fertigstellung der gröfseren Kammer im Betriebe bleiben konnten.

In der Mauer, welche die beiden Kammern trennt (F. 11, T. XIII), befindet sich für jede derselben ein oben offenes Sparbecken (vergl. § 24), dessen Grundfläche gleich derjenigen der zugehörigen Kammer ist. Die Sohle dieser Becken liegt in Höhe der Sohle der oben erwähnten kurzen Haltung zwischen den alten Schleusengruppen, sodafs die Herstellung der Becken besonders bequem war, indem man nur die Sohle abzupflastern und eine Trennungsmauer aufzuführen brauchte. Da die Sparbecken $^1/_3$ der Schleusenfüllungen aufnehmen sollen und das ganze Schleusengefälle 9,92 m beträgt, so liegt die Sohle derselben um $^1/_3$ des Gefälles (3,31 m) höher als der Unterwasserspiegel.

Die Mauern zwischen Kammer und zugehörigem Sparbecken enthalten die erforderlichen Leitungen und zwar je

1. einen oberen Kanal in offener Verbindung mit dem Oberwasser (F. 2 und 5—10, T. XIII),
2. einen unteren Kanal, der durch Stichkanäle, welche auf der Kammersohle ausmünden, stets mit der Kammer in offener Verbindung ist (F. 3 und 5—10).

Im oberen Kanale (F. 2) liegen nahe dem Oberwasser niedere Cylinderventile *a* (s. Fig. 270, S. 302), welche 1,6 m Durchmesser haben und ebenso weite, zum unteren Kanale führende Schächte verschliefsen. Diese Ventile, drei für die grofse, zwei für die kleine Kammer, dienen zum Füllen aus dem Oberwasser. Der obere Kanal läuft bis zum Unterwasser durch und enthält hier das Ventil *b* von 1,8 m Durchmesser, welches einen unmittelbar in das Unterwasser führenden Schacht schliefst (F. 9), der dazu dient, um überflüssiges Wasser aus dem Oberwasser mit Umgehung der Kammer abzulassen bezw. die untere Haltung zu speisen. Am äufsersten Ende des Kanals liegt die Turbine *c* zum Bewegen der Thore, deren verbrauchtes Wasser ebenfalls frei in das Unterwasser gelangt, s. F. 10.

Der untere Kanal, durch F. 3, T. XIII im Horizontalschnitt dargestellt, enthält im mittleren Teile die Mündungen der aus dem Sparbecken kommenden Schachte (F. 6), deren obere in der Beckensohle liegende Öffnung *d* (F. 2) durch die in § 23 erwähnten niedrigen Cylinderventile (Fig. 272, S. 304) mit bis über Wasser reichendem festen Cylinder abgeschlossen sind. Diese empfangen inneren Druck, wenn die Kammer gefüllt, das Sparbecken aber leer ist, dagegen äufseren Druck im umgekehrten Falle.

Weiter zum Unterwasser liegen die Auslafsventile *f*, welche die Verbindung zwischen Schleusenkammer und Unterwasser sperren. F. 8, T. XIII zeigt einen senkrechten Schnitt durch den Sitz eines Ventils *f*. Der untere Kanal ist hier der Höhe nach in zwei Teile zerlegt, deren unterer, von kreisförmigem Querschnitte durch den ringförmigen Ausflufskanal (F. 3 rechts) mit dem Unterwasser, deren oberer mit der Schleusenkammer in stets offener Verbindung bleibt.

Die Auslafsventile sind wieder niedrige Cylinderventile nach Fig. 270. Nach Beobachtungen an der fertigen Schleuse erfordert die Füllung 7′ 20″, die Leerung 8′ 20″. Als Thore sind sowohl für das Ober-, als auch für das Unterhaupt die bei fast allen

umgebauten Schleusen des Kanals von St. Denis angewandten einflügeligen Drehthore mit senkrechter Axe benutzt. Im Unterhaupte liegt das Thor mit allen vier Seiten am Mauerwerke an, wodurch es wesentlich leichter konstruiert werden kann. Die Wahl dieser Thorart auch für das Unterhaupt der Schachtschleuse mufs als eine verfehlte bezeichnet werden, da hier wegen der Höhe der Seitenmauern und des Gefälles die Nachteile dieser Konstruktion als Unterhauptthore (Verlängerung der Kammer, vergl. § 21) besonders grofs werden. Man vergl. auch die Tabelle am Schlusse dieses Paragraphen.

Diese Unvollkommenheit hat Fontaine bei seinem Entwurfe einer Schachtschleuse von 20 m Gefälle vermieden, indem er für das Unterhaupt ein Schützenthor anwandte, welches nach oben gezogen wird und durch einen Gegengewichtswagen ausbalanciert ist, s. Fig. 282. Dieser Wagen enthält drei Abteilungen, zwei seitliche für festen, eine mittlere für Wasserballast. Der Wagen mit dem festen Ballast allein ist leichter als das Thor, mit dem Wasserballast zusammen ist er schwerer. Soll das Thor gehoben werden, so wird aus dem Oberwasser der Wasserballastraum durch das Rohr r gefüllt. Soll das Thor sinken, so läfst man das Wasser aus dem Wagen ablaufen.

Fig. 282 u. 283. *Schleuse für 20 m Gefälle.* M. 0,002 (1:500).

Fig. 282. Längenschnitt des Unterhaupts.

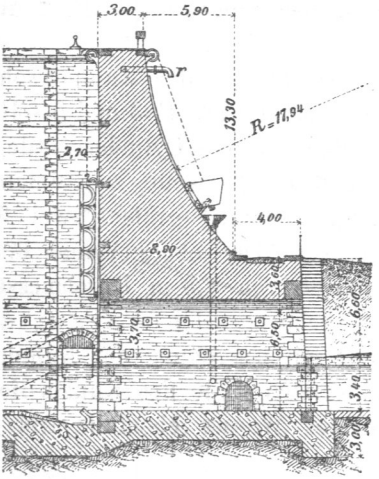
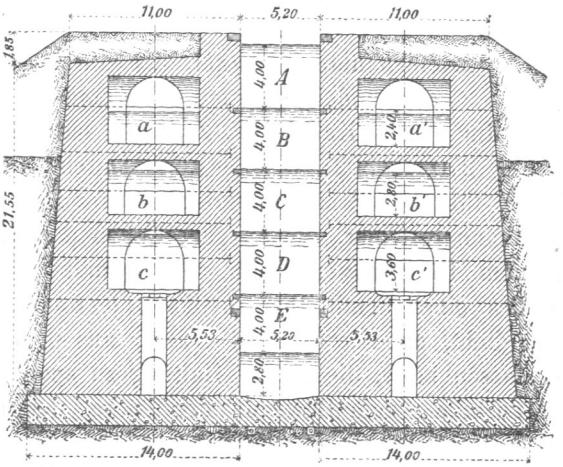


Fig. 283. Querschnitt.



Diese für den Kanal von Burgund entworfene Schleuse hat 40 m Kammerlänge und 5,2 m Breite, sie enthält in jeder Seitenwand, wie Fig. 283 zeigt, drei übereinander liegende Sparbecken, von denen die Räume a und a' das Wasser A aus der Kammer, b und b' das Wasser B, c und c' das Wasser C aufnehmen sollen, sodafs nur die Wasserteile D und E in das Unterwasser ablaufen. In dieser Weise werden $^3/_5$ der Schleusenfüllung gespart. Jedes Sparbecken steht durch einen Schacht mit Cylinderventilverschlufs in Verbindung mit einem unteren Kanal, von dem stets offene Stichkanäle zur Kammer führen. Die Verbindung dieses Kanals mit dem Ober- und Unterwasser ist ähnlich, wie bei der Schleuse des Kanals von St. Denis. Dagegen kann die Zuführung von Speisewasser aus dem Ober- zum Unterwasser hier nur durch den Kanal und das Auslafsventil bezw. den Kanal und die Kammer selbst erfolgen.[118]) Über die Kosten und den Wasserverbrauch dieser Schleuse siehe die Tabelle am Schlusse des Paragraphen.

[118]) Näheres siehe: Genie civil 1891, Bd. XVIII, S. 262. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1891.

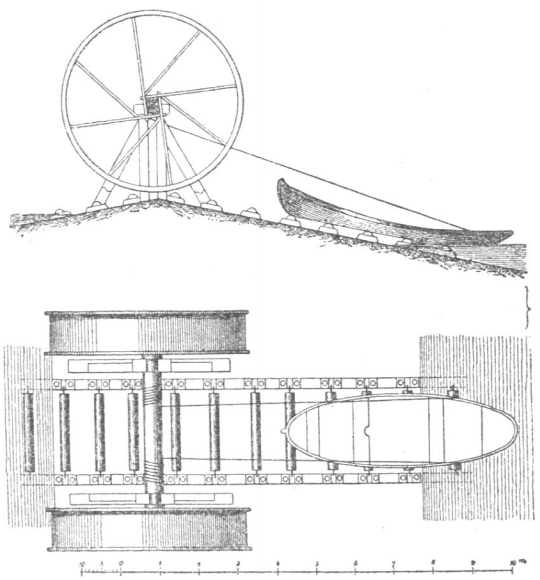
Die Schachtschleusen haben den Vorzug grofser Einfachheit, sie verbrauchen aber trotz der Sparbecken ziemlich viel Wasser. Man war daher schon längst darauf bedacht, Vorkehrungen zu ersinnen, die bei Mangel an Wasser in den Scheitelhaltungen die Überwindung grofser Gefälle ermöglichen, und hat in der That in den schiefen Ebenen, hydraulischen und Schwimmerschleusen solche gefunden, die sogar bei überwiegend thalwärts gehendem Lastverkehr eine Speisung der oberen Haltung aus der unteren bewirken. Während bei den Schachtschleusen wie bei den gewöhnlichen Kammerschleusen eine feste Kammer vorhanden ist, in der das Schiff mit dem Wasserspiegel gehoben und gesenkt wird, fällt die Kammer bei diesen jetzt zu besprechenden Hebevorrichtungen entweder ganz fort oder wird mit dem Schiffe zusammen bewegt.

2. Geneigte Ebenen. Rollbrücken. Schiffseisenbahnen.

In ihrer einfachsten Form hatten die geneigten Ebenen folgende Anordnung: Vom Unterwasser führte eine mit Balken und Bohlenbelag versehene, gleichmäfsig geneigte schiefe Ebene zum Oberwasser hinauf und zwar noch etwas höher, als der höchste Wasserstand des letzteren; an diese schlofs sich dann eine kurze, entgegengesetzt (nach dem Oberwasser zu) geneigte Ebene an, auf welcher die aufgezogenen Schiffe in das Oberwasser wieder hinunterglitten. Das Aufziehen geschah einfach mittels eines Haspels, indem man die Schiffe auf der schiefen Ebene gleiten liefs. Derartige einfachste Vorrichtungen sind in China seit Jahrhunderten im Gebrauch und auch in Belgien konnte man noch in diesem Jahrhundert solche finden, welche aus dem zwölften Jahrhundert stammten.

Fig. 284. *Rollbrücke.*

Ansicht und Grundrifs.



Eine Vervollkommnung dieser einfachen Schleppen sind die sogenannten Rollbrücken, Fig. 284, welche auch bereits seit langer Zeit verwendet sind.[119]) Sie vermindern den Kraftbedarf, indem sie die gleitende Reibung in rollende und Zapfenreibung umwandeln. Beide Anordnungen haben aber den Nachteil, dafs das Schiff beim Überschreiten des Scheitels zeitweise nur auf einer Querlinie seines Bodens aufsteht und infolge dessen sehr stark beansprucht wird. Sie eignen sich daher nur für ganz kleine Fahrzeuge.

Schiffseisenbahnen. Der nächste Schritt der Vervollkommnung der geneigten Ebenen verminderte die starke Beanspruchung der Schiffe auf dem Transport im Trocknen. Dies geschah dadurch, dafs man das Schiff auf einer mit Rädern versehenen, auf Schienen laufenden Plattform aufzog.

Bei den älteren Anlagen dieser Art hat man das Gegengefälle zum Oberwasser fortgelassen und das letztere mit einer Schleuse, deren Boden bereits den obersten Teil

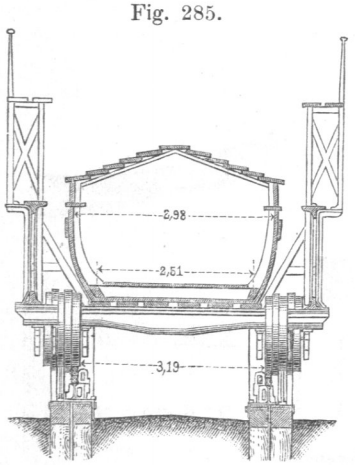
[119]) Vergl. Genie civil 1887, S. 319. Ebenen bei Bezon und Suresnes.

der schiefen Ebene bildet, abgeschlossen. Wenn aus dieser Schleuse das Wasser abgelassen war, wurde der Wagen in dieselbe gefahren, darauf das untere Thor geschlossen, die Schleuse voll Wasser gelassen und das Schiff nach Öffnung des oberen Thores eingefahren. Nach Schluſs des letzteren und Ablassen des Wassers setzte sich das Schiff auf den Wagen und konnte nach unten befördert werden. Eine solche schiefe Ebene ist bereits vom Herzog von Bridgewater im Jahre 1797 erbaut. Ferner bestanden auf dem Morris-Kanale in Amerika 23 derartige zweigleisige, mit oberen Schleusen versehene geneigte Ebenen, deren Höhe zwischen 10 bis 30 m und deren Steigung zwischen $^1/_{10}$ und $^1/_{12}$ schwankt. Das Gleichgewicht des aufgehenden und des abgehenden Wagens wird hier durch ein Drahtseil erhalten, welches über eine wagerechte Seilscheibe läuft, die auf dem Berggipfel aufgestellt ist und durch einen hydraulischen Motor bewegt wird. In die untere Haltung tauchen die Wagen so tief ein, bis die Schiffe schwimmen.

Die Anordnung einer Schleuse am Gipfel der geneigten Ebene ist nicht nur sehr zeitraubend, sondern bedingt auch einen groſsen Wasserverbrauch. Man hat sie daher am Morris-Kanal später beseitigt und ein Gegengefälle wie beim Oberland-Kanal angeordnet.

Die Figuren 1[a–c] auf Tafel XIV zeigen das Längenprofil und zwei Querschnitte einer Ebene des Elbing-Oberländischen Kanals.[120]) Vier derartiger Ebenen sind seit dem Jahre 1860 im Betriebe, eine fünfte etwa seit dem Jahre 1880. Die Neigung der ersteren ist 1:12, diejenige der neuen Anlage 1:11,6; es werden Höhen bis 25 m erstiegen.

Fig. 285.



Die Betriebskraft wird dem Oberwasser entnommen und einem Wasserrade R (F. 1[b]) zugeführt, welches durch Vermittelung einer Seiltrommel die um die Seilscheiben S geleiteten Drahtseile in Bewegung setzt. An die letzteren sind die Schiffswagen W gekuppelt. Fig. 285 zeigt den Querschnitt eines Schiffswagens. Die Räder haben doppelte Laufflächen, von denen aber jeweilig nur die eine auf einer der doppelten, verschieden hoch liegenden Schienen rollt, je nachdem die Axe thalwärts oder bergwärts liegt. Durch die verschieden hohe Lage der Schienen ist es ermöglicht, daſs die Plattform mit dem Schiffe stets wagerecht steht.

Über Baukosten und Leistung vergleiche die Tabelle am Schluſs des Paragraphen.

Die nächste Verbesserung der geneigten Ebenen bestand darin, daſs man zur gröſseren Schonung der Schiffe diese schwimmend beförderte, daſs man also eine fahrbare Kammer einführte. Dieser Gedanke soll zuerst 1830 von de Solages gefaſst sein, gelangte aber, soviel bekannt, zuerst 1849 zu Blackhill (Schottland) auf dem Kanal von Monkland und später in Georgetown auf dem Potomac (Amerika) zur Ausführung.

Die erstgenannte Ebene überwindet einen Höhenunterschied von 29 m und ist mit $^1/_{10}$ geneigt. Die Wagen tragen eine Schleusenkammer von 21,34 m Länge auf 4,36 m Breite. Die Wassertiefe in derselben beträgt aber nur 61 cm, da nur die leeren Schiffe auf der schiefen Ebene, die vollen aber durch vier Doppelschleusen befördert

[120]) Hagen. Wasserbaukunst. III. Teil. 3. Band. — Zeitschr. f. Bauw. 1861, S. 149. — Deutsche Bauz. 1872, S. 319. — Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1881, S. 208 (Unterhaltungskosten). — Zeitschr. f. Bauw. 1885 (Fünfte Ebene). — C. Fréson. Mitteilungen über die hydraulischen Schiffselevatoren. — H. Gruson et L. A. Barbet. Étude sur les moyens de franchir les chutes des canaux. Paris 1890.

werden. Die Ebene ist zweigleisig. Die Wagen tauchen im Unterwasser soweit ein, dafs das Schiff ausschwimmen kann. Beim Oberwasser wird die fahrbare Kammer durch hydraulische Pressen stark gegen ein mit Thoren versehenes Schleusenhaupt gedrückt, wodurch der dichte Anschlufs hergestellt wird. Das Gewicht des Wagens mit Kammer, Wasser und Schiff beträgt nur 70 bis 80 t. Die Bewegung wird durch eine Dampfmaschine geregelt. Die Kosten der Anlage sollen für 1 m Hub nur 9040 M. betragen haben.[121])

Auch die schiefe Ebene am Potomac, die sogenannte Dodge-Schleuse, welche seit 1876 im Betriebe ist, hat eine ähnliche Bauart; die Figuren 4^a bis 4^d, Tafel XIV stellen dieselbe dar. Sie vermittelt bei einem durchschnittlichen Höhenunterschiede von 11,6 m die Schiffahrt zwischen genanntem Flusse und dem Chesapeak-Ohio-Kanale.

Die zu befördernden Kähne haben 1,52 m Tauchung, 4,39 m Breite, 27,4 m Länge und 110 bis 135 t Tragfähigkeit. Die Neigung der Schiffseisenbahn ist 1 : 12. Die 2,39 m hohe, 5,1 m breite und 34,12 m lange fahrbare Kammer ruht in horizontaler Lage auf drei mit je 12 Rädern versehenen Untergestellen. An jeder Seite der Hauptbahn sind zwei Gegengewichtswagen vorhanden; die Führung der Seile zwischen dem Hauptwagen und den Gegengewichtswagen, sowie die Anordnung der Seilscheiben ist aus der Zeichnung ersichtlich, die letztere bringt es mit sich, dafs die Bahnen für die Gegengewichtswagen, welche in ihrem unteren Teile mit 1 : 10, in ihrem oberen mit 1 : 20 geneigt sind, nur halb so lang wie die Hauptbahn ausfallen. Bei der Thalfahrt giebt man der beweglichen Kammer mehr Wasser als bei der Bergfahrt und erreicht hierdurch, dafs eine kleine Turbine als Betriebsmaschine und zur Regelung der Bewegung genügt. Dieselbe ist in F. 4^a und 4^b angedeutet; das in F. 4^c gezeichnete Räderwerk überträgt die Bewegung von der Turbine auf die Seilscheiben.

Der Kanal ist gegen die Schiffseisenbahn durch ein Schleusenhaupt abgeschlossen (F. 4^{a-c}), dieses und die beiden Enden der beweglichen Kammer sind mit Klappthoren versehen. Die Dichtung zwischen Haupt und Kammer erfolgt durch Holzrahmen mit Gummiauflage, sobald die Kammer mit Hilfe einer hydraulischen Presse gegen die feststehenden Teile gedrückt wird. Das hierzu erforderliche Druckwasser wird in einem Akkumulator (s. F. 4^b) vorrätig gehalten. Ein in F. 4^c mit gestrichelten Linien angedeutetes Rohr dient zur Entleerung des Raumes zwischen dem Klappthore des Schleusenhauptes und demjenigen der beweglichen Kammer.

Die Einzelheiten (F. 4^d) zeigen die Vorrichtung zum Niederlegen und Wiederaufrichten eines Klappthores (Winde, Rollen und Seil), ferner sind bei L die in demselben befindlichen Schützen und ihre Hebevorrichtung angedeutet, durch welche der Wasserstand der Kammer geregelt wird.

Unter neueren Vorschlägen möge derjenige von Bellingrath (s. dessen Studien über Bau- und Betriebsweise eines deutschen Kanalnetzes) hervorgehoben werden. Der Genannte verwirft für den Transport gröfserer Schiffe die Wagen mit steifen Böden mit Recht, er verlangt, dafs die Schiffseisenbahnen auch für leicht gebaute Flufsfahrzeuge mit durchhängendem Boden ohne Schädigung derselben einzurichten seien und empfiehlt bei 350 t Nutzlast die Anwendung eines sechsundfünfzigrädrigen Wagens, dessen in angemessener Weise gegliederter Boden durch zwei Gruppen von je 14 Prefskolben gestützt wird. Die zugehörigen Prefscylinder sind am Untergestell des Wagens aufgehängt. Das Schiff nebst seiner Unterstützung schwimmt hierbei auf einer stark gepreften Flüssigkeit (Glyzerin) und der Boden des Wagens pafst sich der unregelmäfsigen Gestalt des Schiffbodens genau an.

Diese „hydrostatischen Wagen“ sollen sich auf Schiffseisenbahnen bewegen, deren allgemeine Anordnung mit derjenigen der oben beschriebenen des Elbing-Oberländischen Kanals übereinstimmt; sie ermöglichen das Auf- und Abfahren der Schiffe, sowie das Befahren des Scheitels der Bahn in bester Weise. Für den Betrieb ist das „System

[121]) Hagen. Wasserbaukunst. — Ann. des ponts et chaussées 1877, I, S. 361. Ferner Eisenb. IX. Bd., No. 15 und Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878, No. 38. — Über die Vorteile des Transports in Wasserkästen, s. Deutsche Bauz. 1879, No. 7.

Agudio“ in Aussicht genommen, es würde somit jedem hydrostatischen Wagen ein sogenannter Lokomoteur beigegeben werden, dessen Räderwerk durch eine an ihrem oberen und ihrem unteren Ende befestigte Schleppkette gestützt und durch ein endloses Treibseil von einer feststehenden Dampfmaschine aus in Umdrehung gesetzt wird. Hierbei steigt ein Wagen hinauf, während der andere hinuntergeht.

Bellingrath suchte also bei seinem Vorschlage das Mitführen von Wasser, welches das zu bewegende Gewicht bedeutend vermehrt, durch eine bewegliche Abstützung zu vermeiden. Denselben Gedanken hat auch Eads bei seiner Schiffseisenbahn für Seeschiffe verfolgt, indem er den Schiffskörper auf dem Wagen durch einzelne hydraulische Pressen, welche oben der Schiffsform entsprechende gelenkige Köpfe tragen, gleichmäfsig abstützt und erst nachträglich die einzelnen Kolben durch Schrauben festlegt.[122])

Kinipple dagegen sucht die gleichmäfsige Auflagerung des zu tragenden Schiffes, welches ebenfalls trocken transportiert werden soll, durch Einschaltung eines Wasserkissens zu erreichen. Er hat zu dem Zwecke der Plattform des Schiffswagens einen doppelten Boden gegeben, dessen Seiten durch Leder oder elastische Stahlplatten gebildet werden, während der Zwischenraum mit Wasser angefüllt ist. Falls nun die Schiffsgestalt im Boden von der Geraden abweicht, oder einzelne Rädergruppen des Wagens sich etwas heben, vermindert oder vermehrt sich örtlich nur die Stärke der Wasserschicht. Der Wagen ist 152 m lang, 21,3 m breit, 11,3 m hoch, wiegt 5000 t und kann Schiffe von 11 000 t tragen. Jedes der 1400 Räder erhält 11,5 t Raddruck.[123])

Die Anordnungen von Eads und Kinipple werden hauptsächlich für grofse Seeschiffe in Frage kommen. Für kleinere Kanal- oder Flufsschiffe würde eine Absteifung auf dem Wagen viel zu zeitraubend sein, sodafs für diese der Transport in schwimmendem Zustande vorzuziehen ist.

Es sind denn auch gerade in dieser Richtung mehrere erwähnenswerte Vorschläge aus neuerer Zeit mitzuteilen.

Bei allen diesen Entwürfen ist die immerhin bedeutende Last auf eine grofse Anzahl von Rädern möglichst gleichmäfsig verteilt. Gouin und Huc-Masselet nehmen bei einem Entwurfe für den Kanal du Centre die Zahl derselben so grofs, dafs der Raddruck unter 6 t bleibt und übertragen diese Last überall durch starke Federn auf die Axen. Peslin zerlegt seinen Wagen samt dem Kasten darauf in eine Anzahl von Abteilungen, welche miteinander durch Gummidichtung (300 mm breit, 7 mm stark) etwas beweglich verbunden sind. Jede Abteilung ruht auf vier Axen mit je vier Rädern, deren jedes 8 t zu tragen hat. Die Neigung der schiefen Ebene sollte $^1/_{20}$ betragen, sodafs das flache Drahtseil, welches er zum Ziehen des mit Wasser im ganzen 655 t wiegenden Wagens benutzen will, 36 t auszuhalten hat. Das Drahtseil soll an dem letzten (nach dem Unterwasser zu gelegenen) Wagen angreifen; die Dichtung zwischen den einzelnen Abteilungen soll durch den Druck der bergwärts stehenden Wagen gegen die thalwärts stehenden erzielt werden. Das Gewicht der Schleuse wird bei beiden erwähnten Entwürfen durch eine zweite Schleuse, meistens aber besser durch Gegengewichtswagen, welche auf parallelen Gleisen laufen, ausgeglichen. Die Bewegung der Schleusenkammer kann durch Aufnahme einer gröfseren Wasserfüllung aus der oberen Haltung in die thalwärts fahrende Kammer oder bei Wassermangel durch Maschinen-

[122]) Näheres hierüber im Engineer 1882, S. 213. — Engineering 1885, S. 28—31 und S. 76—78. — Genie civil 1885, S. 181. — Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 548. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1885, S. 301. — Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. za Hannover 1885, S. 107.

[123]) Engineering 1893, II, S. 60—65. — Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1894, S. 65.

kraft bewirkt werden. Hierfür ist eine Turbine von 110 P. S. in Aussicht genommen. Ferner sind selbstthätige Luftdruckbremsen für die Räder, falls das Drahtseil reifsen sollte und vier hydraulische Spills zum Ein- und Ausfahren der Schiffe vorgesehen.

Über Kosten und Leistung vergl. die Tabelle am Schlusse des Paragraphen.

Gouin und Huc-Masselet veranschlagen ihren Entwurf, der eine zwar sehr geistreiche, aber praktisch unverwendbare (zu wenig dauerhafte) Fortbewegung durch eine hydraulische Presse mit liegendem, oben geschlitztem Cylinder zeigt, bei 18 m Hub für 350 t Schiffe auf 1344000 Fr. oder 74000 Fr. für 1 m.

Diese Arten der schiefen Ebenen haben die Eigentümlichkeit, dafs sie ein gleich langes Stück des Kanals ersetzen. Man mufs also die Kosten dieses Stückes von den Kosten der schiefen Ebene absetzen, um einen richtigen Vergleichswert mit anderen Schleusenarten zu erhalten. (Vergl. die eingeklammerten Ziffern Pos. 4 der Tabelle.) Infolge derselben Eigentümlichkeit bedingt auch die Fahrt auf der schiefen Ebene keinen Zeitverlust für das Schiff, falls die Bewegung ebenso schnell erfolgt, als im Kanal.[124])

Bei den bisher besprochenen Ausführungen und Entwürfen werden die beweglichen Schleusenkammern in der Richtung ihrer Längsaxe gefahren. Diese Bewegungsweise bringt manche Unbequemlichkeiten mit sich und zwar sind als solche folgende zu nennen:

1. Bei ansehnlicher Länge der Schleusentröge werden die thalwärts stehenden Wagen sehr hoch.
2. Mit zunehmendem Gewichte der Tröge werden die Zugkabel, deren Zahl nur eine beschränkte sein kann, sehr stark, sodafs sehr grofse Rollendurchmesser nötig werden.
3. Umlaufkanäle zur Erleichterung des Ein- und Ausfahrens der Schiffe sind zwar möglich, aber unbequem anzubringen.
4. Ein gleichzeitiges, die Leistungsfähigkeit der Anlage sehr erhöhendes Ein- und Ausfahren von Schiffen in die Kammer, wie es bei den querfahrenden Schleusen demnächst beschrieben wird, ist ganz ausgeschlossen.
5. Das Wasser im Troge wird bei den Geschwindigkeitsänderungen während des Anfahrens und Anhaltens stark nach dem einen Ende getrieben, wodurch nicht nur eine ungleiche Lastverteilung, sondern auch Beschädigungen der Thore durch das gegen dieselben stofsende Schiff stattfinden können. Letztere lassen sich allerdings durch Festlegen der Schiffe an hydraulischen oder Federbremsen vermeiden.

Man hat nun versucht, diese Mängel durch geneigte mit Gleisen ausgestattete Ebenen zu beseitigen, bei welchen die beweglichen Kammern quer zur Fahrrichtung stehen. Es ist jedoch nicht zu verkennen, dafs die Bewegung der Kammern in der Richtung ihrer Längsaxe auch gewisse Vorteile hat.

Aufser der bereits erwähnten Verkürzung der Kanallänge und des geringeren Zeitverlustes für die Schiffer kommt in Betracht, dafs weniger Gleise erforderlich und die Bauwerke zum Abschlufs der beiden Haltungen von geringem Umfange sind. Ferner fallen die Parallelführungen fort, welche bei quer befahrenen Ebenen unentbehrlich sind.

---

[124]) Näheres in dem obengenannten Werke von H. Gruson und Barbet. Ferner über die Peslin'sche Konstruktion im Wochenbl. f. Bauk. 1885, S. 242. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1891, S. 16. — Ann. des ponts et chaussées 1885, Febr. S. 245. — Ann. industr. 1885, Nov. S. 690. — Deutsche Bauz. 1886, S. 253. — Über den Entwurf von Gouin und Huc-Masselet: Genie civil 1891, Bd. XIX, S. 289, auszüglich Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1892, S. 479.

Parallelführungen. Bevor in die Besprechung der letztgenannten Ebenen eingetreten wird, mögen in Kürze einige der gebräuchlicheren Führungsarten in ihren Grundzügen mitgeteilt werden. Von längeren theoretischen Betrachtungen mufs dabei Abstand genommen werden, indem auf die unten angeführte Litteratur verwiesen wird.[125]) Dieselbe betrifft auch die senkrechten Hebewerke, für welche die Parallelführungen ebenfalls von Bedeutung sind.

Die schiefe Ebene mit Fahrrichtung in der Längsaxe des Troges bedarf, wenn das Zugseil in Richtung dieser Axe angreift, keiner besonderen Führungen, als der Radflantschen. Das Moment der widerstehenden Kräfte, welche auf Drehung wirken können (Lage der Resultierenden der Widerstände aufserhalb der Zugrichtung), mufs in mäfsigen Grenzen bleiben, weil der Hebelarm des Momentes höchstens gleich einem Teile der Breite des Wagens werden kann. Ungünstiger ist die schiefe Ebene, auf welcher quer gefahren wird, weil bei dieser ein Teil der Schleusenlänge als Hebelarm in Betracht kommt. Die ausgiebigste Führung aber bedarf die hydraulisch gehobene und die Schwimmerschleuse, weil bei diesen nicht nur ein Kippen des Troges um seine Längen- und seine Queraxe, sondern auch ein Drehen desselben um seine senkrechte Axe verhindert werden mufs.

Für die schiefe Ebene mit quer fahrender Kammer ist nur eine Parallelführung in dieser Ebene notwendig. Drehung und Senkung verhindern die Schienen und Radflantschen. In jener Ebene ist die Parallelität am einfachsten durch die Schlitten- oder Gleitführung Fig. 286 zu erreichen. Bezeichnen Z die in der Queraxe des zu bewegenden Körpers angreifende Zugkraft, W die Resultierende der Widerstände, c und d die mit dem Körper starr verbundenen Führungsbacken, welche durch die Seitenwände eines Schlitzes in ihrer Richtung gehalten werden, so mufs das rechts drehende Moment $W.x$ durch ein links drehendes $P.y$ der Führung aufgehoben werden. $P.y$ wird desto wirksamer, je gröfser y ist. Die beiden Gleitbacken oder statt derer zur Verminderung der Reibung Gleitrollen, müssen also möglichst weit voneinander entfernt angeordnet werden.

Fig. 286.

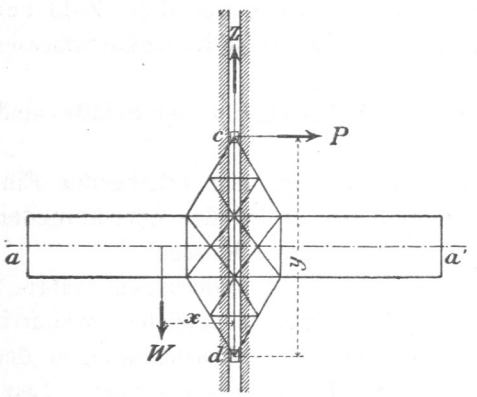
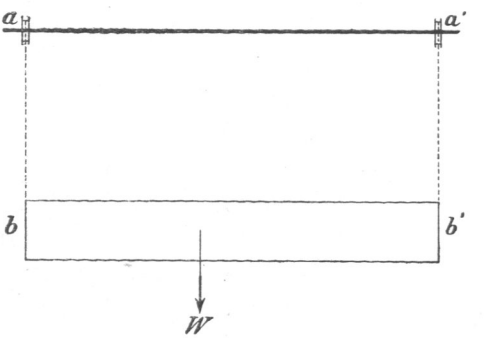


Fig. 287.



Dieselbe Wirkung wird offenbar erreicht, wenn der Körper durch zwei oder mehrere Verbindungsteile $a\,b$ und $a'\,b'$ (Fig. 287) so vorwärts bewegt wird, dafs diese Längen sich zwar ändern, aber stets unter sich gleich bleiben. Verändert die Mittelkraft W während der Bewegung ihren Ort im bewegten Körper, so wird dadurch die Beanspruchung der Verbindungsteile sich ändern, nicht aber die parallele Lage des Körpers. Als solche Verbindungsteile können kalibrierte oder Galle'sche Ketten dienen, wenn der Körper durch Zug vorwärts bewegt wird. Die Ketten laufen dabei über Rollen von gleichem Durchmesser, die auf gemeinsamer Welle sitzen oder durch mehrere Wellen und Zahnräder zwangläufig miteinander verbunden sind. Soll die Fortbewegung durch Zug oder Schub erfolgen, so eignen sich hierfür zunächst Zahnstangen und Schraubenspindeln von genau gleicher Teilung, deren Triebe bezw. Muttern wieder zwangläufig miteinander verbunden sind.

---

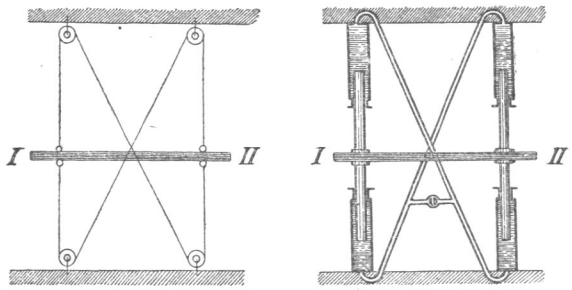
[125]) Ernst. Hebezeuge. — P. Pfeifer. Hydraulische Hebungen, in den Verhandl. des Vereins für Gewerbefleifs 1890, auch als Sonderabdruck bei A. Seydel-Berlin erschienen. — Ruprecht. Über Anlagen zur Schiffshebung mittels senkrecht bewegter Schleusenkammern. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 26 und 53. — L. Brennecke. Über wagerechte Führung hydraulischer Hebevorrichtungen. Deutsche Bauz. 1885, S. 272, S. 277 u. 286. — Scientific american 1884, 27. December. — Hoppe. Selbststeuerung für Wasserdruckpressen zum Bewegen von Lasten nach bestimmten Gesetzen. Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 300. — Hoech. Zur Frage der Parallelführung von Trogschleusen. Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 142 u. f.

Eine vierte Art der parallelen Fortbewegung wird durch hydraulische Pressen erreicht, deren Kolben genau gleichen Durchmesser haben und deren Cylindern man durch Steuerungseinrichtungen stets genau gleiche Wassermengen zuführt. Die Steuerungseinrichtungen sind entweder so eingerichtet, dafs bei einem Abweichen des Körpers aus der parallelen Lage die Druckwasserzufuhr zum vorauseilenden Kolben bezw. beim Sinken der Ablauf des Wassers aus demselben gedrosselt wird, oder dafs am Cylinder des vorauseilenden bezw. beim Sinken des zurückbleibenden Kolbens ein Ventil geöffnet wird, welches Druckwasser aus demselben so lange entweichen läfst, bis die parallele Stellung wieder erreicht ist.

Soll die zur Fortbewegung dienende Kraft nicht durch die Verbindungsteile selbst auf den Körper übertragen werden, wie dies z. B. bei den Schwimmerschleusen, die durch Überwiegen des Gewichts oder des Auftriebs sinken und steigen, der Fall ist, so eignen sich Zahnstangen und Schrauben auch hier zur Parallelführung, nur wird man bei Schrauben, welche wegen zu geringer Steigung nicht durch die Belastung selbstthätig ablaufen, die Bewegung auch beim Niedergange durch eine geringe Kraft herbeiführen müssen.

Mit Hilfe von Tauen, Ketten oder hydraulischen Pressen kann man in solchem Falle die parallele Bewegung durch die in Fig. 288 und 289 schematisch dargestellten Anordnungen erreichen. Man sieht sofort, dafs, wenn Punkt I des geführten Körpers um eine bestimmte Strecke auf oder ab bewegt wird, Punkt II genau dieselbe Bewegung ausführen mufs, so lange die Zugketten (Fig. 288) genügend gespannt sind.

Fig. 288 u. 289.

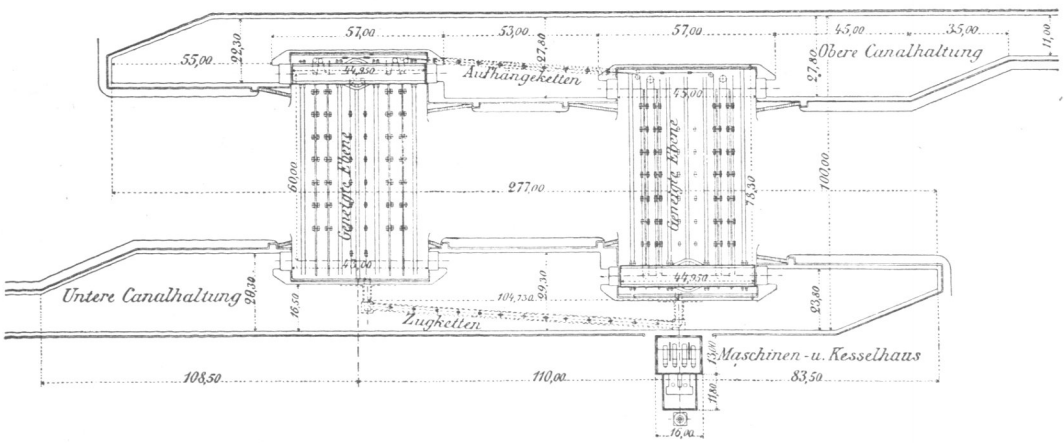


Dieser Grundgedanke läfst sich noch in mannigfacher Weise umgestalten, wie aus den oben angeführten Quellen ersichtlich ist.

Während bei der Bewegung in der Ebene zur Parallelführung die zwangläufige Führung zweier Punkte genügt, müssen zu diesem Zwecke bei der Bewegung im Raume mindestens drei Punkte zwangläufig miteinander verbunden sein. Im übrigen lassen sich aber die soeben in ihren Grundzügen angeführten Vorrichtungen auch hier verwerten.

Die schiefen Ebenen, auf denen die Tröge in der Querrichtung gefahren werden, entstammen soviel bekannt durchweg der neueren Zeit. Es seien hier zwei eingehend bearbeitete Entwürfe von Flamant und Hoech[126]) erwähnt, indem zur genaueren Kenntnis auf die Quellen verwiesen wird.

Fig. 290. *Geneigter Schiffsaufzug von Flamant.*



Der Entwurf von Flamant ist in Fig. 290 im Grundrisse dargestellt. Es bewegen sich hier zwei benachbarte Trogschleusen auf Rampen von 1 : 2 und halten einander durch Galle'sche Gelenkketten

[126]) Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1891. — Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 300.

das Gleichgewicht. Die beiden je 4 . 2 . 11 = 88 qcm starken Ketten müssen durch einen 65 m langen Tunnel unter dem Oberwasser hindurch von der einen Trogschleuse zur anderen geführt werden. Die Kosten dieser seitlichen Leitung sind dadurch ermäfsigt, dafs die beiden Ketten flaschenzugartig an die beiden Schleusen angeschlossen wurden. Beide Schleusentröge sind an beiden Enden mit Schützenthoren versehen; die Anschlüsse der Tröge an die beiden Haltungen sind, wie der Grundrifs zeigt, so in diese hineingebaut, dafs, während ein Schiff den Trog verläfst, ein anderes gleichzeitig durch das gegenüberliegende Thor in denselben einfahren kann.

Die Sicherung der Schleusenwagen gegen das Reifsen der Kette geschieht durch Sperrklinken, welche in Zahnstangen eingreifen, die den Gleisen parallel laufen. Sobald der Kettenzug unter 40 t sinkt, werden die Klinken durch starke Federn gegen die Zahnstange gedrückt. Die Parallelführung des Troges erfolgt durch Rollen, welche an den Enden von horizontalen Auslegern sitzen, die in der Queraxe des Troges vor und hinter denselben heraustreten. Die Rollen laufen an den Seitenwänden eines Führungsschlitzes, der in der Längenaxe der schiefen Ebene gelagert ist.

Die Kosten dieser doppelten schiefen Ebene sind bei 30 m Hub, wenn der Betrieb durch Überwasser aus der oberen Haltung erfolgen kann, rund 1 860 000 Fr. oder für 1 m Hub 62 000 Fr. Geschieht die Fortbewegung durch Dampfmaschinen, so sind die Kosten 2 000 000 bezw. 66 666 Fr. Bei gröfserer Hubhöhe wachsen auch hier die Gesamtkosten verhältnismäfsig wenig, während sich die metrischen Kosten erheblich vermindern. Über Kosten und Leistung vergl. die Tabelle am Schlufs.

Fig. 291 u. 292. *Geneigter Schiffsaufzug von Hoech.*

Fig. 291. Grundrifs.

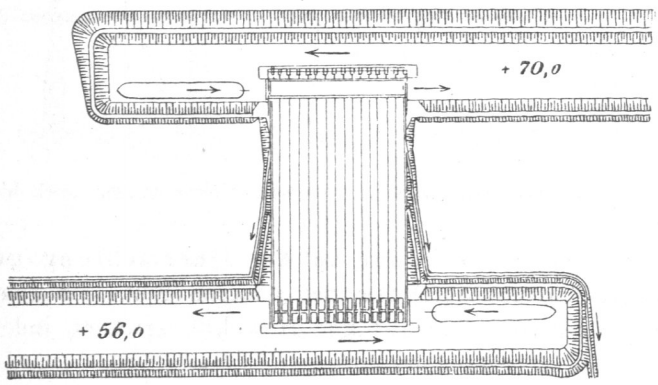
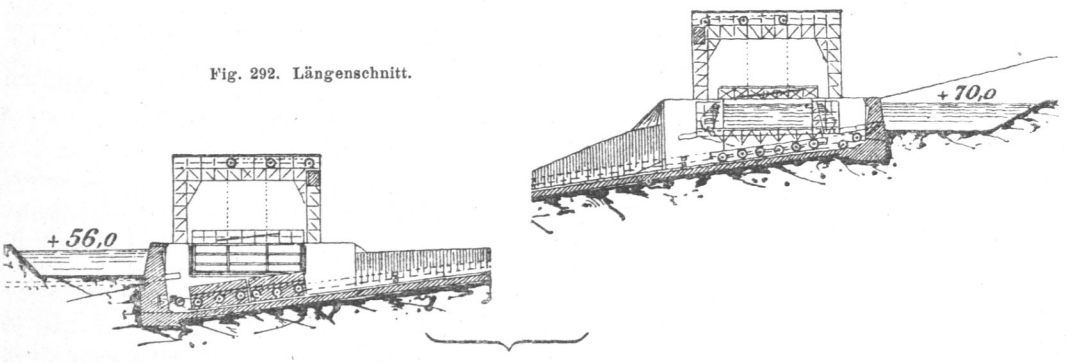


Fig. 292. Längenschnitt.



Hoech rügt bei diesem Entwurfe mit Recht folgende Anordnungen:

1. die Verbindung zweier Trogschleusen miteinander, weil dadurch der ganze Kanalbetrieb lahm gelegt wird, sobald an einer derselben eine Ausbesserung erforderlich ist und weil jede Wasserstandsänderung in den Haltungen eine zeitraubende Abänderung der Kettenlänge bedingt,
2. die Biegung der Galle'schen Ketten nach zwei Richtungen hin (um die Rollen und infolge des Durchhängens),
3. die Beschränkung der Verbindungen zwischen beiden Schleusenkammern auf nur zwei Ketten, weil dieselbe geringe Betriebssicherheit gewährt.

Er schlägt deshalb die durch Fig. 291 im Grundrifs und Fig. 292 im Längenschnitt der Ebene dargestellte Anordnung vor, welche die doppelten Thore für die

Schleusentröge beibehält, aber jeden Trog von dem anderen unabhängig macht, indem das Gewicht durch Gegengewichtswagen ausgeglichen wird.

Die mit Mauerwerk belasteten Wagen laufen auf Gleisen, welche zwischen denen der Trogschleuse liegen, unter dieser hindurch. Die Neigung will Hoech mit Recht nur so grofs nehmen, dafs die Räder noch mit Sicherheit gebremst werden können, wenn die Kabel eines Gegengewichtswagens reifsen. Er berechnet diese zulässige Neigung $= 1/4$, wendet aber in seinem Entwurfe nur $1/8$ an.

Die Anordnung von Hoech gestattet die Anwendung verhältnismäfsig schwacher Drahtseile in grofser Anzahl, wodurch an Betriebssicherheit erheblich gewonnen wird. Durch Verbreiterung der Kanalthore und Anbringung weit ausladender versteifter Blechkrampen an den Enden der Trogschleuse wird der Veränderlichkeit der Kanalwasserstände soweit Rechnung getragen, dafs Abweichungen von $\pm$ 0,15 m vom mittleren Stande durch einfache Verschiebungen des Troges aus seiner mittleren Stellung ausgeglichen werden können, ohne dafs die Füllung des Troges und dementsprechend das Gegengewicht geändert werden müfste.

Die Bewegung der Schleuse führt Hoech in der Weise aus, dafs er dem thalwärts gehenden Troge Übergewichtswasser in solcher Menge mitgiebt, dafs mit demselben der Trog die Gegengewichtswagen, ohne dasselbe die Gegengewichtswagen den Trog die schiefe Ebene hinaufziehen. Für seine Schleuse berechnet er das Übergewichtswasser, welches zum Heben des Troges nötig ist, auf 151 t, dasjenige, welches zum Heben der Gegengewichtswagen erfordert wird, zu 166 t, sodafs also bei jeder Schleusung (Thal- und Bergfahrt zusammen) 317 cbm Wasser aus dem Oberwasser verbraucht werden.

Während beim Senken hydraulischer Schleusen der eintauchende Kolben die Bewegung verlangsamt, wirkt das Ablaufen der Tragseile bei den fahrbaren auf eine weitere Beschleunigung der thalwärts gehenden Kammer. Dieser Umstand ist um so nachteiliger, als im Anfang der Fahrt ein gröfseres und gegen Ende der Senkung ein kleineres Übergewicht für die Gleichmäfsigkeit der Bewegung wünschenswert wäre. In Rücksicht hierauf hat Hoech Hintertaue aus Eisendraht angeordnet, von gleichem Gewicht wie die gufsstählernen Tragkabel, sodafs bei allen Stellungen der Trogschleuse die Seilgewichte ausgeglichen sind. Durch Vermehrung des Gewichtes der Hintertaue könnte sogar eine Kraft gewonnen werden, welche die Senkung und Hebung der Schleuse in der richtigen Weise beschleunigt und wieder verlangsamt, wodurch zugleich ein Teil des zur Beschleunigung der Fahrt erforderlichen Übergewichtswassers erspart werden könnte.

Bei den Flamant'schen Trogschleusen (Fig. 290, S. 321) hat der Ingenieur Bassères von der Gesellschaft Fives-Lille aus dem gleichen Grunde das Längenprofil der geneigten Ebenen nach einem Kreise gestaltet, dessen Endtangenten so bestimmt sind, dafs in den Grundstellungen unter Berücksichtigung der Länge der Tragketten Gleichgewicht besteht. Die genaue Gleichgewichtskurve durchzuführen ist zwar nicht angängig, da die vier Stützpunkte der Trogschleuse in der Gleisrichtung eine Bahn von gleichmäfsiger Krümmung erfordern; die geringen vom Gleichgewicht abweichenden Kräfte sind jedoch ohne Bedeutung gegenüber der Kraft zur Überwindung der Reibungswiderstände.

Bei einer quergeneigten Ebene mit unterlaufenden Gegengewichtswagen nach Fig. 291 u. 292 würden die Gleise für die Schleusenkammer selbst in einer Ebene zu belassen und nur die zwischen ihnen liegenden Gleise der Gegengewichtswagen auf je

zwei Axen nach der genauen Gleichgewichtskurve gekrümmt werden können. Dabei würde der Nebenvorteil erlangt werden, dafs an der Kreuzungsstelle von Trogschleuse und Gegengewichten für letztere eine reichlichere Durchgangshöhe zwischen den gesenkten Gleisen und der Trogunterkante zur Verfügung stände. In Erweiterung des Bassères'schen Gedankens empfiehlt Hoech, den Gegengewichtsgleisen am oberen Ende eine um so viel steilere und am unteren Ende eine um so viel flachere Steigung zu geben, wie für die Beschleunigung bezw. Verlangsamung der Massen wünschenswert erscheint.

Das Übergewichtswasser wird bei dem Entwurf von Hoech, wie aus Fig. 292 rechts zu ersehen, in zwei neben dem Schleusentroge liegenden tornisterartigen Ballasträumen aus dünnem Eisenblech aufgenommen. Die Füllung derselben erfolgt durch je zwei Rohrstutzen, das Entleeren unter dem unteren Umfahrtskanale hindurch nach einem Vorfluter durch ähnliche Einrichtungen. Füllen und Leeren erfolgt ohne Zeitverlust während des Schiffswechsels.

Die Kosten einer solchen Trogschleuse sind wesentlich geringer als die einer doppelten, während ihre Leistungsfähigkeit mit Hinterhäfen eine so bedeutende bleibt, dafs eine einzelne für einen ziemlich lebhaften Kanalverkehr ausreicht (siehe den Schlufs des Paragraphen).

Die Vorzüge der querfahrenden Trogschleuse sind im allgemeinen:

1. billige Herstellungsweise, weil keine Gründungsschwierigkeiten zu überwinden sind;
2. leichte und deshalb verhältnismäfsig billige Unterhaltung, weil nur wenige Teile vom Wasser benetzt sind, die meisten jederzeit beobachtet und leicht ausgewechselt werden können und weil keine besonders grofsen Beanspruchungen vorkommen;
3. verhältnismäfsig geringe Kostenvermehrung durch gröfsere Hubhöhe, weil nur die Gleise und Drahtseile verlängert werden müssen;
4. die Möglichkeit, dafs man zwischen zwei hoch übereinander liegenden Haltungen an jeder Stelle der schiefen Ebene Zweigkanäle anschliefsen kann, denen man sogar zur Erleichterung des Einfahrens und zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit auf der anderen Seite der Ebene Hinterhäfen geben kann, die mit dem Kanale unter der Rampe hindurch in Verbindung stehen können;
5. der grofse horizontale Abstand zwischen Ober- und Unterwasser läfst die bei allen senkrechten Hebungen nahe gerückte Gefahr von Unterspülungen (siehe weiter unten) nicht befürchten.

Im Nachteil gegen die in der Längsrichtung fahrbaren Trogschleusen sind die zuletzt besprochenen dadurch, dafs sie einer besonderen Parallelführung, wie die senkrechten Hebewerke, bedürfen, sowie darin, dafs sie die Kanallänge nicht verkürzen, sondern um die Breite der schiefen Ebene nebst Hinterhafen verlängern.

Indem wegen der Anordnung selbstwirkender Bremsen, der Geschwindigkeitsregelung, hydraulischer Buffer und des ganzen Betriebs auf die ausführliche Arbeit von Hoech verwiesen wird, möge nur noch erwähnt werden, dafs nach den Erfahrungen, welche bei einer Aufschleppe für Torpedoboote in Kiel gemacht wurden, zum Unschädlichmachen unvermeidlicher Fehler in der Gleislage Axfedern für den Schleusentrog selbst unerläfslich, für die Gegengewichtswagen aber wenigstens sehr wünschenswert erscheinen. Diese Federn gewähren nicht nur eine viel gröfsere Betriebssicherheit, sondern erleichtern auch den Bau und die Unterhaltung, da es nicht mehr auf eine mathematisch genaue Lage der Gleise ankommt, wenn sie vorhanden sind.

Soll der Betrieb fahrbarer Trogschleusen nicht durch Übergewichtswasser, sondern durch Kraftmaschinen erfolgen, so wird bei der Konstruktion derselben besonderes Gewicht darauf zu legen sein, dafs eine recht gleichmäfsige Kraftsteigerung und Kraftverminderung möglich sei, um die Bewegungen des Troges recht gleichmäfsig beschleunigen oder verlangsamen zu können. Bei Motoren, welche dies nicht gestatten, z. B. bei Petroleummaschinen, wird man sich dadurch helfen können, dafs man künstliche Widerstände (Bremsen) einschaltet, deren Gröfse sehr gleichmäfsig verändert werden kann.

3. Senkrechte Schiffshebewerke.

Die Vorkehrungen, um Schiffe bei grofsem Gefälle in senkrechter Richtung zu heben und zu senken, haben ihre Vorläufer in jenen vereinzelt vorkommenden Ausführungen, bei denen das Schiff aus dem Wasser genommen und mit Winden gefördert wird. Eine solche Einrichtung ist u. a. bei Freiberg für kleine Schiffe getroffen und vielleicht noch im Betriebe.[127])

Bei gröfseren Ausführungen wendet man stets mit Wasser gefüllte Kästen an, in welche das Schiff geleitet wird. Um nicht das ganze Gewicht der Kästen samt deren Inhalt heben zu müssen, bringt man die Kästen entweder paarweise so miteinander in Verbindung, dafs das Gewicht des einen dasjenige des anderen ausgleicht, oder man führt bei Verwendung nur eines Kastens zum Ausgleiche des Gewichtes Gegengewichte oder Schwimmer ein.

Senkrechte Hebevorrichtungen mit Doppelkästen. Die Urheberschaft dieser Anordnung kommt wahrscheinlich J. Anderson zu, welcher bereits im Jahre 1796 einen Entwurf aufstellte, bei welchem zwei Kästen, welche einander das Gleichgewicht hielten, durch über hoch gelagerte Rollen laufende Ketten miteinander verbunden waren. Die erste Ausführung dieser Art jedoch stammt erst aus dem Jahre 1838. Sie liegt im Great-Western-Kanale, welcher die Themse mit dem Severn verbindet. F. 2[a] u. 2[b], T. XIV zeigen dies Bauwerk.

Dasselbe dient zur Hebung und Senkung kleiner, 8 t ladender und beladen nur zu Thal fahrender Kähne. Das Gefälle von etwa 14 m wird durch eine senkrechte Mauer, oberhalb welcher sich zwei Schützen *b* befinden, vermittelt. Diese Mauer setzt sich nach dem Unterwasser zu in zwei Längsmauern *c c* und einer Mittelmauer *d* bis zu einer freistehenden Quermauer *e* fort. Die Mittelmauer trägt zwei Kettenscheiben; die Ketten tragen die zu beiden Seiten der Mauer auf- und absteigenden beweglichen Kammern *K* und K_1. Dieselben bestehen aus hölzernen Seitenwänden und Böden, haben vorn und hinten ein Schütz *s* und werden durch einfache Vorrichtungen gegen die Schützrahmen der oberen bezw. unteren Haltung gepreſst. Sobald dies geschehen, wird sowohl oben als unten die Verbindung der Haltungen mit je einer Kammer hergestellt, sodafs die Schiffe aus- und einlaufen können. Behufs Bewegung der Kammern wird der oben befindlichen ein Übergewicht von etwa 1 t gegeben und zwar dadurch, dafs infolge der Abmessungen der Ketten die obere Kammer nach dem Aufsteigen mit ihrem Wasserspiegel um etwa 5 cm niedriger bleibt, als der Spiegel der oberen Haltung. Das Übergewicht der die untere Kammer tragenden Ketten wird dabei durch Gegengewichtsketten, welche an den Böden der Kammern befestigt sind, ausgeglichen. Sobald dann nach Öffnung der oberen Schützen die obere Kammer vollständig gefüllt ist, kann die Bewegung, welche durch einen an der mittleren Scheibe befindlichen Bremsapparat reguliert wird, beginnen. — Die Dauer einer Durchschleusung beträgt im ganzen nur 3 Minuten. Bei jeder Schleusung wird dem Oberwasser nach Obigem eine Tonne Wasser entzogen, und der Verlust durch Undichtigkeit des Anschlusses der beweglichen Kammer an die obere Kanalstrecke beträgt ebenfalls etwa eine Tonne. Da aber infolge der Richtung des Verkehrs die aufsteigende Kammer höchstens ein leeres Schiff trägt, während die zu senkende Kammer ein volles Schiff aufnimmt, so wird dem Oberwasser abzüglich der Verluste soviel Wasser zugeführt, als dem Gewichte der Ladung entspricht. Dasselbe beträgt, wie gesagt,

---

[127]) Hagen. II. Teil. 3. Bd., S. 352.

im Durchschnitt 8 t, die Verluste betragen nach Obigem rund 2 t, sodafs für die obere Haltung noch ein Gewinn von 6 t verbleibt.[128])

Für gröfsere Fahrzeuge von 300 t Tragfähigkeit hat Barre denselben Gedanken zu verwenden gesucht. Da diese Ausführungsweise aber, wie alle gekuppelten Hebevorrichtungen, wenig empfehlenswert ist, so kann hier nicht näher auf dieselbe eingegangen werden. Man findet dieselbe in dem schon früher angezogenen Werke von H. Gruson und L. A. Barbet: Étude sur les moyens de franchir les chutes des canaux.

Eine zweite Art der Hebung mit Doppelkästen, welche unserem Jahrhundert ihre Entstehung verdankt, liegt in den sogenannten hydraulischen Schleusen vor, bei denen zwei bewegliche Schleusenkammern auf den Kolben von hydraulischen Pressen schwimmen, welche untereinander in Verbindung stehen. Senkt sich die eine Kammer, so strömt das Druckwasser von dem zugehörigen Cylinder durch ein Verbindungsrohr zum Cylinder der anderen Kammer und hebt dieselbe entsprechend. Das erste dieser Bauwerke mit 0,915 m Kolbendurchmesser war die in F. 3^{a-g}, T. XIV dargestellte Hebevorrichtung zu Anderton zur Verbindung des Flusses Weaver mit dem Trent and Mersey-Kanale, welche 1874 von Ed. Clark und Sydengham Duer gebaut wurde.

Die Hebevorrichtung befindet sich an dem über dem Flusse liegenden Ende eines 49,4 m langen Aquadukts, welcher vom Kanale nach dem Flusse abgezweigt ist (F. 3^a u. 3^b). Die beweglichen Kammern sind 4,72 m breit, 22,7 m lang und für 1,50 m Wassertiefe konstruiert. Die Schiffe haben 80—100 t Tragfähigkeit. Das zu hebende Gewicht beträgt einschliefslich des Gewichts des Prefskolbens 235 t, der Höhenunterschied zwischen Ober- und Unterwasser 15,4 m. Das erforderliche Übergewicht der sinkenden Kammer wird auch in diesem Falle dadurch zu Wege gebracht, dafs man die sinkende Kammer mit normaler Füllung versieht, während die steigende einen Wasserstand hat, welcher um 15 cm gegen den normalen erniedrigt ist. Der letztere stellt sich zu Anfang des Hubes unter der Wirkung der in F. 3^e dargestellten Regulierungsheber von selbst her, behufs Anfüllung der sinkenden Kammer wird das Wasser des vorhin erwähnten Aquadukts in Anspruch genommen. Die Führung der Kammern wird in einfacher, aus dem Grundrifs F. 3^f ersichtlicher Weise bewerkstelligt. Beim Unterwasser angekommen, hört die schwerere Kammer auf zu sinken, alsdann wird die Verbindung zwischen den beiden Prefscylindern abgesperrt und jene Kammer, indem man das Druckwasser aus ihrem Prefscylinder entweichen läfst, vollends gesenkt. Die steigende Kammer aber mufs nunmehr auf volle Höhe gehoben werden. Dies geschieht durch bereit gehaltenes Druckwasser, welches einem Akkumulator (s. F. 3^b u. 3^g) entnommen wird. Kammer und Aquadukt haben nunmehr die in F. 3^a gezeichnete Stellung, die an einem Ende schräg abgeschnittene Kammer ist dicht gegen ein am Aquadukt befindliches Gummiband gepreſst. Durch Anhebung der Schützen stellt man schliefslich im Aquadukt und in der Kammer ein und denselben Wasserspiegel her.

Es wird somit nur eine Wassermenge von der Grundfläche der Kammer und 15 cm Höhe verbraucht, also weit weniger als eine Schleusentreppe gebrauchen würde. Zum einmaligen Heben bezw. Senken der Kammern einschliefslich der Nebenarbeiten sind 8 Minuten erforderlich, während man bei Anlage von Schleusen 1½ Stunden nötig hätte. Das Hebewerk ist seit dem Jahre 1875 in erfolgreicher Thätigkeit. Die jährlichen Betriebskosten sollen mit Einschlufs aller Arbeitslöhne nur 10500 M. betragen.

Weitere Ausführungen bezw. Entwürfe dieser Art sind eine in Frankreich bei Les Fontinettes im Kanal de Neuffossé und zwei bei Langres im Marne-Saône-Kanal, sowie mehrere im belgischen Kanal du Centre, von welchen zunächst eine bei La Louvière ausgeführt ist. In der Tabelle auf S. 327 sind einige wichtige Daten von Anderton, La Louvière und Les Fontinettes nach der Deutschen Bauzeitung 1890, S. 623 zusammengestellt.

Bei Anderton taucht, wie aus F. 3^b, T. XIV ersichtlich, die sinkende Kammer in das Wasser des Flusses Weaver ein, sodafs hier nur die Kammer mit Thoren versehen ist. Diese Anordnung bedingt einen grofsen Verbrauch an Druckwasser. Bei den späteren Ausführungen konnte man dies dadurch vermeiden, dafs die sinkende Kammer in eine

[128]) Transactions of the inst. of civ. eng. II. Bd. — Hagen. Wasserbaukunst. II. Teil, 3. Bd.

trockene Grube eintaucht, welche von der Kanalhaltung durch Thore abgetrennt ist. Dadurch ist also bei diesen das Gewicht der Kammern selbst in jeder Stellung ausgeglichen. Um auch die Kolbengewichte in gleicher Weise auszugleichen, hat man bei Les Fontinettes die Kammern durch Gelenkrohre mit zwei in Türmen angebrachten Behältern von gleichem Durchmesser und gleicher Höhe wie die Preſscylinder verbunden, sodaſs also das Wasser in jedem Turme stets so hoch steht, als in der damit verbundenen Kammer. Beim Sinken der Kammer sollte das Wasser vom Turm in die Kammer laufen, beim Steigen den umgekehrten Weg machen. Man hat indessen Veranlassung gehabt, von einer dauernden Benutzung der betreffenden Einrichtungen Abstand zu nehmen.

		Schiffshebewerke von		
		Anderton	La Louvière	Les Fontinettes
Errichtet		1875 bezw. 82	1880—88	1880—88
Hubhöhe	m	15,35	15,40	13,13
Kammer-Abmessungen: Länge	m	22,85	43,20	40,60
Kammer-Abmessungen: Breite	m	4,75	5,80	5,60
Kammer-Abmessungen: Wasserhöhe	m	1,35	2,40	2,00
Kammer-Abmessungen: Wassermenge	cbm	146	598	455
Gröſse der Schiffe	t	100	360	300
Gehobenes Gewicht (ein Kolben und volle Kammer)	t	240	1050	800
Kolbendurchmesser	mm	915	2000	2000
Cylinderdurchmesser	mm	925	2060	2060
Betriebsdruck	Atm.	37,4	34,0	25,0
Wanddicke	mm	95	150	$57^1/_2$
Wasserbedarf für eine Schleusung	cbm	150	300	100
Dichtungsart		Voller Kautschukcylinder, welcher gegen eine schiefe Ebene gepreſst wird.	Hydraulisch bewegte Keile mit Kautschuk.	Kautschuksack mit Luftdruck.

In Anderton ereignete sich an einem Cylinder ein Bruch am Anschlusse des Verbindungsrohres in dem Augenblicke, als die Kammer oben angelangt, das Thor aber noch nicht geöffnet war. Infolge dessen sank die Kammer samt dem Schiffe darin, ohne daſs letzteres Schaden nahm. Es erklärt sich dies daraus, daſs die Anlage infolge des verhältnismäſsig kleinen Loches im Cylinder wie eine hydraulische Bremse wirkte[129]), sowie auch daraus, daſs der Trog unten in das Wasser eintauchte, wodurch seine lebendige Kraft allmählich vernichtet wurde. Hoech verlangt daher mit Recht zur Sicherheit für derartige Vorrichtungen eine solche Anlage der Druckrohrverbindungen, daſs das Wasser stets nur durch ein verhältnismäſsig enges Rohr entweichen, mithin die sinkende Kammer auch stets nur eine mäſsige Fallgeschwindigkeit annehmen kann, die unten durch Eintauchen in einen Kasten mit wenig Wasser, dessen Wände nur wenig von denen der beweglichen Kammer entfernt sind, leicht vernichtet wird.[130])

Alle angeführten hydraulischen Hebewerke zeigen den Schleusentrog fest mit dem Kolben verbunden. Infolge dessen müssen schiefe Belastungen des Troges im Kolben Biegungsspannungen erzeugen, die vermieden werden sollten. Pfeifer empfiehlt daher,

[129]) Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 231 u. 232.

[130]) Centralbl. d. Bauverw. 1891.

die Tröge mittels Kugelgelenken auf den Kolben zu lagern und die Parallelführung der Tröge gesondert auszuführen (siehe oben).[131]) Das ist zweckmäfsig, sein Vorschlag, auch die Preſscylinder unten auf Kugellager zu stellen, ist dagegen bedenklich. Der Cylinder muſs oben und unten festgehalten sein, um dem Kolben bei seinem Hube als sichere untere Führung zu dienen.

Wiewohl nun Bayer und Barbet in einem Entwurfe für den Panama-Kanal Schleusentröge von 170 m Länge, 18 m Breite, 9 m Wassertiefe und 50 m Hub mit je einem Cylinder von 6,6 m Kolbendurchmesser heben wollten und dabei eine Druckwasserpressung von 120 Atm. und eine Materialbeanspruchung von 17 kg f. 1 qmm an der Innenfläche erreichten[132]), so hat doch die Schwierigkeit, groſse Preſscylinder für hohen inneren Druck genügend sicher herzustellen, andere Konstrukteure dazu geführt, für jeden Trog mehrere Pressen anzuordnen.[133]) Von dahin zielenden Entwürfen seien kurz die folgenden unter Angabe der Quellen, welche näheres über dieselben mitteilen, erwähnt.[134])

Bei einem Entwurf vom Ingenieur Sydengham Duer für die Schleuse bei Les Fontinettes muſs die Parallelführung ungenügend genannt werden. Dasselbe gilt von einer Konstruktion Bellingraths, welche je zwei Pressen hintereinander (in der Längenaxe) zeigt, und ein Entwurf mit je zwei Pressen nebeneinander von E. Clark für Heuilley Cotton zeigt ebenfalls nur wenig nutzbringende Änderungen.

Auf mehrere Entwürfe von C. Hoppe in Berlin muſs etwas näher eingegangen werden. Der erste derselben wendet ebenfalls zwei Pressen hintereinander unter jedem der beiden gekuppelten Schleusentröge an.[135])

Diese Entwürfe mit nur zwei Pressen haben insofern Bedenken, als bei dem Bruche einer Presse eine Katastrophe eintreten muſs.

Hoppe hat daher später seinen Entwurf dahin abgeändert, daſs er jeden Trog auf sechs Cylinder stellt, von denen je drei gruppenweise hintereinander unter der Längsaxe jeder Troghälfte stehen. Die Cylinder sind so stark bemessen, daſs bereits je zwei derselben Gruppe die Last mit derselben Sicherheit tragen, wie in dem ersten Entwurfe der eine Cylinder unter einer Troghälfte. Bei dem Bruche irgend eines Cylinders, einer Rohrleitung, eines Schiebers u. s. w. tritt zwar der betreffende Cylinder auſser Thätigkeit, es kann aber auf keine Weise eine Gefährdung des Bauwerks eintreten, selbst wenn der Maschinist den Bruch nicht bemerkt und die Steuermaschine weiter laufen läſst.[136]) Bei beiden Entwürfen von Hoppe ist das Wasser der unteren Haltung von der Grube der Trogschleusen abgeschlossen.

Über Kosten und Leistung vergl. die Tabelle am Schluſs.

Endlich ist noch ein Entwurf von Hoppe für ein hydraulisches Schiffshebewerk für Seeschiffe anzuführen. Jeder Schleusentrog von 95 m Länge, 12,5 m Breite und 6,5 m Wassertiefe wird hier von 20 Kolben von je 1,5 m Durchmesser getragen. Der Gesamtlast von 11400 t entspricht eine Wasserpressung von 32 Atm. in den Hebecylindern. Bei diesem Entwurf dürften die Tröge gegen Kippen um ihre Längsaxe

---

[131]) Hydraulische Hebungen und Trogschleusen mit lotrechtem Hub von P. Pfeifer. Berlin 1891.

[132]) H. Gruson und L. A. Barbet. Étude u. s. w. und P. Pfeifer. Hydraulische Hebungen.

[133]) Über die Herstellungsweise der Cylinder siehe Mitteilungen über die hydraulischen Schiffs-Elevatoren von Carl Fréson.

[134]) Schemfil. Kanal- und Hafen-Werkzeuge. — P. Pfeifer. Hydraulische Hebungen. — „Studien über Bau- und Betriebsweise eines deutschen Kanalnetzes“ von E. Bellingrath.

[135]) Dingler's polyt. Journ. Bd. 281, S. 240. — Glaser's Annalen 1888, S. 43.

[136]) Hydraulische Schiffshebewerke, Entwurf von C. Hoppe 1890. Berlin, Eigenverlag der Firma. — Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 119.

nicht genügend gesichert sein, da ein solches nur durch kurze Gleitführungen an den Enden und durch die anscheinend starre Verbindung zwischen den Kolbenköpfen und den Trögen verhindert wird.[137])

Die Erhaltung der wagerechten Lage wird bei allen Entwürfen von Hoppe durch eine der Firma patentierte Stellsteuerung bewirkt, welche sich bereits bei Hebung eines Gasbehälterdaches in Berlin mittels 32 hydraulischer Pressen, sowie bei den hydraulischen Hebevorrichtungen eines Docks in San Franzisko mit 36 Pressen bewährt hat. Für letztere Anlage scheint diese Führung von Dickey selbständig erfunden zu sein.

Das Hauptbedenken gegen die senkrechte Hebung mit Hilfe gekuppelter Schleusen, möge die Kuppelung nun durch Ketten oder durch Druckwasserverbindungen geschehen, ist dasselbe, welches schon bei Besprechung der gekuppelten, querfahrenden Schleusen von Flamant hervorgehoben ist. Es ist unvermeidlich, dafs sobald die eine Kammer aufser Betrieb gesetzt werden mufs, auch die andere und damit der ganze Betrieb stillsteht.

Bei hydraulischen Hebewerken ist dieser Übelstand am schwierigsten zu beseitigen, da dies hier nur durch sehr kostspielige Akkumulatoren möglich wäre. Aufserdem leidet bei allen Hebewerken mit einer gröfseren Anzahl von Pressen die Einfachheit der Anordnung und damit die Betriebssicherheit; nicht minder wachsen die Gründungsschwierigkeiten, wenn man nicht etwa wie Hoech die Pressen neben den Trögen anordnet.[138]) Es ist daher kaum anzunehmen, dafs man hydraulische Hebewerke in Zukunft noch bauen wird, und zwar um so weniger, als ein Hebewerk mit einer Kammer, deren Gewicht durch Gegengewichte oder Schwimmer ausgeglichen wird, bedeutend billiger ist, als ein gekuppeltes hydraulisches, und doch bereits einem erheblichen Verkehre genügt; zwei dergleichen sind zwar teuerer als ein gekuppeltes hydraulisches, aber auch ungleich leistungsfähiger. Näheres hierüber siehe weiter unten.

Senkrechte Schiffshebewerke mit nur einem Kasten. Schwimmerschleusen. Wahrscheinlich aus obigen Gründen hat die Firma Hoppe neuerdings die Doppelschleuse auf Prefskolben aufgegeben und nur einen Trog mit Gegengewichten angewendet. Um dünnere Drahtseile und kleinere Rollen zu erhalten, hängen die gemauerten Gegengewichte an doppelten Drahtseilen, auf welche sich die Last durch eine am Gegengewichte angebrachte lose Rolle gleichmäfsig verteilt. Die Bewegung kann entweder abwärts durch Übergewicht des Troges infolge vermehrter Wasserfüllung und aufwärts durch Prefswasser erfolgen oder auch nach beiden Richtungen durch Prefswasser. Für beide Fälle wendet Hoppe vier hydraulische Pressen, je zwei auf jeder Seite des Troges, an, welche durch die der Firma patentierte Steuerung die Parallelführung des Troges bewirken.[139])

Auch Hoech behandelt im Centralblatt der Bauverwaltung 1891, S. 155 den Entwurf einer Trogschleuse mit Gegengewichten, bei welchem das Heben durch einen Prefswassercylinder geschehen soll, der mitten unter dem Troge steht. Senkrecht zu hebende Trogschleusen mit Gegengewichten werden verhältnismäfsig billig, weil die Gründungen keine Schwierigkeiten bieten.

Die Gewichtsausgleichung für senkrecht zu hebende einfache Trogschleusen läfst sich aber auch durch einen oder mehrere Schwimmer, welche mit dem senkrecht darüber liegenden Troge durch eiserne Zwischenkonstruktionen verbunden sind, bewerkstelligen

---

[137]) Hydraulische Schiffshebewerke. II. Entwurf von C. Hoppe (für Seeschiffe). Juni 1890. Selbstverlag der Firma. — Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 119. — Hydraulische Hebungen von P. Pfeifer, S. 69.

[138]) Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 230.

[139]) Schück. Karlsruhe, ein Rhein-Hafenplatz. Karlsruhe 1893.

und dieser Grundgedanke ist bereits im vorigen Jahrhundert aufgetaucht. Derartige Schwimmer wurden zuerst 1794 von den Ingenieuren Rowland und Pickering vorgeschlagen, ohne jedoch zur Ausführung zu kommen.[140]) In der allgemeinen Anordnung kommt ihrem Entwurfe der erste des Gruson-Werkes in Buckau-Magdeburg am nächsten, indem beide Schwimmkörper zeigen, welche sich der Länge nach unter dem ganzen Troge erstrecken und in einer langen, mit Wasser gefüllten Grube auf- und niedersteigen.[141]) Diese Anordnung der Schwimmer ist wenig empfehlenswert, weil die Herstellung einer so langen und tiefen Grube ohne Querversteifungen aufserordentlich kostspielig wird. Das Gruson-Werk hat diese Schwimmerform auch sehr bald aufgegeben und hat kleinere, cylinderförmige Schwimmer mit senkrecht stehenden Axen in gröfserer Zahl angewendet, wie dies bei allen übrigen Entwürfen von Schwimmerschleusen geschehen ist. Bei dieser Art der Gewichtsausgleichung sind folgende Anforderungen an die Anlage zu stellen:

1. Das bewegte System, welches an sich labil schwimmt, mufs während der Bewegung sicher wagerecht geführt werden.
2. Mit Rücksicht auf einen ungestörten Betrieb mufs die Geschwindigkeit beim Heben und Senken so geregelt werden, dafs eine festgesetzte gröfsere Geschwindigkeit niemals überschritten wird und dafs ein sanftes Anfahren und Einstellen an die Kanalhaltungen möglich ist.
3. Der Betrieb fordert unbedingt ein bewegungsloses Anhalten in der obersten und untersten Stellung und zwar während der ganzen Dauer des Ein- und Ausfahrens der Schiffe. In allen Mittelstellungen ist ein Anhalten nur erforderlich bei Betriebsstörungen.

Diesen von P. Pfeifer aufgestellten Forderungen[142]) wäre vielleicht noch hinzuzufügen:

4. Es müssen Vorkehrungen getroffen werden, welche eine zu schnelle Auf- oder Abwärtsbewegung der Kammer selbst dann verhindern, wenn der Auftrieb oder die Kammerfüllung teilweise oder ganz fortfiele.

Der erste Entwurf einer Schwimmerschleuse, welcher im laufenden Jahrhundert aufgestellt wurde, stammt aus dem Jahre 1883 und rührt vom Ingenieur Seyrig her.[143]) Derselbe wollte damit Schiffe von 300 t Ladefähigkeit 20,5 m hoch heben. Er ordnete vier cylindrische Schwimmer in ebenso viel Brunnen von 7,3 m Durchmesser und 41,55 m Gründungstiefe an. Der Auftrieb war so bemessen, dafs der Schleusentrog ein mäfsiges Übergewicht behielt, welches zum Senken genügte, beim Heben aber durch einen mitten unter dem Troge aufgestellten Prefscylinder von nur 1,15 m Kolbendurchmesser und 5 bis 6 Atm. Wasserspannung überwunden wurde.

Als Führung waren Gleitstücke an den Schwimmern und an den Trogenden vorhanden; aber die zu grofse Entfernung der Gleitschienen sichert nicht genügend gegen Klemmungen. Auch der oben unter 4. gestellten Sicherheitsforderung scheint nicht genügt zu sein.

Aus dem Jahre 1887 stammt der erste Entwurf des Ingenieurs Jebens[144]), welcher nur einen grofsen Schwimmer mitten unter dem Troge vorsieht. Die Konstruk-

---

[140]) Gruson u. Barbet. S. 28.

[141]) Über den ersten Entwurf des Gruson-Werkes siehe Dingler's polyt. Journal, Bd. 281, S. 255. — P. Pfeifer. Hydraulische Hebungen. S. 75.

[142]) Deutsche Bauz. 1893, S. 591.

[143]) Comptes rendus de la société des ingenieurs civils, Mai 1883. Ferner H. Gruson u. L. A. Barbet und P. Pfeifer.

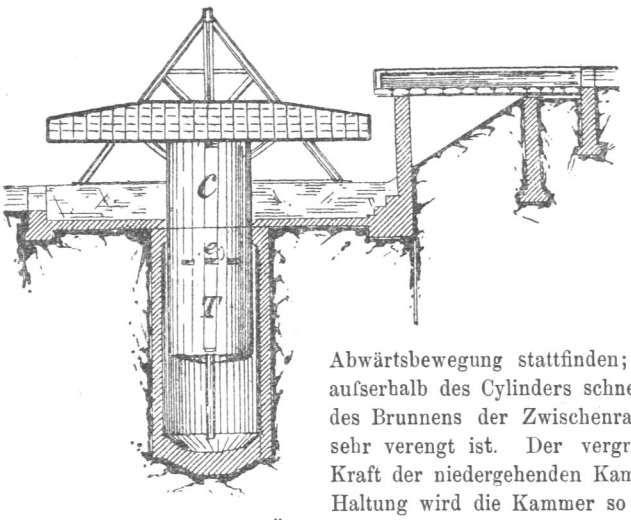
[144]) Wochenbl. f. Bauk. 1887, S. 301. — P. Pfeifer. Hydraulische Hebungen. S. 72.

tion stellt zu hohe Anforderungen an die Gleichförmigkeit der Brunnenwände und genügt auch der Forderung 3 nicht.

Der zweite Entwurf von Jebens[145]) vermeidet diese Schwierigkeit in der Herstellung der Brunnenwand.

Auch bei diesem Entwurfe ist nur eine grofse cylindrische Trommel mit stehender Axe als Schwimmer angeordnet, die Verbindung zwischen Trog und Schwimmer erfolgt aber nicht durch Stützen aus Gitterwerk, sondern dadurch, dafs der Mantel des Schwimmers bis zum Troge fortgeführt ist. Unmittelbar über der Decke des Schwimmers T (Fig. 293) sind in der Verlängerung des Mantels Öffnungen e angebracht, die durch Schützen geschlossen werden können. Giebt man der Kammer aus der oberen Haltung etwas Wasser-Überlast und öffnet die Schützen, so dringt das Wasser aus dem Brunnen durch die Öffnungen e in den Cylinder C ein und die Schleuse sinkt. Schliefst man die Schützen an beliebiger Stelle, so wird noch eine kleine Abwärtsbewegung stattfinden; infolge derselben wird aber das Wasser aufserhalb des Cylinders schnell gehoben werden, weil am oberen Ende des Brunnens der Zwischenraum zwischen Brunnen und Cylinderwand sehr verengt ist. Der vergröfserte Auftrieb wird also die lebendige Kraft der niedergehenden Kammer schnell vernichten. Vor der unteren Haltung wird die Kammer so angehalten, dafs die Wasserfüllung etwas geringer wird, sodafs nach Öffnung der Schützen e der Auftrieb die Schleuse hebt. Das Schliefsen der Schützen an den Enden des Hubes sollte selbstthätig eingerichtet werden. Die Führung durch Gleitbacken in der Mitte kann sehr solide ausgebildet werden. Die Dichtung zwischen Trog und Haltung soll durch Gummischläuche mit Prefswasser geschehen.

Fig. 293. *Schwimmerschleuse von Jebens.*



Ein nicht zu vermeidender Übelstand dieser sinnreichen Konstruktion besteht darin, dafs nach erfolgter Abdichtung an den Haltungen infolge der wechselnden Wasserfüllung nach Öffnung der Thore die Kammer noch eine Bewegung machen mufs, welche die Dichtung schädigen kann.

Prüsmann hat die Schwimmerschleusen weiter ausgebildet und dieselben für Trogschleusen verwendet, welche von Schiffen mit 600 bezw. 1000 t Tragfähigkeit benutzt werden sollen.[146]) Bei dem ersteren Entwurfe wendet er 5 unter dem Troge stehende, bei dem anderen 10 zu beiden Seiten des Troges angebrachte Schwimmer an. In letzterem Falle ist an Gründungstiefe für die Brunnen gespart; dieselben sind an ihrem oberen Ende durch Eisencylinder verlängert, um die genügende Eintauchungstiefe für die Schwimmer zu beschaffen. Die Öffnung der Ventile, durch welche das Brunnenwasser in den Cylinder über dem Schwimmer aus- und einströmt, wird selbstthätig durch einen Steuerapparat geregelt, der ähnlich dem von Hoppe für Druckwasser patentierten wirkt und dadurch die wagerechte Lage der Kammer sichert. Aufserdem soll eine Schlittenführung vorhanden sein, diese tritt aber nur bei Unfällen in Wirksamkeit.

Prüsmann bringt aufserdem sogenannte Luftausgleicher unmittelbar über den Schwimmkörpern in dem für den Eintritt und Austritt des Wassers bestimmten Cylinder an. Es sind dies oben geschlossene, unten offene Kästen, in welche unter Zusammen-

[145]) Deutsche Bauz. 1890, S. 144. — P. Pfeifer. Hydraulische Hebungen. S. 73.

[146]) Das Schiffshebewerk auf Schwimmern (Patent Prüsmann). 1892. Selbstverlag der Gutehoffnungshütte. — Deutsche Bauz. 1891, S. 505 u. 522.

pressung der Luft um so mehr Wasser eintreten wird, je tiefer dieselben unter den Wasserspiegel sinken. Durch das Eindringen des Wassers tritt also eine Verminderung des Auftriebs ein; diese Verminderung kann bei angemessener Form der Luftausgleicher so bemessen werden, dafs sie bei jeder Stellung der Schleuse der Vermehrung des Auftriebs möglichst gleichkommt, welche durch Eintauchen von Eisenteilen erzeugt wird. Die Luftausgleicher bedingen eine so bedeutende Verminderung des Betriebswassers, dafs vor Öffnung der Thore eine Ausspiegelung zwischen Kammer und Haltung durch Schützen nicht stattzufinden braucht.

Zur weiteren Sicherung des Betriebs sind noch eine ganze Anzahl Vorkehrungen getroffen; auf diese näher einzugehen würde jedoch zu weit führen.

Nach einer Arbeit von Schramm in der Zeitschrift des österr. Ingenieur- u. Architekten-Vereins 1894, S. 195 u. 209 seien einige Daten über einen Prüsmann'schen Entwurf für eine Schleuse im Elster-Saale-Kanale mitgeteilt:

Gröfse der zu hebenden Schiffe	600 t
Hubhöhe	23 m
Brunnentiefe bis Fundamentsohle	42 m
Brunnenweite	10 m
Länge des Troges	68 m
Breite „ „	8,6 m
Wassertiefe	2,3 m
Gewicht des Schleusentroges mit Haupt-, Quer- u. Längsträgern	506 t
Gewicht der fünf Ballastcylinder auf den Schwimmern	710 t
Gewicht der beiden Abschlufsthore	14 t
Ausrüstung des Troges	90 t
Fahrgeschwindigkeit in der Sekunde	6 cm
Betriebswassermenge, welche aus der oberen Haltung für eine Senkung und eine Hebung zu entnehmen ist	115 cbm.

Die Kosten für ein Hebewerk von 15 m Hubhöhe werden in derselben Quelle wie folgt angegeben:

Anlagekosten.

Anlagekosten für das Hebewerk	1200000 M.
Zwei Wohnhäuser für den Schleusenführer und den Maschinisten	28000 „
Eine Bude für den Gehilfen	1500 „
Für Brunnen, Einfriedigung u. s. w.	1000 „
Zusammen	1230000 M.

Unterhaltungskosten.

Für das Hebewerk	4200 M.
Zwei Dienstgebäude	400 „
Geräte, Tauwerk	600 „
Fernsprecher	100 „
Zusammen	5300 M.

Betriebskosten.

Gehalt des Führers	2000 M.
Gehalt des Maschinisten	2000 „
Zwei Gehilfen zusammen	1800 „
Für Kohlen, Öl u. s. w.	1600 „
Für Hilfsarbeiter u. s. w.	600 „
Zusammen	8000 M.

Leider sind die Anlagekosten für Eisen, Mauerwerk und Gründungskosten nicht getrennt angegeben, sodafs sich ein Urteil über deren Angemessenheit nicht abgeben läfst. Aus dem gleichen Grunde war die Verwertung dieser Angaben für die Tabelle am Schlusse des Paragraphen nicht möglich.

Ein von der Gutehoffnungshütte hergestelltes betriebsfähiges Modell dieser Schleuse hat sich bewährt.

Hoech macht der Prüsmann'schen Schleuse[147]) nicht ganz ohne Grund den Vorwurf, dafs sie zu kompliziert geworden sei. Er empfiehlt nur einen Schwimmer mit Steuercylinder darüber mitten unter dem Troge und die übrigen Schwimmer ohne Steuerapparat zu beiden Seiten des Troges anzuordnen. Dadurch wird an Gründungsarbeit gespart und die Anordnung vereinfacht. Die Führung des Troges mufs dann durch Gleitschienen oder dergleichen geschehen. Dieser Vorschlag erfordert allerdings wieder gröfsere Mengen Betriebswasser, wegen Vermehrung der Reibung. Eine Sicherung, wie sie in Punkt 4, S. 329 als erforderlich bezeichnet wurde, ist weder bei den Prüsmann'schen, noch bei dem Hoech'schen Entwurfe vorgesehen. Desgleichen sind die Bewegungen des Troges nach erfolgter Ausspiegelung, wenn auch vermindert, so doch nicht aufgehoben.

Der zweite Entwurf des Gruson-Werkes, von dem ebenfalls ein betriebsfähiges Modell hergestellt ist und über welches die Tabelle am Schlusse des Paragraphen weitere Daten enthält, übertrifft den ersten desselben Werkes nicht nur hinsichtlich der Anordnung einer gröfseren Anzahl von Schwimmergruben, sondern auch durch eine bessere Geradführung. Während für diese bei dem ersten Entwurfe hydraulische Cylinder an den vier Ecken, Schlittenführungen und aufserdem noch Seilführung vorgesehen war, ist die Aufgabe bei dem zweiten[148]) einfacher und klarer gelöst. Es sind vier doppelt ausgeführte feststehende, senkrechte Zahnstangen angebracht, in welche je ein Triebrad eingreift. Diese Zahnräder sitzen fest auf vier an den Längsseiten des Troges gelagerten starken Wellen, welche durch weitere Zahnräder und Zwischenwellen so miteinander gekuppelt sind, dafs sie sich zwangläufig und zwar zu beiden Längsseiten des Troges in entgegengesetztem Sinne drehen. Zahnräder und Zahnstangen sind ähnlich den Abt'schen für Zahnradbahnen (also als Staffelräder) ausgebildet. Die Steuerung erfolgt von einer Brücke über dem Troge. Neben dieser Parallelführung durch die Zahnstangen hat der Trog noch Rollenführungen, welche alle Horizontalverschiebungen des Troges in der Längs- und Querrichtung aufheben und den richtigen Eingriff der Zahnradführungen sichern. Zur Dichtung an den Haltungen besitzen die Trogenden mit Gummi belegte Dichtungsflächen, welche sich bei der Anfahrt an das Haupt an verstellbare, mit Gummi versehene Dichtungsrahmen pressen.

Auch hier sind wie bei dem Prüsmann'schen Entwurf weitgehende Sicherungen für den Betrieb vorhanden, die aber wieder die Einfachheit der Konstruktion beeinträchtigen. Der Betrieb kann durch Differenz zwischen Last und Auftrieb oder auch bei völlig gleicher Ausspiegelung durch Maschinenkraft (elektrisch) mittels der Zahnstangen und Zahnräder erfolgen. Der Trog wird durch 24 kleine cylindrische Schwimmer mit senkrechter Axe getragen, mit denen er durch Gitterständer in Verbindung steht. Je vier solcher Schwimmer befinden sich in einer Abteilung der Versenkungsgrube. Die einzelnen Abteilungen der Grube, welche durch Quermauern voneinander getrennt sind, stehen oben und unten miteinander in Verbindung, sodafs der Wasserstand in allen derselbe ist.

Wenn auch die Zwischenwände die Längswände der Grube wirksam absteifen, wird doch die Herstellung der letzteren in den meisten Fällen sehr kostspielig (vergl. 12 c. und 12 d. der mehrfach erwähnten Tabelle).

---

[147]) Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 514.

[148]) Deutsche Bauz. 1894, S. 590, 602 u. 609.

Auch diese Konstruktion wird nach erfolgter Ausspiegelung zwischen Kammer und Haltung wegen des Spielraums zwischen den Zähnen der Räder und der Zahnstangen eine Bewegung von 4 bis 5 cm machen, die für die Dichtungen ungünstig ist. Diese Bewegung kann man aber durch Benutzung des Motors vermeiden (Näheres in der Quelle S. 609); sie fällt ganz weg, wenn der Betrieb durch den Motor allein erfolgt.

So bequem die besprochene Parallelführung namentlich deswegen ist, weil man die Zahnstangen an allen Punkten gut an Ständern befestigen kann, so läfst sich doch bei gröfseren Schleusen die Forderung des Punkt 4, S. 329 nicht erfüllen. Die Zahnstangen des besprochenen Entwurfes können zusammen reichlich 80 t Zahndruck aufnehmen, der zwar sicher ausreicht, um bei regelrechtem Betriebe jede Schiefstellung zu verhindern, es wird aber nicht möglich werden, durch eine solche Anordnung den Auftrieb aufzunehmen und die Schleuse am Aufschnellen zu hindern, wenn die Wasserfüllung des Troges plötzlich abliefe.

Der betreffenden, allerdings sehr weitgehenden Forderung hat die Firma Haniel u. Lueg in Düsseldorf bei ihrem Konkurrenz-Entwurfe einer Schwimmerschleuse für den Dortmund-Ems-Kanal bei Henrichenburg durch Anwendung von Schraubenführungen zu genügen gewufst, und deshalb ist wohl diesem Entwurfe seitens der Akademie des Bauwesens vor dem Entwurfe des Gruson-Werkes und dem Prüsmann'schen der Preis zuerkannt. Die Figuren 14—17, Tafel XIII zeigen die allgemeine Anordnung der genannten Schleuse.[149]) Der Schleusentrog von 70 m Länge, 8,6 m Breite und 2,5 m Wassertiefe ruht auf fünf cylindrischen Schwimmern, welche in runden, gesonderten Brunnen auf- und absteigen. Die Verbindung zwischen Trog und Schwimmern wird durch offenes Gitterwerk gebildet. Der Betrieb erfolgt durch Mehr- bezw. Mindergewicht der Wasserfüllung des Troges, wie bei den übrigen Schwimmerschleusen.

Zur Führung dienen vier grofse Schraubenspindeln *c* (F. 16 u. 17), welche gleichzeitig durch eine Rotationsmaschine angetrieben werden und sich durch die an dem Trog befindlichen Schraubenmuttern bewegen. Ein mäfsiges Mehr- oder Mindergewicht des Troges, wie es infolge der Veränderung des Ein- und Austauchens der Gitterständer zwischen Trog und Schwimmern auftritt, wird durch die Maschine bezw. die Schraubenspindeln überwunden.

Die letzteren sind aber an sich so stark und oben und unten so sicher gelagert, dafs sie im Falle irgend eines Bruches am Hebewerke sowohl den vollen Auftrieb der Schwimmer, als auch die ganze Last des Troges aufzunehmen vermögen, sodafs der Betrieb des Hebewerkes unter allen Umständen gesichert erscheint. Der Stand des Führers befindet sich nicht auf dem Troge selbst, sondern in dem Häuschen mitten über dem Gerüst, s. F. 15. Auftriebsausgleicher sollen auch bei dieser Ausführung angeordnet werden, jedoch steht deren Konstruktion noch nicht fest. Die Schützen werden durch hydraulische Maschinen geöffnet. Elektrische Beleuchtung der Anlage ist vorgesehen. Die Hubhöhe beträgt 14 bezw. 14,5 und 16 m.

Die Zeichnungen führen den Entwurf vor, welcher der Akademie für Bauwesen vorgelegen hat. Die Ausführung, welche gegenwärtig (Ende d. J. 1894) beschafft wird, weicht in einigen Einzelheiten von dem Entwurf ab. Die Brunnenauskleidungen sollen nicht gemauert, sondern mittels eiserner Schachtringe hergestellt werden, dagegen wird die an die obere Haltung anschliefsende Kanalbrücke nicht in Eisen, sondern in Stein ausgeführt u. s. w. Das Ober- und Unterhaupt des Hebewerks wird architektonisch ausgebildet werden.

---

[149]) Die Darstellungen und Mitteilungen verdankt Verfasser der Freundlichkeit genannter Firma.

Diese Anlage erfüllt in der That bei thunlichster Einfachheit die weitgehendsten Anforderungen, welche an die Betriebssicherheit gestellt werden können. Ob dieselbe Anordnung für noch gröfsere Hubhöhen Verwendung finden kann, hängt davon ab, ob es möglich sein wird, entsprechend lange Schraubenspindeln zu angemessenem Preise herzustellen, was bei dem jetzigen Stande der Industrie Schwierigkeiten bereiten dürfte. Gegenwärtig dürften 24 m Hubhöhe die äufserste Grenze sein.

Für grofse Höhen ist allerdings die Schwimmerschleuse mit Zahnstangenführung bequemer herzustellen, da man, wie bereits erwähnt, die einzelnen Zahnstangenteile stets sicher an eisernen Ständern befestigen kann. Indessen erscheint es überhaupt fraglich, ob es richtig ist, für noch gröfsere Hubhöhen Schwimmerschleusen zu verwenden.

Gegen solche sprechen nämlich folgende Punkte:

1. Die bisher, wie bei allen hydraulischen Schleusen (vergl. die Tabelle), wie es scheint, meist unterschätzten Kosten der Gründungsarbeiten für Tröge, welche über den Schwimmern stehen, wachsen bedeutend mit der Tiefe, wenn nicht ungewöhnlich günstige Bodenverhältnisse vorliegen. Weniger und gröfsere Schwimmer (3 statt 5) werden jedenfalls billiger werden. Ordnet man aber die Schwimmer neben dem Troge an, so vermehrt man das Eisengewicht durch die cylindrischen Aufsätze zur Verlängerung der Schwimmerbrunnen nach oben und damit, aufser den Beschaffungskosten für das Eisen, zugleich die Unterhaltungskosten, denn letztere sind für Eisenkonstruktionen, die dem Wasser ausgesetzt sind, wesentlich höher als für Mauerwerk (vergl. § 5).

2. Die Gefahr einer Unterspülung.[150]) In dieser Gefahr, welche bei den Schwimmerschleusen gröfser ist als namentlich bei den schiefen Ebenen, liegt ein Übelstand, den sie mit allen senkrechten Hebevorrichtungen, auch den Schachtschleusen und den hydraulischen, teilen. Sie ist um so gröfser, je tiefer die Fundierungen werden, welche den gewachsenen Boden in nicht zu übersehender und zu beseitigender Weise lockern, und je näher die tiefen Fundamente dem Oberwasserspiegel rücken. Daher sind Schleusen mit Schwimmern an den Enden des Troges und hydraulische Hebewerke mit mehreren Kolben in der Längsaxe in dieser Beziehung ungünstiger, als Schwimmer- und hydraulische Schleusen mit nur einem Stützpunkte in der Mitte und namentlich als Schachtschleusen, deren Fundierung weniger tief reicht, während die Dämme für die Zuleitung der oberen Haltung im Trocknen ausgeführt und sorgfältig überwacht werden können.

Tauchschleuse. Hinsichtlich des letztgenannten Vorteils steht eine Abart der Schwimmerschleuse, die ihrer Betriebsweise wegen als Tauchschleuse bezeichnet werden möge, den Schachtschleusen gleich.

Diese Form ist ebenso alt als die Schwimmerschleuse selbst, indem bereits im Jahre 1794 von Robert Welden in England ein Patent auf dieselbe genommen und auch eine Schleuse mit einem Gefälle von 13,7 m für Schiffe von 21,9 m Länge und 2,13 m Breite gebaut wurde. Wahrscheinlich war sie nur von kurzem Bestande, weil der Brunnen, in welchem die Schleuse untertaucht, nicht sicher genug gegen den inneren Wasserdruck hergestellt war und infolge dessen zerstört wurde.

Der Grundgedanke dieser Schleuse war der, dafs man einen Schacht herstellt, der fortwährend mit der oberen Haltung in offener Verbindung bleibt und in dem also der Wasserspiegel nicht gesenkt wird. In diesem Schachte schwimmt ein eiserner, an beiden Enden offener, zur Hälfte mit Wasser gefüllter Cylinder so tief eintauchend, dafs die zu schleusenden Schiffe in seinem Hohlraum Platz finden. Schliefst man nun die beiden Enden des Cylinders wasserdicht ab, so kann man ihn mit dem darin schwimmenden Schiffe durch Ballastwasser an Führungen versenken, bis er auf dem Grunde des Schachtes

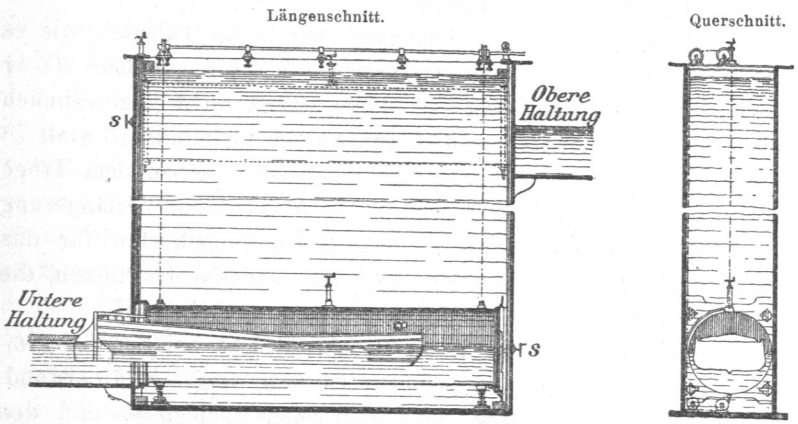
---

[150]) Es sei hier auf eine Mitteilung hingewiesen, nach welcher das Hebewerk von Fontinettes auf mehrere Monate betriebsunfähig geworden war, weil eine Unterwaschung des Grundmauerwerks stattgefunden hat. Bulletin du syndicat général de la marine 1893, 2. März. Auch „Schiff“ 1893, S. 86.

sich mit dem einen Ende vor den durch ein Thor verschlossenen Ausfahrtstunnel des Schachtes legt. Dichtet man jetzt die Fuge zwischen dem Cylinder und der Schachtwand, so steht nach Öffnung der Thore vor dem Tunnel und dem zunächstliegenden Ende des Cylinders derselbe mit dem Tunnel in offener Verbindung, sodafs das versenkte Schiff hinaus und ein zu hebendes hinein gefahren werden kann. Nach Schlufs der Thore vor dem Tunnel und dem Ende des Cylinders und nach erfolgtem Auspumpen des Ballastwassers schwimmt der Cylinder mit dem zweiten Schiffe auf und das Spiel kann nach Öffnung der Thore des Cylinders und Entfernung des Schiffes in das Oberwasser von neuem beginnen.[151])

Dieser Gedanke ist neuerdings von J. Rowley in Dukinfield wieder aufgenommen, der auf dem Binnenschiffahrts-Kongresse zu Manchester ein Modell einer solchen patentierten Schleuse ausstellte. Rowley vermeidet aber dabei das unbequeme Auspumpen des Ballastwassers und den grofsen Verbrauch des letzteren, welcher bei der ersten Ausführung dadurch bedingt war, dafs der Cylinder, wenn ein Schiff aus der oberen Haltung einfahren sollte, zur Hälfte aus dem Oberwasser austauchte. Er läfst das Oberwasser nicht mit dem Schachte in offener Verbindung, sondern erhöht den Wasserspiegel in letzterem künstlich soweit über den der oberen Haltung, dafs der Cylinder stets ganz unter Wasser bleibt und seine Verbindung mit dem Oberwasser in derselben Weise ausgeführt wird, wie mit dem Unterwasser. Durch diese Anordnung, die in Fig. 294 und 295 dargestellt ist, wird der Wasserverbrauch offenbar ebenso eingeschränkt, wie bei den Schwimmerschleusen und den hydraulischen, er kann sogar ganz fortfallen, wenn die Bewegung durch Maschinenkraft mittels der Ketten ohne Ende, welche zur Führung dienen, ausgeführt wird. Zum dichten Anschlusse der Schleusentrommel an die Querwand des Brunnens vor Öffnung der Thore in beiden dienen die Schrauben s in Fig. 294.[152])

Fig. 294 u. 295. *Tauchschleuse von Rowley.*



Die Tauchschleuse übertrifft die anderen Schwimmerschleusen durch die Einfachheit und Billigkeit der Gründung, sowie dadurch, dafs, wenn der Brunnen aus Beton mit Erdhinterfüllung hergestellt wird, der Eisenverbrauch und damit die Unterhaltungskosten bedeutend geringer sind, als bei jenen. Da der Brunnen leicht nach dem Unterwasser hin entwässert und trockengelegt werden kann, so bildet er gleichzeitig für die Schleusentrommel ein bequemes Trockendock, sodafs auch deren Unterhaltung keine Schwierigkeiten bietet, was von den anderen Schwimmerschleusen nicht behauptet werden kann.

4. Vergleichung der Vorrichtungen zur Überwindung grofser Gefälle.

Will man die verschiedenen Vorrichtungen zur Überwindung grofser Gefälle miteinander vergleichen, so läfst sich zunächst nicht leugnen, dafs die Bewegung der Schiffe in sämtlichen Schwimmerschleusen, nicht minder in den hydraulischen und den gut konstruierten Schachtschleusen die sanfteste ist. Auf diese folgen die senkrechten, durch Gegengewichte ausbalancierten Hebevorrichtungen und erst zuletzt kommen die schiefen Ebenen. Indessen sind, wie schon früher bemerkt, durch geeignete Vorkehrungen die unruhigeren Bewegungen der schiefen Ebenen zweifellos für die zu befördernden Schiffe

[151]) H. Gruson und L. A. Barbet, S. 27. — P. Pfeifer, S. 72.

[152]) Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1891, S. 273.

Tabellarische Zusammenstellung einiger wichtigen Daten und Berechnung der Wertziffern aus Herstellungs-, Unterhaltungs- und Erneuerungskosten von Schiffshebewerken.

(Zu Seite 337.)

1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.
No.	Bezeichnung des Hebewerkes.	Herstellungskosten: für Erd- und Maurerarbeiten K' M.	für Metallarbeiten K'' M.	für Sonstiges K''' M.	im ganzen K^h M.	Kapitalisierte Unterhaltungskosten: der Mauer- und Erdkörper $\frac{z'}{^1/_4}\cdot\frac{K'}{4}=K^{u'}$ M.	der Metallteile $\frac{z''}{1}\cdot\frac{K''}{4}=K^{u''}$ M.	Kapitalisierte Amortisationskosten: der Mauer- und Erdkörper $\frac{K'}{\left(1+\frac{z}{100}\right)^{m'}-1}=K^{a'}$ M.	der Metallteile $\frac{K''}{\left(1+\frac{z}{100}\right)^{m''}-1}=K^{a''}$ M.	Summe der Herstellungs-, Unterhaltungs- und Amortisationskosten $K^h+K^{u'}+K^{u''}+K^{a'}+K^{a''}=S(K)$ M.	Hubhöhe h m	Kammer-Abmessungen: Länge m	Breite m	Wassertiefe m	Größe der größten zu hebenden Schiffe Q Tonnen	Zahl der in 12 Stunden zu befördernden Schiffe: Nur nach einer Richtung s'	Nach beiden Richtungen an der Schleuse kreuzend s''	Wasserbedarf für eine Hebung bezw. Doppelhebung cbm	Herstellungskosten für 1 m Hubhöhe $\frac{K^h}{h}$ M.	Wert-Ziffern $\frac{S(K)}{s'\cdot Q\,h}$ M.	Wert-Ziffern $\frac{S(K)}{s''\cdot Q\,h}$ M.	Bemerkungen.
1	Schachtschleuse im Kanal St. Denis.	?	?	?	1 480 000	—	—	—	—	—	9,92	48,9	8,2	3,5	etwa 1100	28	44	3173	149 200	—	—	Die Herstellungskosten enthalten ansehnliche Ausgaben, die nicht den eigentlichen Schleusenbau betreffen; dieselben sind daher zu hoch.
2	Schachtschleuse, Entwurf von Fontaine.	597 244	40 580	82 176	720 000	37 327	10 145	235	6 648	774 355	20	39	5,2	2,6	300	24	40	1772	36 000	5,379	3,227	Die Schleuse ist nur Entwurf. Daher Zeiten und Kosten, wenn auch nach zuverlässigen Beispielen, nur berechnet.
3	Schiefe Ebene im Oberland-Kanal.	?	?	?	714 000	—	—	—	—	—	Durchschn. 21,4	0	0	0	50	18	36	Durch Wasserrad betrieben.	8 331	—	—	Die Angaben beziehen sich auf die vier älteren schiefen Ebenen. Bewegung durch Wasserrad, welches aus dem Oberwasser gespeist wird. Fahrgeschwindigkeit 0,8 bis 1 m. Die Hubhöhen sind 20,4, 18,83, 24,48, 21,97 m.
4 a.	Schiefe Ebenen mit zwei gekuppelten Kammern nach Entwürfen von Peslin. Fahrt in Richtung der Längsaxe der Kammer. — Älterer	± 223 000	± 657 000	0	880 000	13 937	164 250	88	107 634	1 165 909	16	?	?	?	300	60	120	Durch Turbine betrieben.	55 000	4,048	2,024	Die eingeklammerten Ziffern entsprechen den Kosten, welche unter Berücksichtigung der durch die schiefe Ebene ersparten Kanalstrecken ermittelt sind. Kosten für Verwaltung und unvorhergesehene Fälle sind nicht berücksichtigt. Neigung der schiefen Ebene 1:5. Fahrgeschwindigkeit 0,83 m in 1 Sekunde. Betrieb durch Turbine.
4 b.	Entwurf	(159 000)	(657 000)	0	(816 000)	9 937	164 250	62	107 634	1 097 883	16	?	?	?	300	60	120		(51 000)	3,812	1,906	
4 c.	Neuerer	± 243 000	± 717 000	0	960 000	15 188	179 250	95	117 470	1 272 003	51,2	38,5	5,2	2,0	300	36	72		18 750	2,304	1,152	
4 d.	Entwurf	(83 000)	(717 000)	0	(800 000)	5 187	179 250	33	117 470	1 101 940	51,2	38,5	5,2	2,0	300	36	72	?	(15 625)	1,992	0,996	
5 a.	Schiefe Ebenen mit zwei gekuppelten Kammern nach Flamant's Entwurf. In der Querrichtung der Schiffe zu befahren. Hinterhäfen, doppelte Schleusenthore.	± 350 000	628 000	112 000	1 090 000	21 875	157 000	138	102 890	1 371 903	15	45	5,6	2,1	300	80	160	130	72 666	3,811	1,906	Die Erdarbeiten, die allerdings nicht bedeutend sind, scheinen im Anschlage nicht aufgenommen zu sein. Neigung der schiefen Ebene 1:9. Fahrgeschwindigkeit 0,2 m in 1 Sekunde. Betrieb durch Übergewichtswasser der zu Thal fahrenden Kammer. Beanspruchung der Eisenteile 660 kg f. d. qcm.
5 b.		± 400 000	666 000	114 000	1 180 000	25 000	166 500	157	109 110	1 480 767	20	45	5,6	2,1	300	72	144	130	59 000	3,427	1,714	
5 c.		± 500 000	743 000	117 000	1 360 000	31 250	186 750	196	121 730	1 699 926	30	45	5,6	2,1	300	60	120	130	45 333	3,148	1,574	
5 d.		± 700 000	898 000	122 000	1 720 000	43 750	224 500	275	147 120	2 135 645	50	45	5,6	2,1	300	48	96	130	34 400	2,966	1,483	
6 a.	Schiefe Ebene nach Hoech, einfache Kammer mit Gegengewichten, sonst wie 5.	113 500	387 250	99 250	600 000	7 094	96 815	45	63 444	767 398	14	68	8,6	2,2	800	36	72	317	42 856	1,903	0,952	Das Eisen ist im Entwurfe reichlich hoch (zu 1000 kg f. d. qcm) beansprucht, daher der Preis gegenüber der Schleuse von Flamant etwas zu niedrig.
6 b.		± 170 000	± 476 000	± 104 000	750 000	10 625	119 000	67	77 984	957 676	30	68	8,6	2,2	800	24	48	317	25 000	1,662	0,831	
7	Wie 6, Entwurf des Marine-Baumeisters Moeller für den Kanal von Wismar nach Schwerin.	253 550	401 860	104 590	750 000	15 847	100 470	100	65 847	932 264	31,15	53	6,6	2,2	350	24	48	160	24 077	3,562	1,781	Im Anschlage sind sämtliche Kosten auskömmlich berücksichtigt.
8	Hydraulisches Hebewerk zu Anderton mit einem Cylinder.	± 332 800	594 000	± 50 000	976 800	20 800	148 500	131	97 315	1 243 546	15,35	22,85	4,73	1,37	100	96	192	?	63 635	8,439	4,220	Wirklich entstandene Kosten und beobachtete Zeiten.
9	Hydraulisches Hebewerk zu Les Fontinettes mit einem Cylinder.	552 580	709 600	237 020	1 499 200	34 535	177 400	217	116 250	1 827 602	13,13	40,6	5,6	2,0	300	72	144	217	114 181	6,444	3,222	Wirklich entstandene Kosten und beobachtete Zeiten. Die Kosten überschritten den Voranschlag um 656000 M. = 78%.
10	Hydraulisches Hebewerk zu La Louvière mit einem Cylinder.	343 200	719 200	61 600	1 124 000	21 450	179 800	135	117 820	1 443 105	15,4	43,2	5,8	2,4	360	72	144	?	72 857	3,616	1,808	Wirklich entstandene Kosten. Dieselben überschritten den Voranschlag um 192000 M. = 19%.
11 a.	Hydraulisches Hebewerk, Entwurf von Hoppe mit sechs Cylindern.	240 000	1 306 000	24 000	1 570 000	15 000	326 500	94	213 960	2 125 554	14	73	9	2,5	600 bis 1000	48	96	100	112 150	5,272 bis 3,163	2,636 bis 1,582	Im Anschlage fehlen die Kosten für Grunderwerb, Verwaltung und unvorhergesehene Fälle, die Erd- und Maurerarbeiten sind um mindestens 300000 M. zu niedrig veranschlagt. Die untere Ziffernreihe entspricht den berichtigten Kosten (eingeklammerte Ziffern).
11 b.		(540 000)	1 306 000	(74 000)	1 920 000	(33 750)	326 500	(212)	213 960	(2 494 422)	14	73	9	2,5	600 bis 1000	48	96	100	137 143	6,186 bis 3,712	3,093 bis 1,856	
12 a.	Schwimmer-Hebewerke des Gruson-Werkes — Schwimmer unter dem Troge	970 000	1 100 000	?	2 070 000	60 624	275 000	381	180 211	2 586 216	15 i. M.	68	6,8	2,5	600 bis 700	36	36	82	138 666	7,982 bis 6,842	7,982 bis 6,842	Günstiger Baugrund für die Brunnensenkung.
12 b.		1 200 000	1 260 000	?	2 460 000	75 000	315 000	471	206 424	3 056 895	23 „	68	6,8	2,5		36	36	82	106 957	6,153 bis 5,274	6,153 bis 5,274	
12 c.		3 500 000	1 300 000	?	4 800 000	218 750	325 000	1375	212 971	5 558 096	9,6	90	10	3	1100 i. M.	36	36	?	500 000	16,339	16,339	Sehr ungünstiger Baugrund, Kies mit viel Wasser.
12 d.	Schwimmer neben dem Troge	600 000	1 850 000	?	2 450 000	37 500	462 500	236	303 186	3 253 422	9,6	90	10	3	1100 i. M.	36	36	?	255 208	9,564	9,564	

Aus der Quelle (Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1894) sind die Einheitspreise für die Fundierung nicht zu ersehen, ob dieselben hoch genug sind, daher nicht zu beurteilen. Desgl. ist es unbestimmt, ob für Grunderwerb, Bauverwaltung, Unvorhergesehenes (K''') Summen ausgeworfen sind.

vollkommen unschädlich zu machen, sodafs ihrer Verwendung um so weniger ein Hindernis entgegenstehen dürfte, als die Betriebssicherheit der sonst bei ihnen zu verwendenden Vorrichtungen (Bremsen, Buffer, Drahtseile u. s. w.) seit langer Zeit durch die Eisenbahnen verschiedenster Art nachgewiesen ist, und als sie in Bezug auf die Kosten anderen Hebewerken meist überlegen sind.

Im allgemeinen wird man das Urteil dahin zusammenfassen können, dafs für Kanäle untergeordneter Bedeutung, d. h. für kleinere Schiffe und geringeren Verkehr, die schiefe, in der Längenrichtung des Schiffes zu befahrende Ebene, also die Schiffseisenbahn — je nach der Bedeutung des Verkehrs mit oder ohne Schleusenkasten — wegen der geringsten Kosten den Vorzug verdient. Dieselbe Anordnung verdient auch für gröfsere Fahrzeuge und bedeutenderen Verkehr in solchen Fällen in erster Linie berücksichtigt zu werden, wo es sich darum handelt, zur Verbindung zweier Wasserstrafsen höhere wasserarme Rücken bei mäfsigem Gefälle zu übersetzen. Es ist auch zu beachten, dafs die Schiffseisenbahnen nicht nur Schleusentreppen, sondern ganze Kanalstrecken ersetzen.

Handelt es sich dagegen um sehr konzentrierte Gefälle, so werden bis zur Höhe von etwa 20 m Schachtschleusen, Tauchschleusen, Schwimmerschleusen und quer zu befahrende schiefe Ebenen in Wettbewerb treten. Ein genaues Urteil wird sich nur auf Grund vergleichender Entwürfe finden lassen, bei denen nicht nur die jeweiligen Boden- und Wasserverhältnisse, die Gröfse des zu bewältigenden Betriebs und die Anlagekosten, sondern auch die Betriebs-, Unterhaltungs- und Amortisationskosten gehörig zu berücksichtigen sind.

Bei einem Gefälle von mehr als 20 m werden voraussichtlich die Schwimmerschleusen, deren Tröge über einer gröfseren Anzahl vom Schwimmern stehen, wegen der zu grofsen Gründungskosten und der Gefahr von Unterspülungen unzweckmäfsig werden. Die Schachtschleuse wird für mäfsigen Verkehr noch verwendbar bleiben, wenn genügendes Wasser und besonders sicherer Baugrund vorhanden ist, die Tauchschleuse aber auch dann noch, wenn sich wenig Wasser, aber sicherer Grund findet. Fehlt auch der letztere, so bieten die schiefen Ebenen (quer fahrbar bei grofsen Schiffen und starken Steigungen) auch dann bis zu beliebiger Höhe ausführbare Hebevorrichtungen.

In der nebenstehenden Tabelle ist versucht, für eine gröfsere Anzahl ausgeführter und entworfener Hebewerke die wichtigsten Daten zusammenzustellen, um daraus ein Bild über den verhältnismäfsigen Wert derselben zu gewinnen. Leider konnten aber nur die Herstellungs-, die Unterhaltungs- und die Erneuerungs(Amortisations-)kosten, nicht aber die Betriebskosten aufgenommen werden, da es für letztere an den erforderlichen Unterlagen fehlte. Die Unterhaltungs- und Erneuerungskosten sind nach Erd- und Mauerarbeiten bezw. Eisenarbeiten getrennt ermittelt. Für die ersteren ist bei der Kapitalsberechnung (vergl. § 5) als jährlicher Aufwand für Unterhaltung $^1/_4$ Prozent der Herstellungskosten, für die letzteren 1 Prozent derselben gerechnet. Die Zeit, nach welcher das Mauerwerk und die Erdarbeiten erneuert werden müssen, ist bei Berechnung des für die Erneuerung auf Zinseszins anzulegenden Kapitals zu 200 Jahren, bei den Eisenarbeiten zu 50 Jahren angenommen. Der Zinsfufs überall zu 4 Prozent.

Die senkrechten Spalten 7 bis einschliefslich 10 enthalten die in dieser Weise berechneten kapitalisierten Unterhaltungs- und Amortisationskosten, welche zusammen mit den gesamten Baukosten aus Spalte 6 die mit S (K) bezeichneten Werte der Spalte 11 liefern, denen für eine vollkommen richtige Wertschätzung noch die kapitalisierten Betriebskosten (für Aufsichtspersonal, Kohlen, Schmiermaterial) hinzuzufügen wären.

Handelt es sich um Herstellung eines Hebewerks für beschränkten Verkehr, so können die Ziffern $S\,(K)$ allein zur Entscheidung dienen. Wüfste man z. B., dafs mehr als 24 Schiffe von 300 t in der einen oder 40 in beiden Richtungen auf 20 m Hub in 12 Stunden unter keinen Umständen während des 200jährigen Bestandes des Bauwerks zu befördern sein werden, so würde die Schachtschleuse (774355 M.) gegenüber einer gekuppelten schiefen Ebene nach Flamant (1480767 M.) um so mehr den Vorzug verdienen, als sie nicht nur ohne Betriebskosten nur halb so teuer ist, sondern auch sicher weniger Betriebskosten erfordert. Handelt es sich aber — was in den meisten Fällen zutreffen wird — um ein Hebewerk, dessen Verkehrszunahme vermutlich sehr bedeutend und unberechenbar sein wird, so geben die in Spalte 21 und 22 ermittelten Wertziffern, welche auch die Anzahl der in 12 Stunden möglichen Schleusungen s' bezw. s'' berücksichtigen, ein besseres Bild.

Da diese Wertziffern aufserdem die Gröfse der Schiffe Q in Tonnen und das Gefälle h enthalten, also das Kapital ausdrücken, welches unter Voraussetzung vollständiger Ausnutzung der Leistungsfähigkeit des Hebewerks nur bei Tagesdienst angelegt werden mufs, um eine Tonne Schiffslast um ein Meter zu heben, so lassen sie noch einige andere lehrreiche Schlüsse in Bezug auf die Zweckmäfsigkeit der verschiedenen Ausführungsweisen zu. Allerdings ist dabei immer zu berücksichtigen, dafs das verwandte $S\,(K)$ die Betriebskosten noch nicht enthält, die bei den Schachtschleusen am geringsten sind, während die übrigen sich etwa in folgender Ordnung folgen werden: Schwimmerschleusen, hydraulische Schleusen, schiefe Ebenen mit Maschinenbetrieb.

Ein Vergleich der Wertziffern der Horizontalspalte 6 b. mit 5 c. und 7, sowie 8 mit 9, 10 und 11 a. u. b. zeigt, dafs die Wertziffern desto günstiger (kleiner) werden, je gröfser bei sonst gleicher Konstruktion der Hebewerke die zu hebenden Schiffe sind. Ein Vergleich der Wertziffern verschiedenartiger Hebewerke ist daher nur dann zulässig, wenn dieselben für Schiffe gleicher Gröfse bestimmt sind, und wenn die Hubhöhe nahezu dieselbe ist, z. B. bei den einfach unterstrichenen in Horizontalspalte 4 a., 5 a. und 9, bei den doppelt unterstrichenen 2 und 5 b., den dreifach unterstrichenen 4 c. u. d. und 5 d. und den mit geschlängelten Linien unterstrichenen 6 a., 11 a. u. b. und 12 a.

Diese Vergleiche zeigen, dafs die schiefen Ebenen überall am vorteilhaftesten sind und zwar um so viel, dafs selbst die Hinzuziehung der ungünstigeren Betriebskosten voraussichtlich hieran kaum etwas ändern wird. Das Schwimmerhebewerk dagegen ist das kostspieligste von allen.

Wie die Querspalten 4 a. bis d., 5 a. bis d. und 6 a. u. b. zeigen, werden bei den schiefen Ebenen jeder Art die Wertziffern auch trotz der Verringerung der Schleusungen mit zunehmender Steigung günstiger, was wegen der stark wachsenden Gründungskosten kaum bei einer der anderen Hebevorrichtungen der Fall sein kann. Am günstigsten ist in dieser Beziehung die in der Längsrichtung der Schiffe zu befahrende Ebene, besonders wenn die Kosten der Kanalstrecke abgesetzt sind[153]) (Querspalte 4 b. und 4 d.). Dabei haben diese schiefen Ebenen noch vor allen anderen Hebewerken den schon erwähnten bemerkenswerten Vorzug voraus, dafs die Fahrt auf der schiefen Ebene, während der die Hebung vor sich geht, weil in Richtung der Kanallinie erfolgend, für den Schiffer gar keinen Zeitverlust bedeutet, wenn die Geschwindigkeit auf der schiefen Ebene ebenso grofs gewählt wird, als die der im Kanal schwimmenden Schiffe. Diese schiefen Ebenen verdienen also entschieden Beachtung.

[153]) Diese Kosten sind ausschliefslich von den Kosten für Erd- und Mauerarbeiten abgesetzt, weil dies in Bezug auf Unterhaltungs- und Amortisationskosten am richtigsten erschien.

Dem Vernehmen nach soll der Entwurf von Peslin für den Schelde-Maas-Kanal (Tabelle No. 4 c. u. d.) kurz vor seinem Tode zur Ausführung genehmigt sein, sodafs zu hoffen wäre, dafs demnächst genauere Angaben über Kosten und Zweckmäfsigkeit dieser Hebevorrichtung bekannt werden.

Zum genaueren Studium der künstlichen Hebewerke, die hier nur historisch-kritisch zu behandeln waren, wobei einige unzweckmäfsige Entwürfe ganz unerwähnt blieben, sei aufser auf die bereits in Anmerkungen angeführten Quellen auf den Litteratur-Nachweis am Schlusse des Kapitels verwiesen. Es ist auch beabsichtigt, diesen Gegenstand in einem von Professor Möller bearbeiteten Hefte der Fortschritte der Ingenieurwissenschaften demnächst weiter zu verfolgen.

§ 26. Nebenanlagen: Signale, Erleuchtung, Brücken, Bachunterführungen, Schleusenwärterwohnungen.

Signalvorrichtungen. Je stärker der Betrieb einer Schleuse, desto vollständiger mufs dieselbe mit gewissen Vorkehrungen zur Sicherheit desselben ausgestattet sein, weil die Gefahr des gegenseitigen Anstofsens der Schiffe eine gröfsere wird und aufserdem die Zeit um so besser ausgenutzt werden mufs. Es ist also bei möglichst grofser Geschwindigkeit aller Bewegungen und der Benutzung auch der dunkleren Tagesstunden, vielleicht gar der Nacht, eine genügende Sicherheit der Schiffe und der Schleusenthore zu fordern. Dennoch sind Signalvorrichtungen nur ausnahmsweise im Gebrauch, weil im allgemeinen die Schiffer, sowie auch das Schleusenpersonal meistens rechtzeitig genug die gegenseitigen Verhältnisse übersehen und ihre Mafsregeln danach treffen können. Bei Schleusen mit grofsem Verkehr empfiehlt sich trotzdem, den sich der Schleuse nähernden Schiffen ein Zeichen zu geben, ob sie ohne anzuhalten einfahren können oder ob sie etwa nur bis zu einem gewissen Punkt fahren dürfen, um anderen aus der Schleuse kommenden Schiffen genügenden Platz zu lassen. Hierzu reichen in den meisten Fällen gewöhnliche optische Signale völlig aus und nur bei besonders schwierigen Umständen würden elektrische Glockensignale zu verwenden sein. Bei Seeschleusen, namentlich Dockschleusen, wird gewöhnlich durch eine hochgezogene Scheibe u. s. w. den von aufsen kommenden Schiffen angezeigt, dafs das Durchfahren gestattet ist, sofern nicht etwa noch besondere Rücksicht auf den Wasserstand zu nehmen sein wird.

Die äufseren Einfahrten der Seeschleusen sind mit den unter „Schiffahrtszeichen“ eingehend zu besprechenden Vorrichtungen auszustatten. Durch die Stellung der verschiedenen Lichter ist den Schiffern die Fahrrichtung derart anzugeben, dafs sie rechtzeitig geregelt werden kann.

Erleuchtung. Eine Erleuchtung der Schleusen findet, soweit sie des Verkehrs wegen nötig, in einfacher Weise so statt, dafs durch Laternen, die ziemlich nahe an der Uferkante stehen müssen, wenigstens die Thore der Schleuse und die Einfahrten genügend beleuchtet sind. Die etwaige Kammer bedarf in der Regel keiner Erleuchtung. Ein gutes Beispiel giebt F. 10, T. VII von der Geestemünder Schleuse, wobei alle Thore von beiden Seiten beschienen und auch die Einfahrten erhellt sind. Die Laternen stehen in diesem Falle auf den Gehäusen der Winden.

Für die Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals wird nicht nur eine ausgiebige Beleuchtung der Vorhäfen durch zahlreiche elektrische Bogenlampen, sondern auch der Schleusen selbst ausgeführt, sodafs auch des Nachts ein bequemer Verkehr gesichert ist. Aufserdem verbindet eine Telegraphenleitung die beiden Schleusenanlagen zu Brunsbüttel und Holtenau.

Über die Einzelheiten der elektrischen Beleuchtung für die beiden Doppelschleusen samt Binnen- und Aufsenhäfen, welche von der Gesellschaft Helios in Kölln geliefert wird, ist Folgendes zu bemerken. Es erhalten die Schleusen und Häfen

in Holtenau:

42	Glühlampen	von	25	Normalkerzen,
4	„	„	50	„
2	„	„	60	„
12	Bogenlampen	„	12 A...	u. 60 V...,

in Brunsbüttel:

34	Glühlampen	von	25	Normalkerzen,
5	„	„	50	„
2	„	„	60	„
12	Bogenlampen	„	12 A...	u. 60 V...

Die Einfahrt in die Häfen und Schleusen wird durch farbiges Licht gekennzeichnet, welches mittels farbiger Glocken hergestellt wird. Diese Glocken werden nach hinten so abgeblendet, dafs nur für einen bestimmten Teil des Beleuchtungskreises das farbige Licht erscheint. Die zwischen und zu beiden Seiten der Schleusen aufzustellenden Bogenlampen werden ebenfalls so abgeblendet, dafs nur das Ufer bis zur Kante der Schleusenmauer beleuchtet wird, die Lampen selbst aber für die Schiffahrt unsichtbar bleiben.

Aufserdem sollen auch die in jeder der drei Mauern der Schleusen befindlichen Maschinenkammern und die dazwischen liegenden Gänge elektrisch beleuchtet werden, und zwar sind hierfür bei jeder der beiden Anlagen 260 Glühlampen von 16 Normalkerzen vorgesehen, von denen etwa ein Drittel auch bei Tage brennen mufs. Endlich erhalten noch die Central-Maschinenstation jeder Schleusenanlage, der Pegelturm, die Hafen- und Zollamtsgebäude, sowie die Zollbude Glühlampen gleicher Stärke zur Beleuchtung. Die Kraft für die elektrische Beleuchtung wird durch dieselbe Kesselanlage erzeugt, welche den Druckwasserbetrieb der Schleusen unterhält.

Brücken und Unterführungen von Bächen. Mit Brücken sind die Schleusen verhältnismäfsig selten ausgestattet. Bei Kanalschleusen sind es gewöhnlich feste Brücken, weil die Kanalschiffe fast stets ohne Mast oder nur mit einem kleinen für den Leinenzug bestimmten und leicht niederzulegenden Mast fahren. Die feste Brücke liegt am besten am Unterhaupte und über dem Unterwasser und gewährt dann mitunter ohne künstliche Erhöhung den nötigen Spielraum. Unter Umständen mufs aber die Brücke ein höheres Auflager haben als das der Unterhauptmauern. Bei der F. 1, T. VI trifft es sich günstig, dafs die Mauern des Unterhauptes wegen des durch die untere Thoranlage abzuhaltenden äufseren Hochwassers eine gröfsere Höhe als die Mauern der Kammer erhalten haben, sodafs hier eine lichte Höhe von etwa 3,3 m zwischen Unterwasser und Brückenunterkante bleibt.

Sobald die Brücke beweglich wird, ist die Stelle derselben von den Wasserverhältnissen fast unabhängig. Dann richtet es sich nach der Anordnung und Konstruktion der Brücke, wo sie am besten Platz findet. Bei kleineren Schleusen findet man nicht selten Portal-Klappbrücken mit zwei in der Mitte zusammenschlagenden Klappen der geringen Kosten wegen angewendet. Bei gröfseren Schleusen, etwa von über 8 m Weite, sind Dreh- und Rollbrücken vorzuziehen, weil diese dann konstruktiver und leichter zu bedienen sind. So lange es ohne schwerfällige Konstruktion geht, sollten die Drehbrücken einflügelig genommen werden, wie z. B. nach F. 15, T. VI. Namentlich wenn, wie bei mehreren neueren Docks in London, ein bedeutender Verkehr und sogar eine mit Lokomotiven betriebene Eisenbahn hinüberzuführen ist, mufs die Brücke als einflügelige Drehbrücke oder als Rollbrücke konstruiert werden. So ist z. B. bei den Millwall-Docks in London über eine Schleuse eine 43,2 m lange, 22,5 m lichte Öffnung gebende und eine Lokomotivbahn tragende Rollbrücke angebracht, welche 260 t wiegt und mit Hilfe einer hydraulischen Vorrichtung (zwei Cylinder zum Hin- und Herschieben mit vierfacher Über-

setzung und zwei Cylinder zum Anheben der Brücke an der festen Auflagerseite) in 2 bis 3 Minuten geöffnet oder geschlossen wird. Rollbrücken können aber auch als Fufsgängerbrücken mit Nutzen verwendet werden. So geht z. B. eine nur etwa 0,7 m breite einseitige Rollbrücke über die 12,4 m weite, kleinere Schiffsschleuse zu Ymuiden.

Indem die Einzelheiten der Brücken hier nicht zu besprechen sind, mag nur noch auf § 24 (Pontonbrücken) verwiesen werden.[154])

Seltener noch als Brücken sind Unterführungen von Bächen oder sonstigen Wasserläufen bei Schiffsschleusen erforderlich. Sie kommen nur bei den Schleusen in Schiffahrtskanälen vor, unter anderem in Flachgegenden, wenn der Kanal verschiedene Bachgebiete durchschneidet. Wenn dann nicht etwa der betreffende Bach als Speisekanal verwandt werden oder an einer geeigneteren Stelle des Kanals unter oder über diesem hinweggeführt werden kann, so bietet eine Kanalschleuse in der Gegend ihres oberen Thorkammerbodens eine bequeme Gelegenheit zur Unterführung. Es wird deshalb oft der Bach bis zur nächsten Schleuse verlegt, oder die Stelle der Schleuse in der Nähe des zu kreuzenden Baches gewählt. Allerdings mufs im Flachlande die Unterführung fast stets eine dükerartige sein, weil meistens der Schiffahrtskanal und der Bach nahezu gleiche Spiegelhöhe besitzen werden. Nach den für Wasserleitungen in Kap. IV gegebenen Regeln ist dann nur darauf zu achten, dafs die Weiten des Dükers für die höchsten Anschwellungen des Baches ausreichen und dafs kein unzulässiger Aufstau an der Oberseite entsteht.

Um auch die konstruktiven Einzelheiten zu besprechen, möge das in F. 16 u. 17, T. VI gegebene Beispiel einer Bachunterführung der Emskanäle[155]) (vergl. § 13) benutzt werden. Das fragliche Gelände ist eine Niederung, der Bach ist ein Moorbach, dessen Spiegelhöhe nicht erheblich wechselt. Bei der gewählten Weite des Dükers von 3,2 m und der gröfsten Höhe von 1,58 m ist keine wesentliche Veränderung in dem Schleusenboden des Oberhauptes notwendig gewesen. Es ist nur nach F. 17 die Betonsohle entsprechend vertieft und nach F. 16 für den Einlauf und Auslauf des Dükers aufserhalb des eigentlichen Schleusenmauerwerks das nötige Mauerwerk nebst Fundament hergestellt. Zugleich dient dieses Mauerwerk zur Unterstützung der über den Bach gehenden Leinpfads- und Wegebrücke. An der Oberseite ist ein verhältnismäfsig sehr flacher Schlamm- oder Sandfang angebracht, der nach seiner Anfüllung jedesmal gereinigt werden mufs, wenn nicht der Sand über ihn hinweg in den tiefen Teil des Dükers gelangen soll, aus welchem die Entfernung gröfsere Schwierigkeit macht. Wie die Höhenzahlen der verschiedenen Wasserspiegel erkennen lassen, wird bei höchstem Wasser des Baches ein Gefälle von 0,1 m in dem Düker verbraucht. Der Kanal besitzt dabei als normale Höhe die des höchsten Bachspiegels an dessen oberen Seite. Bei stärkerem Zufluls des Kanals läuft dessen Wasser über den rechtsseitigen Rand der Thorkammer in das Unterwasser des Baches. Wo eine bedeutende Geschwindigkeit des Bachwassers vorhanden oder wo jeder nachteilige Aufstau besonders zu vermeiden ist, würde statt der hier gewählten scharfen Kanten in den Knickpunkten des Dükers eine merkliche Abrundung der Kanten für die leichtere Bewegung des Wassers vorteilhaft sein. Als selbstverständlich darf wohl noch gelten, dafs das Gewölbe des Dükers und seine Übermauerung unter dem Thorkammerboden besonders sorgfältig und wasserdicht hergestellt sein müssen.

Bei gröfseren Dükern ist es notwendig, dieselben später nachsehen zu können. Man erreicht dies am einfachsten dadurch, dafs man den Düker zweiteilig macht und für jeden Teil an beiden Enden Schützen oder Dammbalkenverschlüsse vorsieht. In den Sommermonaten genügt dann die eine Dükerhälfte zur Abführung des Baches und die andere kann abgesperrt und trockengelegt werden.

Die bereits bei den Umläufen in § 7 besprochene F. 16, T. V zeigt in dem Oberhaupt einer Schleuse des Marne-Saône-Kanals ebenfalls eine Bachunterführung, welche

---

[154]) Wegen der Einzelheiten der beweglichen Brücken vergl. Kap. XI des II. Bandes (2. Aufl.).

[155]) Die Schleusen der Schiffahrtskanäle im mittleren Emsgebiet. Centralbl. d. Bauverw. 1882, Mai.

zugleich dazu dient, um die obere Kanalhaltung in den Bach zu entleeren, indem durch ein in der Vorschleuse angebrachtes Schütz das Oberwasser mit der Unterführung in Verbindung gesetzt werden kann, vergl. auch Kap. XV, § 18.

Schleusenwärterwohnungen. Was endlich die Wohnungen der Schleusenwärter anlangt, so sind dieselben nach der Zahl der Wärter und nach den örtlichen Verhältnissen einzurichten. In der Regel müssen es Familienwohnungen sein, weil die Schleusen zu weit von den übrigen Wohnungen entfernt liegen, und weil der Wärter nicht an bestimmte Stunden gebunden ist, sondern fortwährend in der Nähe der Schleuse bleiben mufs. Bei kleineren Kanälen, namentlich in Holland, sind die Wohnungen mitunter zu einem Wirtshausbetrieb eingerichtet, wobei der Gehalt des Wärters entsprechend verkürzt wird.

Für die Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals ist eine Gruppe von Beamten-Doppelwohnhäusern errichtet, wie auf dem Lageplan der Brunsbütteler Schleusen T. XII, F. 7 ersichtlich ist.

Von sonstigen neben den Schleusen zu errichtenden Hochbauten wird im XV. Kapitel die Rede sein.

§ 27. Betrieb und Unterhaltung. Bei dem Betriebe der Schleusen ist vor allen Dingen im Auge zu behalten, dafs dieselben möglichst uneingeschränkt dem Verkehre zu dienen haben, und dafs fast jede Beschränkung zum Nachteile von Handel und Industrie gereicht. Es ist also dahin zu streben, jedes Schiff so rasch wie möglich hindurchzulassen und zwar nicht allein am Tage, sondern auch bei Nacht. Da ferner der Schiffahrtsbetrieb, als der eines freien Gewerbes, getrennt ist von dem Besitz und dem Betriebe der baulichen Einrichtungen für die Schiffahrt, so wird man in den meisten Fällen unbedingt verzichten müssen, aus den von den Schiffen zu leistenden Abgaben allein eine unmittelbare Verzinsung der baulichen Anlagen zu erzielen. Besonders die geringwertigen Massengüter, auf welche die Binnenschiffahrt angewiesen ist, vertragen keine hohe Schleusengebühr. Die auch die wertvollsten Güter befördernde Seeschiffahrt könnte allerdings höhere Abgaben tragen, wenn nicht infolge des Wettkampfs der verschiedenen Häfen die Abgaben wieder möglichst niedrig gehalten werden müfsten.

Es ist nach diesen kurzen Andeutungen eine sehr schwierige Aufgabe, die zweckmäfsigste Höhe der Abgaben zu bestimmen; doch liegt dieselbe zum kleinsten Teile dem Ingenieur zur Lösung vor. Es ist jedoch dessen Sache, genau die Kosten des Betriebes der baulichen Anlagen zu ermitteln und sowohl für möglichste Kleinheit derselben, als aber auch für möglichste Leichtigkeit des Verkehres zu sorgen.

Die bedeutendsten Kosten für den Betrieb der Schleusen verursacht die Wartung. Wo der Betrieb ein schwacher, da müssen auch die Kosten für Wartung so weit wie möglich gedrückt werden. So kommt es namentlich in den Moorkanälen Hollands und Ostfrieslands, nicht minder in England vor, dafs die Schiffer die Schleuse selbst bedienen müssen. Bei wertvolleren Schleusen pflegt jedoch mindestens ein Wärter angestellt zu sein. Erst wenn der Verkehr eine gröfsere Ausdehnung annimmt, sodafs es für die Schiffe wirklich von Bedeutung ist, rasch durchgeschleust zu werden, wird dem Wärter noch ein Gehilfe beigegeben. Denn es ist bei Kanalschleusen augenscheinlich, dafs die Arbeiten zum Öffnen und Schliefsen der Thore und die Bedienung der Schützen von zwei Mann in weniger als der Hälfte Zeit geschehen kann, welche ein Mann hierzu nötig hat, weil erstere gleichzeitig auf beiden Ufern arbeiten können, letzterer aber genötigt ist, nach der Leistung auf dem einen Ufer erst auf einem Umwege (über die Laufbrücken) nach dem anderen Ufer zu gehen und dann die gleiche Leistung dort zu verrichten.

Sobald nun der Verkehr derartig ist, dafs auch bei Nacht geschleust werden mufs, so wird bei starker Anstrengung der Wärter ein doppeltes Personal zu halten sein. Bei Kanalschleusen ist jedoch in der Regel der Verkehr nur auf die Tagesstunden beschränkt, obwohl bei geeigneten Vorkehrungen auch recht gut ein Nachtbetrieb eingeführt werden könnte. Bei Seeschleusen dagegen pflegt fast stets auch bei Nacht geschleust zu werden, weil die Schiffahrt von der täglich sich ändernden Zeit der Ebbe und Flut abhängig ist und nicht zeitweilig nur auf eine Tagestide beschränkt werden darf. Es hängt jedoch von vielen verschiedenen Umständen ab, wie stark das Personal bei jeder einzelnen Schleuse sein mufs, da die Arbeiten in dem einen Falle für kurze Zeit sehr dringend sind und eine grofse Zahl Arbeiter nebeneinander verlangen, im anderen Falle sich gleichmäfsiger auf den ganzen Tag verteilen. Es sei hierüber als Beispiel angeführt, dafs die 4 Schleusen in Bremerhaven im Jahre 1894 aufser einem oberen Schleusenmeister 15 Wärter erforderten, davon 3 für die Schleuse des alten Hafens, 6 für die des neuen Hafens, 4 für die des Kaiserhafens und 2 für die Verbindungsschleuse zwischen den beiden letztgenannten Häfen. Es sind dabei diese Wärter zweimal des Tages etwa 2 Stunden um die Zeit des Hochwassers angestrengt thätig, wogegen sie in der übrigen Zeit nur geringere Leistungen zu beschaffen haben.

Für die Schleusen des Nord-Ostsee-Kanals zu Brunsbüttel ist als Schleusen- und Maschinenpersonal das folgende vorgesehen: 1 Hafenmeister, 2 Hafenaufseher, 2 Schleusenmeister, 8 Schleusenwärter, 1 Obermaschinist, 6 Maschinisten, 6 Heizer.

Bei allen Durchschleusungen ist es Regel, dafs das Schleusenpersonal nur die beweglichen Teile der Schleuse bedient und aufserdem etwa die zur Fortbewegung eines grofsen Schiffes nötigen Taue der Schiffsmannschaft zuwirft oder von dieser empfängt und an den am Ufer befindlichen Winden oder Landpfosten befestigt. Das Drehen der Winden zum Bewegen der Schiffe liegt dagegen dem Schiffsvolk ob, vergl. § 14 u. 22. Die Schleusenwärter müssen dabei die Bewegung des Schiffes sorgfältig beobachten, keine zu grofse Geschwindigkeit gestatten und etwaige Berührung des Schiffes mit den Seitenwänden der Schleuse durch sogenannte Fender unschädlich zu machen suchen. Diese Fender hängen bei kleinen Schleusen oft an bestimmten Punkten, z. B. in den Dammfalzen und bestehen dann nur aus einem cylindrisch runden Holze. Bei grofsen Schleusen, wo die Berührung fast an jedem Punkte möglich, müssen jedoch die Fender je nach Bedürfnis vorgehalten werden und bestehen dann meist aus leichten, aber festen und elastischen Ballen von mit Segeltuch und Stricken zusammengeschnürten Korkstücken.

Bei allen Seeschleusen mufs ferner der Schleusenmeister bestimmen, ob die rechte Zeit für die Durchschleusung eines Schiffes schon gekommen, ob namentlich der nötige Wasserstand hierfür vorhanden ist. Er mufs dazu den letzteren mit dem Tiefgang des Schiffes vergleichen. Bei Dockschleusen mufs dann mindestens ein Spielraum von 15 cm, besser von 25 cm vorhanden und das Wasser aufsen noch im merklichen Wachsen begriffen sein. Kurz vor Hochwasser oder gar bei fallendem Wasser darf kein gröfseres Schiff mehr geschleust werden, weil die Gefahr des Festsitzens in der Schleuse für das Schiff und den ganzen Hafen zu grofs sein würde. Denn eine jede Durchschleusung grofser Seeschiffe erfordert etwa 10 bis 20 Minuten Zeit und in dieser kann unter Umständen schon ein merkliches Fallen eintreten.

Wo nicht durch andere Beamte, z. B. Hafenmeister u. s. w. die Erhebung der Schleusengebühren, die Aufzeichnung der durchgeschleusten Schiffe und ihre Ladungen u. dergl. geschieht, haben die Schleusenwärter auch dieses zu besorgen. Aufserdem werden sie zweckmäfsigerweise zu einem tabellarisch vorzuschreibenden Aufzeichnen

aller den Schiffahrtsbetrieb betreffenden Erscheinungen (der Wasserstände, der Witterungsverhältnisse u. s. w.) zu verpflichten sein.

Über die Unterhaltung der Schleusen sei zunächst die Notwendigkeit kurz betont, dafs alles Mauerwerk stets in dichten Fugen erhalten werden mufs, wozu mindestens einmal jährlich etwa im Frühjahr ein sorgfältiges Nachfugen aller etwa ausgefrorenen Fugen zu geschehen hat. Ferner erfordern die Thore, besonders ihre Beweglichkeit, grofse Aufmerksamkeit, weil andernfalls bedenkliche Zerstörungen eintreten können. Sodann empfiehlt es sich, Holzthore jährlich nach trockenem Wetter mit gutem Holzteer soweit hinunter als möglich zu teeren, das Eisenzeug aber mit Steinkohlenteer zu überstreichen. Eiserne Schleusenthore, namentlich doppelwandige, werden im Innern wie von aufsen ebenfalls am besten mit Steinkohlenteer gestrichen, weil dieser selbst bei einer geringen Feuchtigkeit haftet, während Ölfarbe leicht sich loslöst, vergl. § 19, S. 207. Um im Innern das Thor zu erwärmen, werden am besten erhitzte Ziegelsteine hineingebracht. Für die aufserordentlichen Unterhaltungsarbeiten, wie z. B. Aushängen der Thore u. s. w., lassen sich allgemeine Regeln nicht aufstellen. Man vergleiche in Betreff derselben die Mitteilungen über Arbeiten an den Schleusen zu Calais, Breslau, Dieppe, sowie an der Kammerschleuse „Willem III“ im nordholländischen Kanal, welche nachstehend unter „Litteratur“ näher bezeichnet sind.

Litteratur.

Allgemeines.

Hagen. Handbuch der Wasserbaukunst.

Storm-Buysing. Waterbouwkunde. 1864.

Lagrené. Cours de navigation intérieure. Paris 1873.

Malézieux. Travaux publics des États-Unis d'Amérique. Paris 1873.

Schleusen des Illinois-Flusses. Engng. 1872, Juni.

Reparatur der Bassin-Schleuse bei Calais. Ann. des ponts et chaussées 1872, S. 238.

Schleusenthore im Flutgebiete. Compte rendu des travaux des ing. civ. 1873, S. 319.

Die Konstruktion der Schleusenthore. Engineer 1873, Febr., März u. Juli, S. 93 u. a.

Schiffahrtsschleusen der Sone-Kanäle von Stoney (auf Brunnen fundiert). Engng. 1873, Okt.

Dichtung der Sandschleuse zu Breslau durch Cementmörtel. Zeitschr. f. Bauw. 1873, Heft VI.

Über Schleusenthore. Nouv. ann. de la constr. 1874, S. 137; 1875, S. 24.

Schleusenthore aus Blech und Holz für den Kanal St. Martin. Nouv. ann. de la constr. 1875, Febr.

Mohr. Beschläge, Gegengewichte und Drehschützen an den Thoren der Pinnower Schleuse. Zeitschr. f. Bauw. 1878, S. 370.

Über Schleusenthore. Engng. 1879, Juni, S. 486. — Engineer 1879, Juni, S. 428.

Afdammen en weder befestigen der loosgeraakte taatsen van de deuren der schutsluis Willem III, an hen noordhollandsch Kanaal. Tijdschr. van het kon. inst. van ing. 1879/80, S. 81.

Swets. Schuivende sluisdeur. Tijdschr. van het kon. inst. van ing. 1879/80, S. 265.

Reparations du radier de l'écluse Duquesne à Dieppe. Nouv. ann. de la constr. 1880, S. 172. — Ann. des ponts et chaussées 1880, Juli, S. 46.

Mohr. Der Neubau der Friedenthaler Schleuse im Ruppiner Schiffahrtskanale. Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1880, S. 412.

Die Seeschleuse zu Sunderland. Engng. 1881, März bis Mai, S. 251 u. a.

Decoeur. Die Anwendung von Seitenbehältern bei Schiffahrtsschleusen. Ann. des ponts et chaussées 1881, April, S. 428.

Beitrag zur Berechnung von Wehr- und Schleusenbauten. Deutsche Bauz. 1882, S. 281.

Kerner. Die Schleusen der Schiffahrtskanäle im mittleren Emsgebiete. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 13, 163 u. 172.

Schleuse des Marne-Saône-Kanals. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 131.

Normalschleuse für den Kanal von der Schelde zur Maas. Ann. des ponts et chaussées 1883, S. 5—22.

Wolfram. Der Schleusen- und Wehrbau oberhalb Kalkhofen an der Lahn. Zeitschr. f. Bauw. 1883, S. 389.

Flamant. Doppelschleuse mit 4 m Gefälle für den französischen Nord-Kanal. Nouv. ann. de la constr. 1883, S. 99.

Préaudeau. Über die Konstruktion der Doppelschleuse an der Seine bei Carrières sous Poissy. Ann. des ponts et chaussées 1883, S. 245.

Der Schleusenbau in der Spree bei Charlottenburg. Centralbl. d. Bauverw. 1884, S. 164.

Die grofse Schleuse bei Belleek. Engineer 1884, Okt. S. 288.

Havestadt u. Contag. Kammerschleuse mit drei Haltungen oberhalb der Spree bei Fürstenwalde. Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1884, S. 493.

Das Wehr und die Schleusen bei Suresnes. Genie civil 1885, Bd. VI, S. 220.

Die Schleusengröfsen der neuen Kanalentwürfe in Preufsen. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 180.

Die Eichhorster Schleusenanlage an der oberen Netze. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 392.

Die Schleusen des Kanals von St. Dizier nach Wassy. Genie civil 1885, April, S. 405.

Die Verlängerung der Schleusen des Kanals von Burgund. Ann. des ponts et chaussées 1885, März, S. 450. — Wochenbl. f. Bauk. 1885, S. 272.

Die neue Sperrschleuse des Duisburger Hafens. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 538.

Instandsetzung der Mallegat-Schleuse zu Gouda im Jahre 1884. Tijdschr. van het kon. inst. van ing. 1886/87, I. Lief. 2. Teil, S. 8.

Die Schleuse im Kanale zu Terneuzen für den Hafen von Gent. Tijdschr. van het kon. inst. van ing. 1886/87, Juni, S. 414. — Civilingenieur 1888, S. 623.

Warnow-Schleuse bei Rostock. Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 317.

Ausbesserung des unteren Teiles einer Schleuse ohne Betriebsstörung. Nouv. ann. de la constr. 1886, Juli, S. 101. — Wochenbl. f. Bauk. 1887, S. 364.

Die neue Schleuse zu Ymuiden. De ingenieur 1887, S. 198.

Die neuen Schleusen des Kanals St. Denis. Ann. des ponts et chaussées 1886, Mai, S. 709. — Genie civil 1889, Bd. XV, S. 133.

Die Schleusen und das Wehr bei Suresnes an der Seine. Ann. des ponts et chaussées 1889, Juli, S. 49—128.

Die Nordschleuse zu Dünkirchen. Ann. industr. 1889, Sept. S. 321.

Neue Schleusen an der belgischen Maas. Deutsche Bauz. 1891, S. 247.

Die grofsen Schleusen am Flusse St. Marie zwischen dem Oberen See und Huron-See. Ann. des ponts et chaussées 1891, Nov. S. 564.

Über die Litteratur der Schleusen mit eisernen Stemmthoren vergl. auch Fortschritte der Ingenieurwissenschaften, zweite Gruppe, 3. Heft, S. 134.

Vorrichtungen zum Bewegen der Thore.

Hydraulischer Apparat zum Bewegen von Schleusenthoren. Colyer. Hydraulic mashinery, Pl. 15.

Wasserdruckvorrichtungen zur Bewegung der Thore und Schützen für die Doppelschleuse des Nord-Kanals in Frankreich. Portefeuille économique des mach. 1883, Juli, S. 102.

Ship canal locks calculated for the operation of steam. Transactions of the amer. soc. of civ. eng. 1880, Aug. S. 293.

Notizen über das Bassin Bellot im Hafen von Havre; Wasserdruckvorrichtung zum Bewegen der Thore. Ann. industr. 1889, Juli, S. 50—57, 124—128, 155—159 u. 180—189.

Keck. Vorrichtungen zum Öffnen und Schliefsen der Schleusenthore. Wochenbl. f. Bauk. 1887, S. 102.

Schützen.

Verbesserte Schützen für Kanalschleusen. Scientific american 1870, Sept. S. 194.

Mohr. Schieberschützen mit Hebelaufzug in Schleusen-Oberthoren. Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1880, S. 178.

Jalousieschützen an den Schleusenthoren zu Hansweerd. Tijdschr. van het kon. inst. van ing. 1886/87. I. Lief. 2. Teil, S. 22.

Rollvorhangschützen. Engineering news 1886, Dez. S. 386.

Drehschützen. Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 10.

Schiefe Ebenen und Schiffseisenbahnen.

Entwurf einer Schiffseisenbahn zur Umgehung der Stromschnellen des Columbia-Flusses. Engineering news 1891, II, S. 228—230. Auszüglich: Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1892, S. 313.

Die Schiffseisenbahn über die Landenge zu Chignecto in Neuschottland. Genie civil 1891, Nov. S. 17.

Schiffseisenbahnen anstatt der Kanäle. Ann. industr. 1891, März, S. 323.

Schiffshebewerke.

Die Hebevorrichtung zu Fontinettes bei St. Omar. Engineer 1882, S. 247.

Hydraulischer Aufzug auf dem Morris-Kanale. Scientific american 1882, S. 307.

Über die senkrechte Hebung der Schiffe. Vortrag von Badois in Mémoires de la société des ing. civils 1883.

Die Hebevorrichtungen bei La Louvière in Belgien. Techniker 1885, Nov. S. 1—2.

Le Chatelier. Über die Anordnung der Wasserdruck-Hebeschleusen. Ann. des ponts et chaussées 1885, Mai, S. 1029.

Gollner. Über Wasserdruckschleusen. Dingler's polyt. Journ. 1887, Bd. 263.

Das Schiffshebewerk bei La Louvière im Kanal du Centre. Engng. 1888, Febr. S. 201.

Gruson (Lille). Hubschleuse bei Fontinettes. Ann. des ponts et chaussées 1888, April, S. 694.

Wasserdruck-Schiffshebewerke und ihre Anwendbarkeit für deutsche Schiffahrtskanäle. Veröffentl. d. Centralver. für Hebung der deutschen Flufs- u. Kanalschiffahrt 1888, Lief. 4.

Die Gruson'sche Hubschleuse. Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 512.

Petri. Über Schiffshebewerke (Vortrag). Deutsche Bauz. 1888, S. 538.

Die Schiffshebewerke bei Fontinettes und La Louvière nach französischen Quellen. Deutsche Bauz. 1888, S. 591 u. 625.

K. Pestalozzi. Kanalschleusen mit beweglichen Kammern. Schweiz. Bauz. 1889.

Die Wasserdruck-Hubschleuse bei Houdeng-Goegnies im Kanal du Centre. Genie civil 1889. — Ann. des travaux publics 1889, S. 2294.

Petri. Leipzigs Kanalfrage und die Anwendung von Schiffshebewerken. Deutsche Bauz. 1889, S. 369.

A. Ernst. Schiffshebewerke bei Les Fontinettes und La Louvière. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1890, S. 280.

Die Trogschleuse von Fontinettes. Engng. news 1891, I, S. 442.

Prüsmann. Bemerkungen zur Schleusungsdauer von Trogschleusen. Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 445.